

Tuomas Pääkkö

**PUURAKENTEISTEN ASUINRAKENNUSTEN JÄYKISTYSSUUN-
NITTELUN PERIAATTEET**

PUURAKENTEISTEN ASUINRAKENNUSTEN JÄYKISTYSSUUN- NITTELUN PERIAATTEET

Tuomas Pääkkö
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennetekniikka

Tekijä: Tuomas Pääkkö

Opinnäytetyön nimi: Puurakenteisten asuinrakennusten jäykistysuunnittelun periaatteet

Työn ohjaajat: Pekka Kilpinen, DI; Mikko Korhikoski, Ins (AMK)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2015

Sivumäärä: 65 + 1 liite

Puurakenteiden jäykistysuunnittelu on laaja ja haastava kokonaisuus, jota ei useinkaan huomioida riittävästi rakennesuunnittelussa. Syynä on usein jäykistysperiaatteiden puutteellinen ymmärtäminen. Puurakentamisen suosion kasvessa ja rakennusten monimuotoisuuden lisääntyessä jäykistysuunnittelun hallinta on yhä tärkeämpää.

Tämän insinöörityön tavoitteena oli selvittää ja koota yhteen puurakenteisten asuinrakennusten jäykistysuunnittelun periaatteet. Työ tehtiin osana projektia, jossa työn tilaaja, puuelementtejä valmistava LapWall Oy, käynnistää puurakenteiden rakennesuunnittelun tehtaallaan. Aiheen laajuuden vuoksi työssä keskityttiin 1 - 2-kerroksisiin, tilaajalle tyyppillisiin asuinrakennuksiin. Työssä esitetyt periaatteet pyrittiin havainnollistamaan esimerkkikohteen ja siitä tehdyn 3D-mallin avulla. Jäykistykseen mitoitusta prosessia pyrittiin myös selkeyttämään koko rakennuksen kattavalla jäykistykseen mitoituskavaailla.

Puurakenteiden jäykistysuunnitteluun perehdyttiin asiaa koskevien määräysten, ohjeiden ja esimerkkilaskelmien perusteella. Työn esimerkkikohteeksi valittiin työn tilaajalle tyyppillinen 2-kerroksinen rivitalo. Esimerkkikohteen jäykistysjärjestelmän toimintaa kuvattiin kohteesta Cadwork-mallinnusohjelmalla luodun 3D-mallin avulla. Myös esimerkkikohteen liitosdetaljeja tarkasteltiin jäykistykseen toiminnan kannalta. Mitoituskavaatit tehtiin työssä esitetyn teorian ja esimerkkilaskelmien perusteella.

Insinöörityön tuloksena syntyi yksityiskohtainen ja kattava selvitys puurakenteisten asuinrakennusten jäykistysuunnittelun periaatteista. LapWall Oy:n tarkoituksena on kehittää työn pohjalta sopivat menetelmät puuelementtiratkaisujensa jäykistykseen suunnitteluun ja toteutukseen. Työtä voidaan hyödyntää myös laajemmin puurakenteisten asuinrakennusten jäykistysuunnittelussa ja siihen liittyvien asioiden omaksumisessa. Työ osoittautui ajankohtaiseksi ja tarpeelliseksi, koska vuonna 2015 rakennetun esimerkkikohteen jäykistysjärjestelmästä löytyi vakavia puutteita. Esimerkkikohteen kattokannattajien puristettuja yläpaarteita ei ollut nurjahdustuettu lainkaan.

Asiasanat: puurakenteet, asuinrakennukset, jäykistys, stabiiliti

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Construction Engineering, Structural Engineering

Author: Tuomas Pääkkö

Title of thesis: Design Principles of Stiffening Timber-framed Residential Buildings

Supervisors: Pekka Kilpinen, M.Sc. ; Mikko Korhikoski, B. Eng

Term and year when the thesis was submitted: Fall 2015

Pages: 65 + 1 appendix

Stiffening design of wooden structures is a wide and challenging ensemble, which is often not taken to account enough in structural design. The reason for this often originates from defective understanding of stiffening principles. As timber construction is increasingly popular and the diversity of buildings is growing, will mastery of stiffening design be more and more important.

The aim of this Bachelor`s Thesis was to find out and put together the design principles of stiffening timber-framed residential buildings. The work was ordered by a company called LapWall Ltd, who manufactures precast timber-framed members to various buildings. The work was a part of a project, in which LapWall Ltd starts structural design of wooden structures on their own. Because of the wideness of the subject, the work was concentrated on 1 - 2-storey residential buildings, which are typical to the company.

The work was started by getting familiar with regulations, instructions and calculation examples concerning stiffening design of wooden structures. The principles presented in the work, were demonstrated by using a 2-storey terraced house as an example. The function of the terraced house`s stability system was illustrated by a 3D-model that was created by Cadwork-programme. Also the structural connections used in the terraced house were observed from standpoint of the stability. Additionally, the process of stiffening design was clarified by a chart that was done on the grounds of this work and calculation examples.

The result of this thesis is a detailed and extensive survey concerning design principles of stiffening timber-framed residential buildings. LapWall Ltd will use this thesis to develop suitable stiffening design and implementation methods for their precast timber-framed members. The thesis can also be exploited more widely in the stiffening design of timber-framed residential buildings and in learning matters concerning that. The thesis proved to be timely and useful, because it was found out that there were some serious defects in the stability system of the terraced house, which was built in 2015. There were not any supports to prevent buckling of compressed rafters.

Keywords: timber-framed structures, residential buildings, stiffening, stability

ALKULAUSE

Haluan kiittää LapWall Oy:n suunnittelu- ja kehityspäällikkö Kari Viljamaata sekä tuotekehitysinsinööri Mikko Korkiakoskea mielenkiintoisesta ja haastavasta opinnäytetyön aiheesta sekä sujuvasta yhteistyöstä opinnäytetyön aikana.

Haluan kiittää myös opinnäytetyöni ohjaajaa, Oulun ammattikorkeakoulun rakennustekniikan tutkintovastaavaa Pekka Kilpistä puurakenteiden opetuksesta ja asiantuntevista neuvoista työhöni.

Oulussa 28.11.2015.

Tuomas Pääkkö

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 JÄYKISTYS	9
2.1 Määräykset ja ohjeet	9
2.2 Rakennuksen kokonaisjäykistys	9
2.2.1 Kokonaisjäykistyksen toimintaperiaate	10
2.2.2 Vähimmäisvaatimukset	11
2.3 Yksittäisten komponenttien jäykistys	11
3 KUORMAT	12
3.1 Vaakakuormat	12
3.1.1 Tuulikuorma	12
3.1.2 Lisävaakavoima	14
3.1.3 Muut kuormat	15
3.2 Kuormitusyhdistelyt	15
4 NR-KATTORAKENTTEEN JÄYKISTYS	17
4.1 Uumasauvojen nurjahdustuenta	17
4.2 Kokonaisjäykistys	18
4.2.1 Kattorakenteen ulkoiset kuormat	19
4.2.2 NR-ristikoiden puristettujen paarteiden nurjahdustuenta	21
4.2.3 Kattoruoteiden suunnittelu	25
4.2.4 Kokonaisjäykistyksen toteutus	26
5 RAKENNUSRUNGON JÄYKISTYS	31
5.1 Vaakarakenteet	31
5.2 Kuormajakauma vaakarakenteelta jäykistäville seinille	33
5.3 Seinärakenteet	34
5.4 Jäykistysseinien geometrinen sijainti	39
6 RIVITALON JÄYKISTYSJÄRJESTELMÄN TARKASTELU	42
6.1 Jäykistysjärjestelmän toiminnan kuvaus	43

6.1.1 Rivitalon 3D-malli	44
6.1.2 Rivitalon yläpohjan stabilointi	44
6.1.3 Rivitalon rakennusrungon stabilointi	49
6.2 Rakenteelliset yksityiskohdat	55
7 YHTEENVETO	63
LÄHTEET	65
LIITTEET	
Liite 1 Mitoituskaavio	

1 JOHDANTO

Puurakenteiden jäykistysuunnittelu on laaja ja haastava kokonaisuus, jota ei useinkaan huomioida riittävästi rakennesuunnittelussa. Syynä on usein jäykistysperiaatteiden puutteellinen ymmärtäminen. Riittämätön suunnittelu johtaa ylimitotettuihin rakenteisiin ja toisaalta vakaviin laiminlyönteihin. Jäykistysuunnittelun periaatteiden omaksuminen on verrattain hankalaa, koska sitä koskevat suunnitteluohjeet ovat osittain puutteellisia, poikkeavat toisistaan ja ovat jakaantuneet useisiin eri teoksiin. Toimivan jäykistysjärjestelmän aikaansaaminen edellyttää kuitenkin hyvää periaatteiden hallintaa, etenkin monimuotoisissa rakennuksissa.

Tämän insinööriyön tavoitteena on selvittää ja koota yhteen puurakenteisten asuinrakennusten jäykistysuunnittelun periaatteet olemassa olevien määräysten, ohjeiden ja esimerkkilaskelmien perusteella. Tarkoituksena on myös luoda selkeä jäykistysmitoituskavaio rakennesuunnittelijan tueksi. Aiheen laajuuden vuoksi työssä keskitytään työn tilaajalle, LapWall Oy:lle, tyypillisiin 1- ja 2-kerroksisiin puuelementeistä toteutettaviin asuinrakennuksiin. Työtä havainnollistetaan esimerkkikohteeseen tehtävällä jäykistysjärjestelmän tarkastelulla.

Työn alussa käsitellään puurakenteiden jäykistystä yleisesti. Sen jälkeen edetään vaiheittain kuormien määrittämisestä NR-kattorakenteen ja rakennusrungon jäykistykseen sekä mitoituskavaion laadintaan. Lopuksi tarkastellaan esimerkkikohteen jäykistysjärjestelmän toimintaa ja rakenteellisia yksityiskohtia jäykistysnäkökulmasta. Jäykistysjärjestelmän toimintaa kuvataan Cadwork-mallinnusohjelman avulla. Työ tehdään osana projektia, jossa LapWall Oy käynnistää puurakenteiden rakennesuunnittelun tehtaallaan. Yrityksen tarkoituksena on kehittää insinööriyön pohjalta sopivat menetelmät puuelementtiratkaisujensa jäykistysuunnitteluun ja toteutukseen.

LapWall Oy on vuonna 2011 perustettu, nopeasti kasvava, moderni puuelementtien valmistaja. Yrityksen tuotantolaitokset sijaitsevat Pyhännällä. Yritys valmistaa puuelementtejä esimerkiksi rivitaloihin, päiväkoteihin ja kerrostaloihin.

2 JÄYKISTYS

2.1 Määräykset ja ohjeet

Puurakenteiden jäykistys suunnittelu tehdään Eurokoodien 1 ja 5 mukaan. Eurokoodi 1:ssä määritetään rakennukseen kohdistuvat kuormat ja Eurokoodi 5:ssä annetaan ohjeet puurakenteiden suunnitteluun. Suomen rakennusinsinööriliiton julkaisuissa annetaan tiivistetysti ohjeita rakenteiden eurokoodien mukaiseen syvälliseen suunnitteluun. (1, s. 3 - 4; 2, s. 3 - 4.)

Jäykistysmitoitusta koskevia julkaisuja ovat

- RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat
- RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje
- RIL 244-2007 Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta
- RIL 248-2014 NR-kattorakenteen jäykistyksen suunnittelu ja toteuttaminen.

RIL:n teokset perustuvat julkaisuajankohdan mukaisiin määräyksiin ja ohjeisiin. Eurokoodien ajantasaiset kansalliset liitteet sekä korjausliitteet ovat saatavilla ilmaiseksi esimerkiksi verkkosivulta <http://www.eurocodes.fi>. Levyjäykistystä koskevia määräyksiä ja ohjeita annetaan RIL:n julkaisujen lisäksi levyvalmistajien erikoisohjeissa. Ohjeet löytyvät levyvalmistajien verkkosivuilta. (2, s. 4;148.)

Teoksissa STEP 1 ja STEP 2 (Structural Timber Education Programme) käsitellään erityisesti Eurokoodi 5:n mukaista mitoitusta ja annetaan yksityiskohtaisia suunnittelusääntöjä myös jäykistystä koskien. Julkaisut on tarkoitettu lähinnä oppikirjoiksi ja niitä on hyödynnetty tässä insinööriyössä. (3, s. 5.)

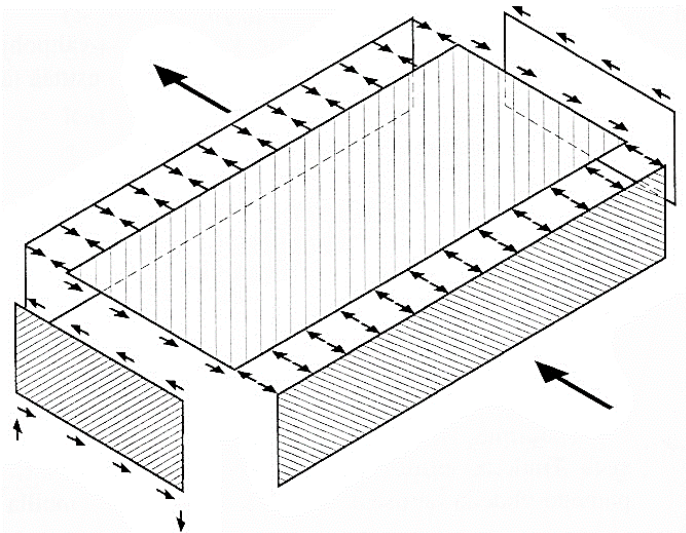
2.2 Rakennuksen kokonaisjäykistys

Rakennuksen kokonaisjäykistyksellä tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla varmistetaan rakennuksen stabiiliuden säilyminen ja ulkoisten vaakakuormien siirtymisen perustuksien kautta maaperään. Tavoitteena on siis estää liian suurien siirtymien syntyminen tekemällä rakennuksesta riittävän jäykkä. Kokonaisjäykis-

tyksestä on huolehdittava niin rakennustyön aikana kuin valmiissa rakennuksessa. Tavallisia jäykistyskuormia ovat nurjahdus- ja kiepahdustuennasta aiheutuvat tuentavoimat, tuuli, rakenteiden vinous ja pystykuormien epäkeskisyys. (4, s. 9.)

2.2.1 Kokonaisjäykistykseen toimintaperiaate

Rakennuksen sivuseinään kohdistuvasta vaakakuormasta puolet siirretään seinän alaosan kautta perustuksille. Puolet sivuseinään vaikuttavasta kuormasta ja koko kattoon vaikuttava kuorma siirretään palkkirakenteena toimivalle vaakatasorakenteelle, eli väli- tai yläpohjalle, joka siirtää kuorman päätyseinien yläreunoihin. Päätyseinän yläreunasta kuorma siirretään päädyn jäykistysrakenteiden kautta perustuksille. Kuvassa 1 esitetään periaate vaakakuormien siirtymisestä perustuksille levyjäykistetyssä rakennuksessa. (5, s. 11.)



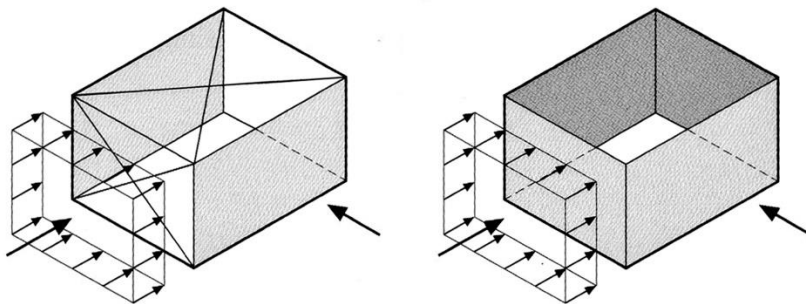
KUVA 1. Vaakakuormien siirtyminen perustuksille, periaate (3, B13/2)

Vaakakuorman vaikuttaessa rakennuksen pätyyn puolet jäykistävän vaakatasorakenteen alapuolelle jäävästä kuormasta siirretään seinän alaosan kautta perustuksille. Puolet vaakatasorakenteen alapuolelle jäävästä kuormasta ja puolet päätykolmioon vaikuttavasta kuormasta siirretään vaakatasorakenteen välityksellä rakennuksen sivuseinien yläreunoihin. Sivuseinän yläreunasta kuorma siirretään sivuseinän jäykistysrakenteiden kautta perustuksille. (5, s. 12.)

Kokonaisjäykistykseen edellyttää, että jäykistävien rakenteiden väliset liitokset kestävät niihin kohdistuvat rasitukset ja voivat välittää jäykistyskuorman seuraavalle jäykistävälle rakenteelle. Esimerkiksi kuvan 1 rakennuksessa seinän ja yläpohjarakenteen välisen liitoksen täytyy olla sellainen, että jäykistyskuorma voi siirtyä yläpohjalta seinärakenteen yläosaan.

2.2.2 Vähimmäisvaatimukset

Rakennuksen kokonaisjäykistykseen asetetaan kuvan 2 mukaiset vähimmäisvaatimukset. Jäykistävän vaakarakenteen lisäksi tarvitaan kolme pystysuuntaista rakenneosaa. Rakenneosat tai niiden voimien vaikutusviivat eivät saa leikata samassa pisteessä eivätkä ne myöskään saa olla yhdensuuntaisia. Jos jäykistävää vaakarakennetta ei ole, tarvitaan neljä pystysuuntaista rakenneosaa, joista vain kaksi saa kohdata samassa pisteessä. Tähän ”peruslaatikkoon” voidaan lisätä jäykistäviä rakenneosia, mutta niitä ei voida missään tapauksessa vähentää. (5, s. 50.)



KUVA 2. Rakennusjärjestelmän jäykistys - vähimmäisvaatimukset (5, s. 50)

2.3 Yksittäisten komponenttien jäykistys

Yksittäiset komponentit jäykistetään stabiileiksi vahvistamalla itse rakennetta tai tukemalla se muihin rakenteisiin siten, että muodostuu riittävän jäykkä rakennekokonaisuus. Rakenteiden sisäisiä voimia ei tarvitse viedä perustuksille, jos voimat voidaan tasapainottaa rakennekokonaisuuden sisällä. Näitä sisäisiä voimia syntyy esimerkiksi nurjahdukselle ja kiepahdukselle alttiiden ristikoiden puristusauvojen tuennasta. (5, s. 12 - 13.)

3 KUORMAT

3.1 Vaakakuormat

Vaakakuormat koostuvat ulkoisista vaakakuormista (tuuli, nosturien jarruvoimat, törmäysvoimat, maanjäristyskuormat) ja pystykuormien (omapaino, lumi-kuorma) aiheuttamista vaakakuormista. Edellä mainitut kuormat viedään aina perustuksille. Luvussa 3.1.1 määritetään jäykistävien rakenteiden mitoituksessa Suomessa käytettävä tuulikuorma ja luvussa 3.1.2 pystykuormien aiheuttama lisävaakavoima. Lumikuorma ja omapaino määritetään ohjeen RIL 201-1-2011 mukaan. Vientikohteissa tuuli- ja lumikuorma tulee määrittää kyseisen valtion ohjeiden mukaan. (5, s. 10; 1, s. 13; 94 - 107.)

3.1.1 Tuulikuorma

Jäykistävien rakenteiden mitoituksessa tuulikuorma voidaan laskea Suomessa tavanomaisten rakennusten yhteydessä yksinkertaistetun menettelyn mukaan. Tällöin tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa taulukosta 1 saatava maastoluokka, rakennuksen korkeutta vastaava nopeuspaine sekä rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala. (2, s. 38.)

TAULUKKO 1. Maastoluokat (2, s. 38)

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo voidaan laskea kaavalla 1, kun rakennuksen korkeus on enintään 15m, rakennuksen seinät ovat kantavia ja rakennuksen leveys on kaikilta kohdilta suurempi kuin neljäsosa rakennuksen korkeudesta. Myös erillisen seinämän alin ominaistajuus tulee olla suurempi kuin 5 Hz. (2, s. 38 - 39.)

$$F_{w,k} = c_f * q_k(h) * A_{ref}$$

KAAVA 1

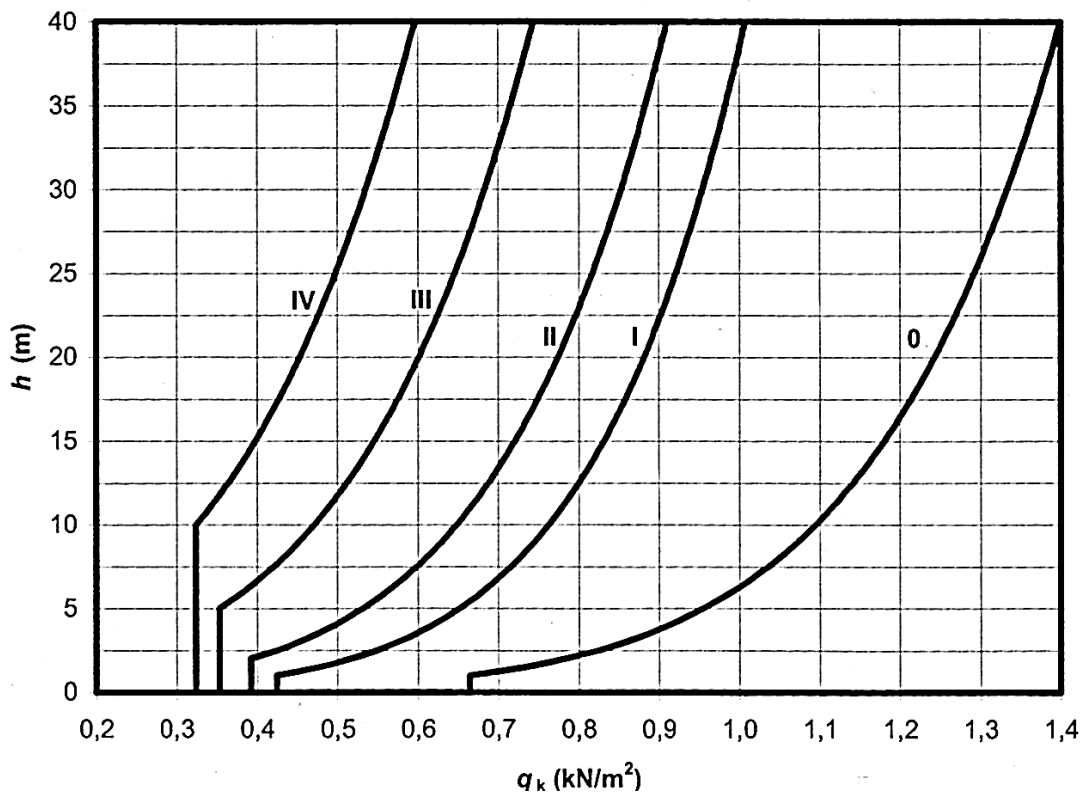
c_f = rakenteen voimakerroin taulukosta 2

$q_k(h)$ = rakennuksen korkeutta h vastaava nopeuspaine kuvasta 3

A_{ref} = rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala

TAULUKKO 2. Yksinkertaistetussa menettelyssä käytettäviä voimakertoimia c_f (2, s. 39)

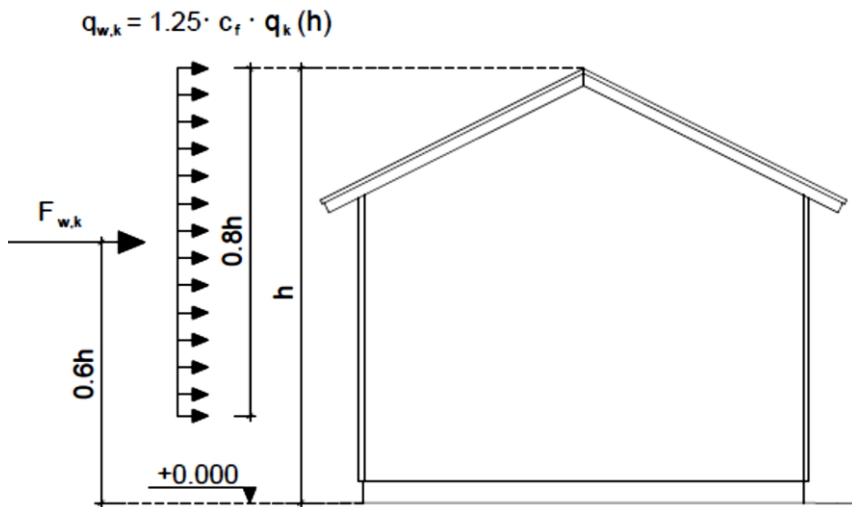
Kuvaus	c_f
Umpinainen rakennus yleensä	1,3
Pulpettikattoinen umpinainen rakennus tarkasteltaessa kattolapteen suuntaista tuulta, kun katon kaltevuus on 5°...40° (toisessa suunnassa $c_f = 1,3$)	1,5
Osittain avoin rakennus, kun tuulen puoleisella sivulla olevien aukkojen pinta-ala on enintään 30 % rakennuksen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



KUVA 3. Nopeuspaineen ominaisarvot $q_k(h)$ eri maastoluokissa (2, s. 39)

Kokonaistuulikuorman resultantin $F_{w,k}$ oletetaan vaikuttavan korkeudella $0,6h$, koska rakennuksen katolla paikallisesti esiintyvät tuulenpaineen huippuarvot ja katon kitkavoima voivat aiheuttaa katolle rakennuksen keskimääräistä ominais-tuulenpainetta suuremman tuulikuorman. Kokonaistuulikuorman resultantti $F_{w,k}$

muutetaan tasaiseksi kuormaksi kertoimella 1,25. Kerroin tulee muunnoksesta, jossa koko projektiopinnalle kohdistuva tuulenpaine korvataan yläosalle sijoitettavalla tasaisella kuormalla ($0,8h$ vyöhyke). Kuvassa 4 esitetään tuulikuorman laskentamalli. (2, s. 39 - 40; 6, s. 16.)



KUVA 4. Tuulikuorman laskentamalli

3.1.2 Lisävaakavoima

Lisävaakavoima aiheutuu pystyrakenteiden vinoudesta ja pystykuormien epäkeskisyydestä. Lisävaakavoimaa pidetään ulkoisena kuormituksena, joka siirretään jäykistävillä rakenteille perustuksille asti. Puurakenteisissa pientaloissa pystykuormat ovat niin pieniä, ettei lisävaakavoimaa tarvitse ottaa huomioon. Lisävaakavoima lasketaan ominaisarvona erikseen rakenteen omapainosta ja lumikuormasta. Mitoitusarvo saadaan, kun tehdään luvun 3.2 mukaiset kuormitusyhdistelyt. (4, s. 24; 60 - 61.)

Lisävaakavoiman ominaisarvo rakennuksen lyhemässä suunnassa voidaan määrittää kaavalla 2 (1, s. 74).

$$H_{B,k} = \frac{N_k}{150}$$

KAAVA 2

Lisävaakavoiman ominaisarvo rakennuksen pidemmässä suunnassa voidaan määrittää kaavalla 3 (1, s. 74).

$$H_{L,k} = \frac{B}{L} \cdot \frac{N_k}{150} \geq \frac{N_k}{250}$$

KAAVA 3

N = lisävaakavoiman aiheuttavan pystykuorman ominaisarvo

B = rakennuksen leveys

L = rakennuksen pituus

3.1.3 Muut kuormat

Nosturien jarruvoimista ja törmäysvoimista aiheutuvat vaakakuormat määritetään tapauskohtaisesti. Näitä kuormia esiintyy lähinnä hallirakennuksissa, joita ei tässä työssä käsitellä. Lisäksi seismisesti aktiivisilla alueilla rakennuksen jäykistyksessä tulee huomioida maanjäristyskuormat Eurokoodi 8:n mukaan. (5, s. 18; 3, B13/1.)

3.2 Kuormitusyhdistelyt

Jäykistävät rakenteet mitoitetaan määräävälle murtorajatilan kuormitusyhdistelmälle (2, s. 25). Kuormitusyhdistelmiä tulee neljä erilaista, kun lisävaakavoima huomioidaan mitoituksessa

- $KY_{1,MRT}$: $1,35K_{FI}G_k$ (pysyvä aikaluokka)
- $KY_{2,MRT}$: $1,15K_{FI}G_k + 1,5K_{FI}Q_{s,k}$ (keskipitkä aikaluokka)
- $KY_{3,MRT}$: $1,15K_{FI}G_k + 1,5K_{FI}Q_{s,k} + 1,5K_{FI}\psi_{0,1}Q_{w,k}$ (hetkellinen aikaluokka)
- $KY_{4,MRT}$: $1,15K_{FI}G_k + 1,5K_{FI}Q_{w,k} + 1,5K_{FI}\psi_{0,1}Q_{s,k}$ (hetkellinen aikaluokka).

Kun lisävaakavoimaa ei tarvitse huomioida, määräävä kuormitusyhdistelmä supistuu muotoon

- $KY_{1,MRT}$: $1,5K_{FI}Q_{w,k}$ (hetkellinen aikaluokka).

Levyjäykisteiden siirtymätarkastelut tehdään määräävälle käyttörajatilan kuormitusyhdistelmälle. Tuulikuorma yhdistellään käyttörajatilassa muiden muuttuvien kuormien kanssa vain määräävänä muuttuvana kuormana. (7, s. 2; 2, s. 27.)

Kuormitusyhdistelmiä tulee kaksi erilaista, kun lisävaakavoima huomioidaan mitoituksessa

- $KY_{1,KRT}$: $G_k + Q_{s,k}$ (keskipitkä aikaluokka)

- $KY_{2,KRT}: G_k + Q_{w,k} + \psi_{0,1}Q_{s,k}$ (hetkellinen aikaluokka).

Kun lisävaakavoimaa ei tarvitse huomioida, määräävä kuormitusyhdistelmä supistuu muotoon

- $KY_{1,KRT}: Q_{w,k}$ (hetkellinen aikaluokka).

Kuormitusyhdistelmissä käytettävät merkinnät:

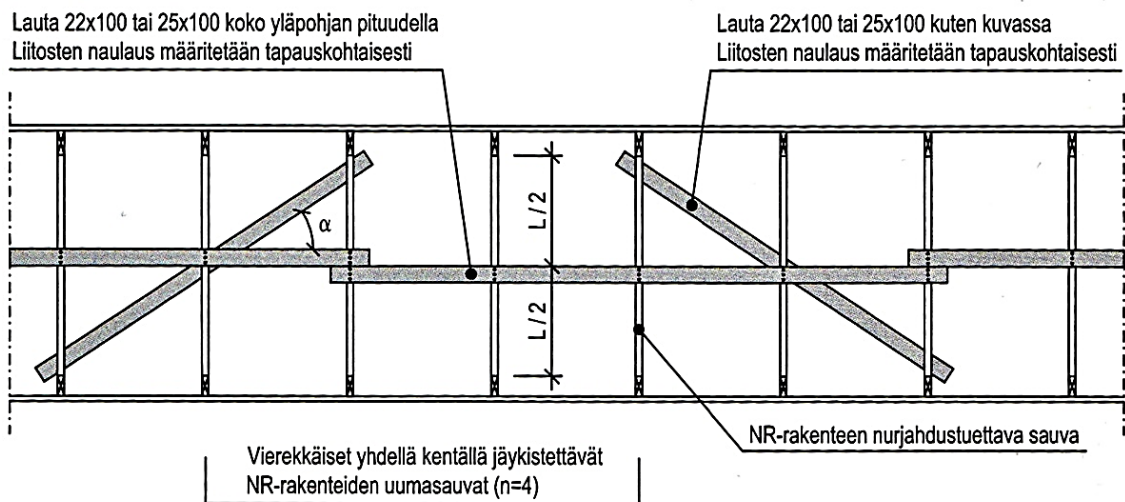
- K_{FI} = seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin RIL 205-1-2009 taulukosta 2.1
- G_k = pysyvän kuorman ominaisarvo
- $Q_{s,k}$ = lumikuorman ominaisarvo katolla
- $Q_{w,k}$ = tuulikuorman ominaisarvo
- $\psi_{0,1}$ = muuttuvan kuorman yhdistelykerroin RIL 205-1-2009 taulukosta 2.2.

4 NR-KATTORAKENTEEN JÄYKISTYS

Luvussa 4 keskitytään periaatetasolla puurakenteisten asuinrakennusten NR-kattorakenteen kokonaisjäykistykseen ja uumasauvojen nurjahdustuentaan. Tarkemmat mitoitusohjeet löytyvät lähteestä RIL 248-2013. Liitteen 1 mitoituskaaviossa viitataan em. ohjeisiin sekä opinnäytetyön asiaa koskeviin kohtiin.

4.1 Uumasauvojen nurjahdustuenta

NR-rakenteissa voi olla nurjahdustuenta tarvitsevia uumasauvoja, jotka on merkitty NR-suunnitelmaan. Nurjahdustuenta toteutetaan tavallisesti vedetyillä laudoilla, jotka eivät toimi puristettuina sauvoina. Lauta sijoitetaan uumasauvan keskelle, jos nurjahdustuenta tehdään yhdestä pisteestä (kuva 5). Muussa tapauksessa nurjahdustuet sijoitetaan tasavälein. (4, s. 16.)



KUVA 5. Esimerkki uumasauvojen nurjahdustuennasta (4, s. 16)

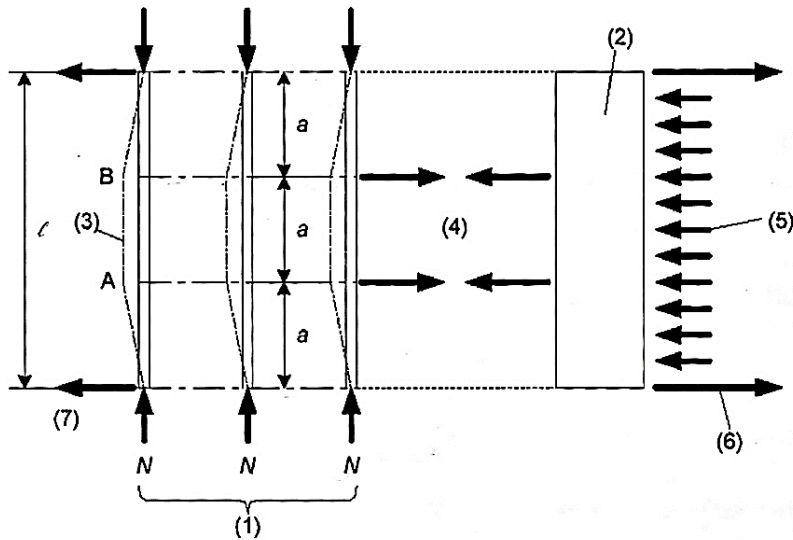
Nurjahdustuennasta syntyvä kuormitus viedään vinosidonnalla avulla NR-rakenteen ylä- ja/tai alapaarteen tasolle, jossa pitää olla uumasauvojen päät yhteen kytkävä vaakasauva. Yhteen kytkevänä vaakasauvana voidaan käyttää parteen ruodelautaa, jonka liitoksen mitoituksessa on huomioitu muiden rasitusten lisäksi vinosidonnalla tuotava nurjahdustuentakuorma. Jos ruoteita ei ole tai ruodeväli on suurempi kuin 400 mm, tai jos kattoruoteiden liitosten käyttöaste on korkea, käytetään uumasauvojen päiden yhteen kytkemiseen erillistä sidelautaa. (4, s.17.)

Lisäksi uumasauvojen nurjahdustuennassa tulee huolehtia nurjahdustukien riittävästä jäykkyudesta, liittimien minimiväleistä sekä riittävästä reuna- ja päätyetäisyyksistä. Nurjahdustukien riittävä jäykkyys varmistetaan laskemalla niille vaadittava jäykkyysarvo, johon nurjahdustukien toteutuvaa jäykkyyttä verrataan. Liitosten vaadittavien reuna- ja päätyetäisyyksien toteutumiseksi nurjahdustuet joudutaan yleensä limittämään kuvan 5 mukaisesti. (4, s.16 - 19; 58.)

4.2 Kokonaisjäykistys

Kattorakenteen kokonaisjäykistyksessä tuulesta ja lisävaakavoimasta aiheutuva ulkoinen kuormitus pyritään viemään jo rakennuksen päädyissä yläpohjan jäykistysrakenteiden avulla rakennuksen rungon jäykistysrakenteille ja niiden kautta perustuksille. NR-ristikoiden puristettujen paarteiden nurjahdustuennasta aiheutuvat sisäiset voimat tasapainotetaan kattorakenteen sisälle tai johdetaan perustuksille. Jäykistäviä rakenteita voidaan tarvittaessa käyttää samanaikaisesti sekä ulkoisille että sisäisille kuormille. Olennaista on myös varmistaa kokonaisjäykistyksen toiminta palotilanteessa jatkuvan sortumisen estämiseksi. Tämän vuoksi jäykistävät rakenteet sijoitetaan vähintään rakennuksen kumpankin päätyyn ja yhdistetään toisiinsa. (4, s. 23 - 26; 5, s.13; 23.)

Kuvassa 6 esitetään kokonaisjäykistyksen toimintaperiaate yksityiskohtaisemmin. Rakennuksen päädyssä on poikittaisjäykiste (2), johon on ruoteiden avulla sidottu n kappaletta kattoristikoa (1). Kuvassa ruodeväliä merkitään kirjaimella a ja jänneväliä kirjaimella l . Poikittaisjäykisteeseen kohdistuu ulkoinen vaakakuorma (5), jonka aiheuttamat poikittaisjäykisteen tukireaktiot (6) johdetaan tukipisteiden kohdilla jäykistäville seinille ja edelleen perustuksille. Kattoruoteet välittävät ristikoiden puristettujen paarteiden nurjahdustuentavoimat (4) poikittaisjäykisteelle. Nurjahdustuentavoimat aiheuttavat poikittaisjäykisteen tukipisteiden kohdalla tukireaktiot (7), jotka palautuvat asteittain kattokannattajiin lisäruoteiden välityksellä.

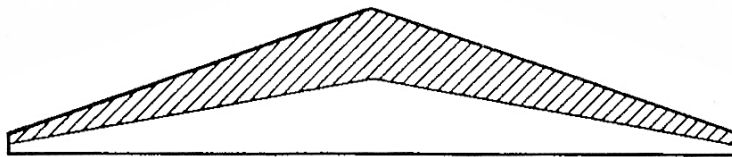


- (1) Rakenne, johon kuuluu n kpl vierekkäisiä kannattimia
- (2) Poikittaisjäykistys
- (3) Epätarkkuuksien ja geometrisen epälineaarisuuden aiheuttama ristikoiden taipuma
- (4) Jäykistävät voimat
- (5) Poikittaisjäykistykseen vaikuttava ulkoinen kuorma
- (6) Ulkoisista kuormista aiheutuvat poikittaisjäykistykseen reaktiovoimat
- (7) Jäykistävästä voimista aiheutuvat reaktiovoimat

KUVA 6. Periaatekuva kattoristikoiden muodostaman rakennekentän jäykistämisestä (4, s. 23)

4.2.1 Kattorakenteen ulkoiset kuormat

Kattorakenteen yläpaarretasolle lisävaakavoima muodostuu kattorakenteen omapainosta ja lumikuormasta. Lisävaakavoiman arvo lasketaan kaavalla 3 rakennuksen pidemmässä suunnassa. Rakennuksen päätykolmiolle kohdistuvasta tuulikuormasta puolet kuormittaa yläpaarretason jäykistysrakenteita kuvan 7 mukaisesti (4, s. 21; 49).



KUVA 7. Lapetason jäykistysrakenteille siirtyvän tuulikuorman osuus (4, s. 21)

Katon yläpaarretasolle siirtyvä tuulikuorma lasketaan keskimääräisenä pituusyksikön kuormana kaavalla 4, kun kokonaistuulikuorma on määritetty luvun 3.1.1

yksinkertaistetun menettelyn mukaan. Kaavassa 4 tuulikuormaan on sisällytetty tuulen kattoon aiheuttama kitkavoima. (4, s. 21 - 22.)

$$q_{t,k} = \frac{q_k(h)}{B} \left(c_t A_{yp} + c_{fr} A_{fr} \left(1 - \frac{A_{yp}}{A_{ref}} \right) \right) \quad \text{KAAVA 4}$$

A_{ref} = tuulta vastaan kohtisuora pinta-ala

$q_k(h)$ = rakennuksen korkeutta h vastaava nopeuspaine kuvasta 3

c_f = rakenteen voimakerroin taulukosta 2

A_{yp} = päädyn pinta-ala, jolta tuulikuorma kohdistuu lapetasoon (kuva 7)

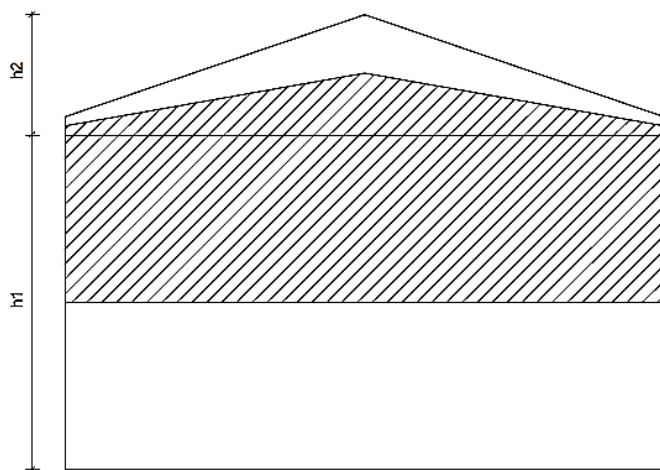
A_{fr} = katon kokonaispinta-ala

B = rakennuksen leveys tuulta vastaan kohtisuorassa suunnassa

c_{fr} = vesikatteen kitkakerroin, jolle voidaan käyttää seuraavia arvoja:

- 0,02 kattohuopa tai vastaavat muovipohjaiset rullattavat katteet
- 0,04 aalto-, ripa- tai poimuprofiloidut katteet, kuten pelti- ja betoniitiilikatteet.

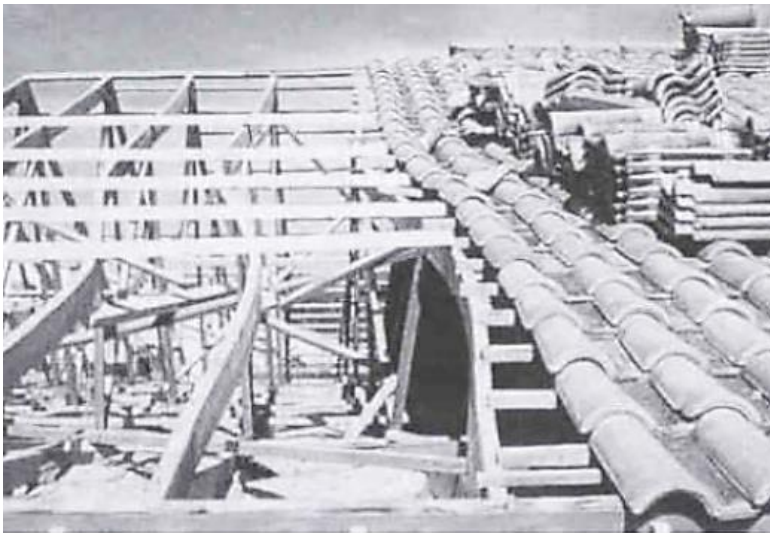
Vastaavasti puolet päätykolmioon kohdistuvasta tuulikuormasta sekä puolet rakennuksen päätyseinään kohdistuvasta tuulikuormasta siirtyy kattorakenteen alapaarretasolle kuvan 8 mukaisesti. Lisävaakavoima alapaarretasolle muodostuu kattorakenteen omapainosta ja lumikuormasta. Sen arvo lasketaan kaavalla 3 rakennuksen pidemmässä suunnassa. Lisäksi alapaarretasolle voi tulla kuormaa kattorakenteen jäykistysrakenteilta. Kuormat johdetaan alapaarretasolta jäykistävien seinien kautta perustuksille. (5, s. 12.)



KUVA 8. Alapaarretason jäykistysrakenteille siirtyvän tuulikuorman osuus

4.2.2 NR-ristikoiden puristettujen paarteiden nurjahdustuenta

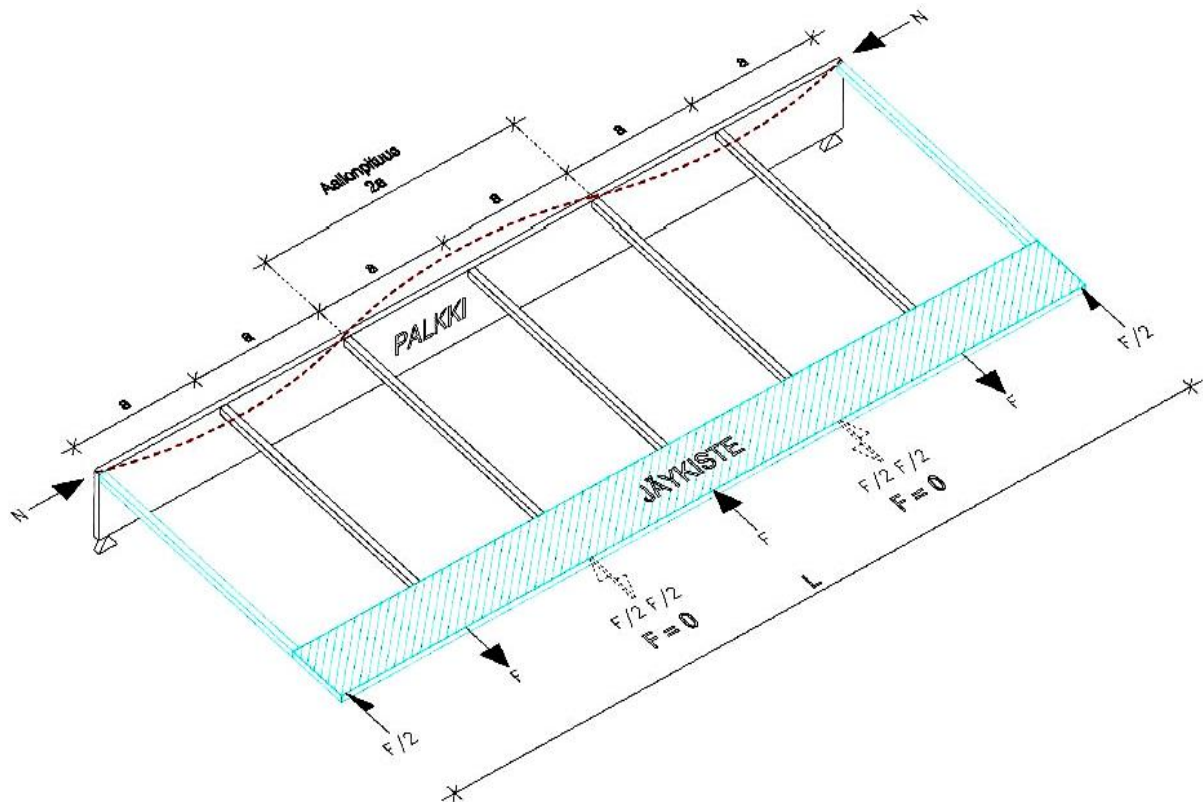
Ristikoiden puristetut paarteet voivat nurjahtaa tai kiepahtaa joko yhteen suuntaan tai S-muotoon. Yhteen suuntaan tapahtuvaa nurjahdusta kutsutaan nurjahduksen ensimmäiseksi muodoksi ja S-muotoon nurjahtamista nurjahduksen toiseksi muodoksi. Eurokoodi 5:n mukaan nurjahduksen molemmat muodot on huomioitava kantavien rakenteiden jäykistys suunnittelussa. Kuva 9 todistaa, että paarteiden nurjahtaminen myös S-muotoon on täysin mahdollista. (8, s.1.)



KUVA 9. Kattoristikoiden puristetut paarteet ovat nurjahtaneet S-muotoon (9, s. 6)

Suurin tuentavoima stabiliteettitukeen (kattoruoteeseen) syntyy S-nurjahduksen lyhimmillä aallonpituuksilla a ja $2a$, koska jokainen stabiliteettituki yrittää yksin pitää rakenneosaa vakaana. Kirjain a tarkoittaa kuvan 10 mukaisesti stabiliteettitukien välistä etäisyyttä. Aallonpituus on puolestaan paarteiden kaartumista esittävän katkoviivan käännepisteiden väli. Aallonpituuden päissä on aina tuentavoiman F tukireaktiot $F/2$. Aallonpituudella $2a$ käännepisteet sijaitsevat joka toisen stabiliteettituen kohdalla. Tällöin joka toiseen stabiliteettitukeen muodostuu vastakkaisuuntaiset tukireaktiot, jotka kumoavat toisensa, jolloin kyseisen stabiliteettituen voima on nolla. Näin ollen joka toinen stabiliteettituki toimii yksinään kuten lyhimmillä mahdollisella aallonpituudella a ja saa siten yhtä suuren voiman kuin aallonpituudella a . Puristetun rakenteen nurjahtaminen S-muotoon voidaan estää tarkoituksenmukaisella vaakajäykisteellä. Kuvan 10 mukaisessa

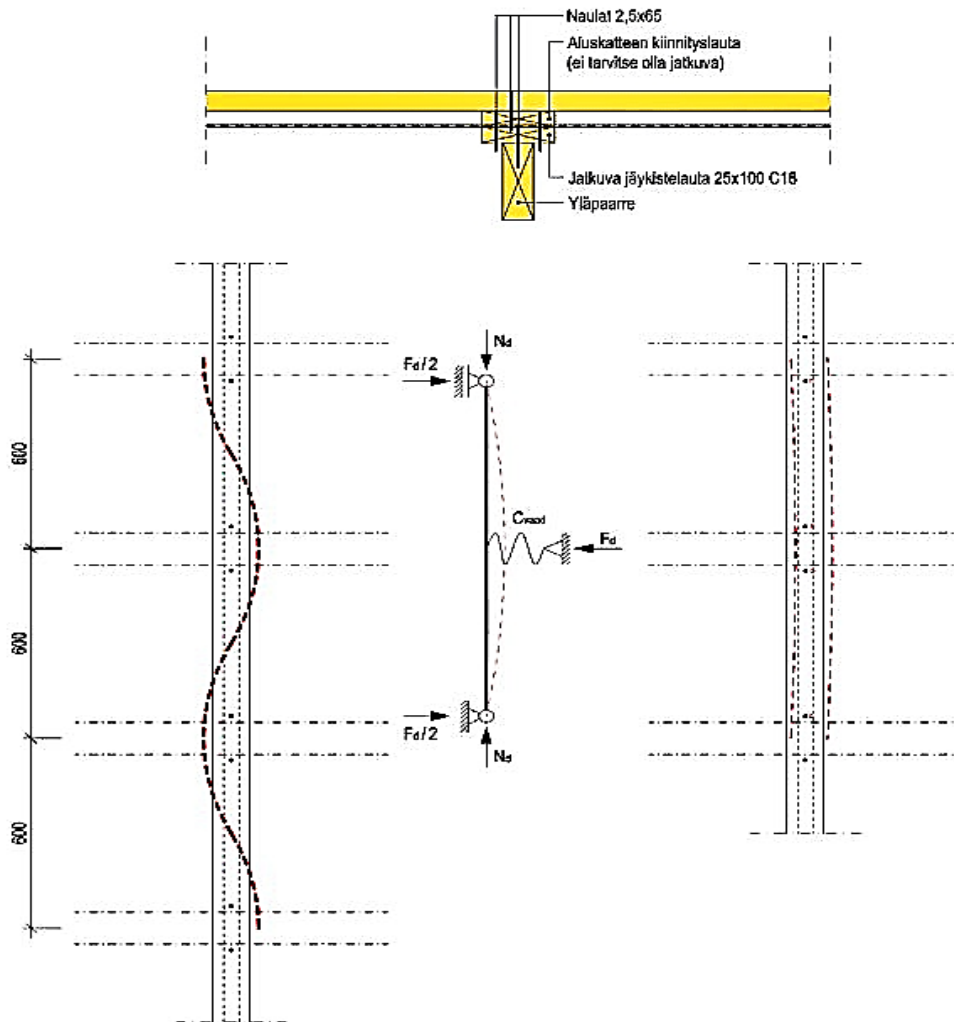
suljetussa jäykistysyhteisöissä vaakajäykiste vastaanottaa voiman F ja palauttaa sen tukireaktiot $F/2$ takaisin tuettavalle rakenteelle. Tällöin jäykistysyhteisömin ulkopuolelle ei synny voimia nurjahdustuennasta. (8, s. 2.)



KUVA 10. Tuentavoimien siirtyminen suljetussa jäykistysyhteisöissä, kun paarteet kaartuvat S-muotoon (8, s. 4)

S-nurjahdus on suositeltavaa ottaa vastaan ristikkokohtaisesti, jolloin katto-ruoteet eivät osallistu S-nurjahduksen estämiseen. Tämä voidaan toteuttaa kuvan 11 mukaisella yläpaarteen päälle asennettavalla jatkuvalla vaakajäykisteellä, kuten laudalla tai lankulla. Vaakajäykiste siirtää voiman F viereisen stabiiliteettituen kohdalle nurjahdusaallon nollakohtaan. Laskentamallissa jatkuva vaakajäykiste voidaan yksinkertaistaa yksiaukkoiseksi palkiksi. Vaakajäykiste ja sen liitokset paarteeseen mitoitetaan voimalle F sekä samanaikaisesti vaikuttavalle tuulikuormalle ja lisävaakavoimalle, ellei niitä vastaanoteta jo päädyssä. Vaakajäykisteen riittävä jäykkyys tarkistetaan laskemalla sille vaadittava jäykkyysarvo, johon toteutuvaa jäykkyyttä verrataan. Jos S-nurjahdusta ei estetä

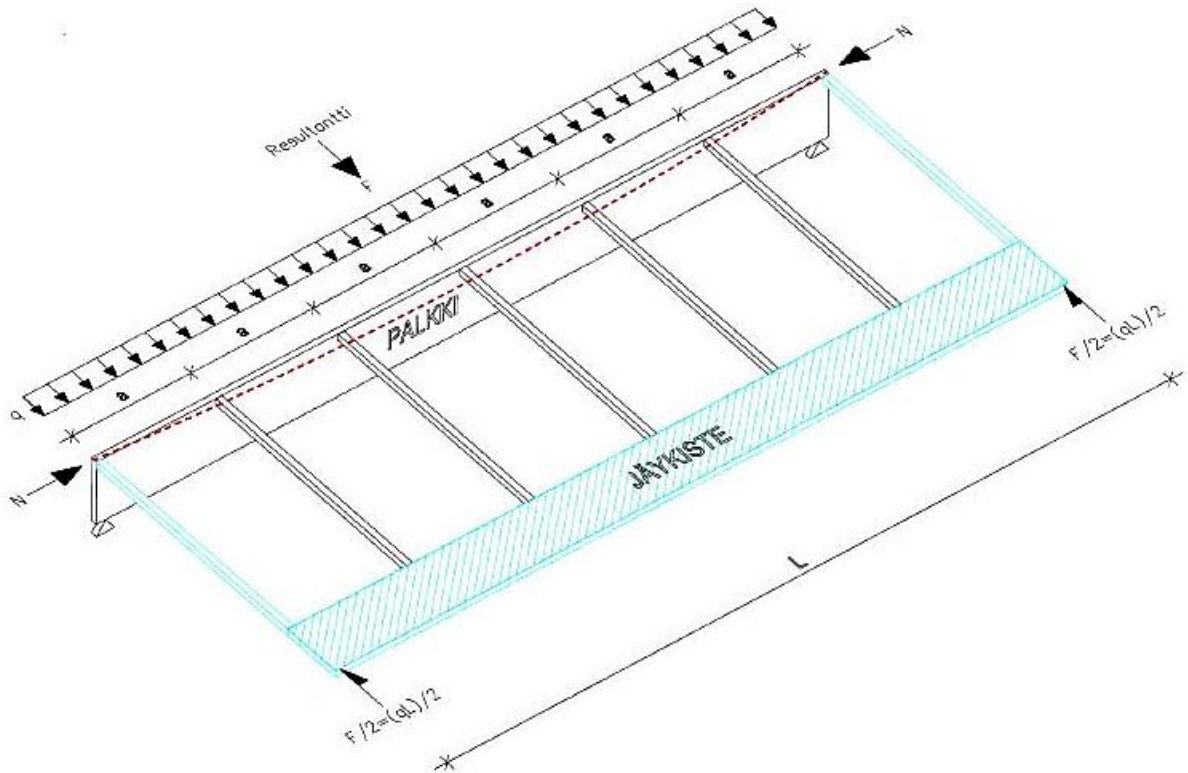
erikseen jokaisen ristikon kohdalla, kertyy stabiliteettitukiin ja jäykistyskenttään rinnakkaisilta kattokannattajilta hyvin suuri voima nF . Tällöin tukirakenteiden ja liitosten kestävyys sekä näiden riittävä jäykkyys muodostuvat nopeasti ongelmiksi. Asiaa tarkastellaan lähemmin ruodeliitosten yhteydessä luvussa 4.2.3. (8, s. 9; 18; 10, s. 5.)



KUVA 11. S-nurjahduksen stabiloiminen ristikkokohtaisella vaakajäykisteellä (10, s. 5)

S-nurjahduksen stabiloimisen jälkeen koko rakennekenttä vakautetaan estämällä pisimmän aallonpituuden mukainen paarteiden nurjahdus. Kyseisessä nurjahduksessa kaikkien stabiliteettitukien voimat ovat samansuuntaisia ja muodostavat siten tasaisen kuorman q . Yksittäiseen stabiliteettitukeen syntyvä voima on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin S-nurjahduksessa, koska aallonpituuden matkalla on useita tukia, jotka pitävät rakenneosaa stabiilina. Kuvan 12 mukaisessa suljetussa jäykistysyhteisessä vaakajäykiste vastaanottaa

kuorman q ja palauttaa sen tukireaktiot $qL / 2$ takaisin tuettavalle rakenteelle. Tällöin jäykistysjärjestelmän ulkopuolelle ei synny voimia nurjahdustuennasta. (8, s. 10.)



KUVA 12. Tuentavoimien siirtyminen suljetussa jäykistysjärjestelmässä, kun paarteet kaartuvat yhteen suuntaan (8, s. 10)

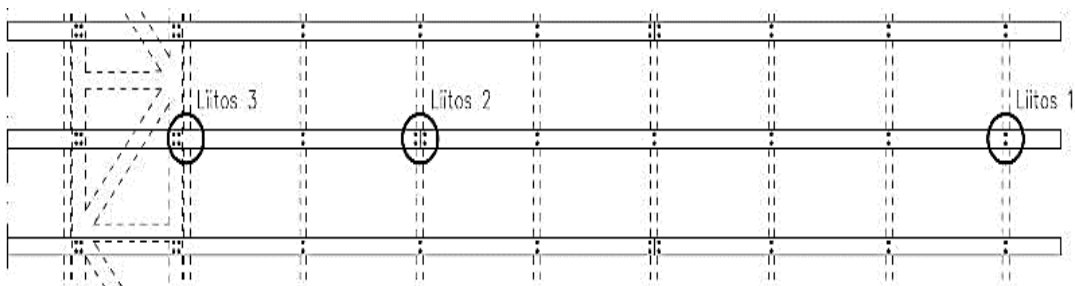
Koko rakennekentän stabilointi nurjahduksen ensimmäistä muotoa vastaan voidaan tehdä rakennuksen päädyssä sijaitsevalla vaakajäykisteellä, kuten vaakaristikolla tai päätyseinän yläohjauspuulla. Tällöin vaakajäykisteeseen kohdistuu suuri voima nq , koska kaikki paarteet kaartuvat samaan suuntaan. Vaakajäykisteen tukireaktiot voidaan palauttaa asteittain takaisin ristikoille lisäruteilla tai johtaa pystyjäykisteillä perustuksille. Vaakajäykiste mitoitetaan nurjahdustuentakkuorman nq lisäksi samanaikaisesti nurjahdussuuntaan vaikuttavalle tuulikuormalle ja lisävaakavoimalle. Vaihtoehtoisesti stabilointi voidaan tehdä samalla ristikkokohtaisella vaakajäykisteellä, jolla S-nurjahduskin estetään. Tällöin jokaiseen ristikkoväliin pitää kuitenkin sijoittaa pystyjäykisteet vastaanottamaan vaakajäykisteen tukireaktiot kultakin ristikolta. Ristikkokohtainen vaakajäykiste mitoitetaan nurjahdustuentakkuorman q lisäksi samanaikaisesti vaikuttavalle tuulikuormalle ja lisävaakavoimalle, ellei niitä vastaanoteta jo päädyssä. Yhteen

suuntaan tapahtuvassa nurjahduksessa tarkistetaan, ettei vaakajäykisteen suurin taipuma ylitä arvoa $L/500$ murtorajatilan kuormitusyhdistelmille Tämä ehto määrittää tukirakenteen riittävän jäykkyyden. (8, s. 10 - 12; 21 - 22; 11, s. 3.)

4.2.3 Kattoruoteiden suunnittelu

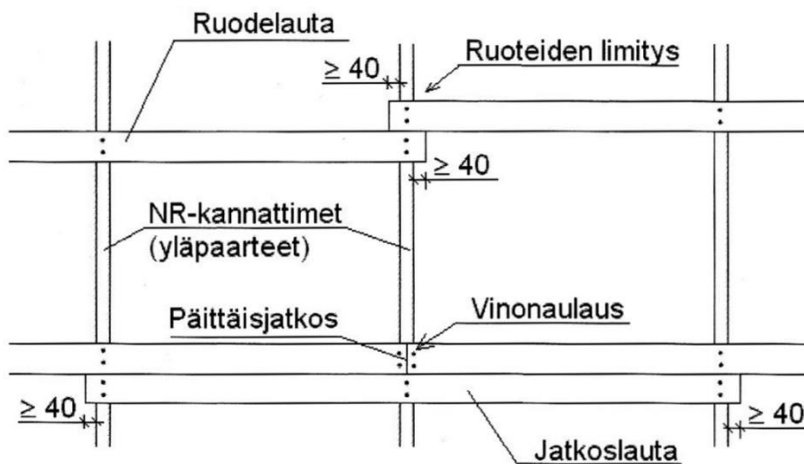
Kattoruoteet osallistuvat aina jollakin tavalla kattorakenteen kokonaisjäykistykseen. Edellisessä kohdassa sivuttiin niiden toimintaa stabiliteettitukina yläpariteiden nurjahdustuennassa. Nurjahdustuentakuorman lisäksi ruoteilla voidaan siirtää myös tuulikuormaa ja lisävaakavoimaa jäykistäville rakenteille. Ruoteiden toimintaa erilaisissa jäykistystavoissa kuvataan luvussa 4.2.4. Kattorakenteen jäykistäminen pelkästään ruoteilla ei ole mahdollista, koska ruoteen ja kattoristikon välistä liitosta pidetään nivelellisenä. Seuraavassa keskitytään ruodeliitosten suunnitteluun ja ruoteiden mitoitukseen. (4, s. 33.)

Tarkastellaan kuvan 13 avulla ruodeliitosten rasituksia. Kuvan jäykistysjärjestelmässä reunimmaisessa kannattajavälissä on vaakaristikko, johon on sidottu yhdeksän kattokannattajaa. Merkitään yksittäisessä nurjahdustukisauvassa vaikuttavaa nurjahdustuentavoimaa yleisesti kirjaimella F ja kannattajien lukumäärää kirjaimella n . Liitoksessa 1 vaikuttava voima on F :n suuruinen. Liitosta 2 puolestaan rasittaa myös vierekkäisten kannattajien nurjahdustuentavoimat. Tällöin liitoksessa vaikuttava voima on nF , jonka arvo tässä tapauksessa on siis $6F$. Liitosta 3 rasittaa vastaavasti voima $7F$. Reunimmaisten kattokannattajien nurjahdustuentavoimat siirtyvät suoraan vaakaristikolle, eivätkä ne siten kuormita liitosta 3. (10, s. 10.)



KUVA 13. Ruodeliitosten rasitukset (10, s. 9)

Voimaa välittäviä ruoteiden päittäisjatkoksia ei aina voida tehdä suoraan paarteiden päällä liittimien vaatimien päätyetäisyyksien vuoksi. Tällöin ruoteet jatketaan limittämällä ne kuvan 14 mukaisesti tai käyttämällä kahden kannatinvälin mittaisia jatkoslautoja, jotka sijoitetaan päittäisjatkosten viereen. Ponttilaudoituksella tai harvalla laudoituksella päittäisjatkokset eivät kuitenkaan muodostu ongelmaksi, jos vierekkäisten lautojen jatkokset tehdään eri paarteella tai kannatinvälillä. (4, s. 35.)



KUVA 14. Ruoteiden limittäminen tai jatkoslaudan käyttäminen (4, s. 35)

Ruoteiden kestävyys tarkistetaan ristikoiden nurjahdustuentakuormituksesta aiheutuville normaalivoimille sekä katteen omapainon ja lumikuorman aiheuttamalle taivutusmomentille. Yksittäinen ruode mitoitetaan jatkuvana palkkina, jonka tukivälinä on kattokannattajien välinen etäisyys. (4, s. 51.)

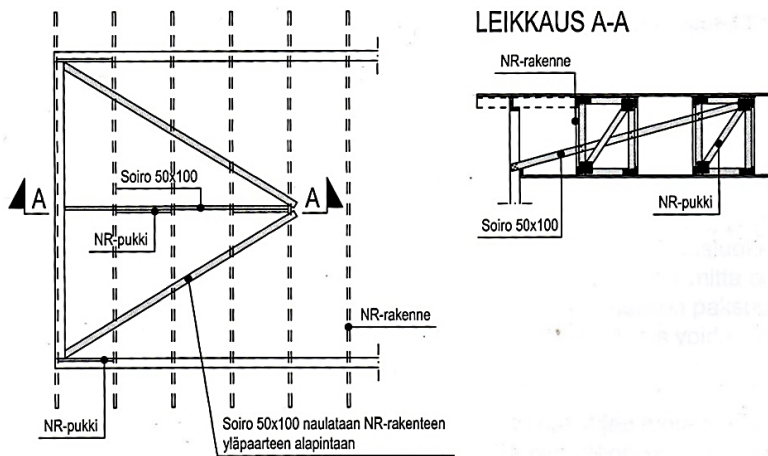
4.2.4 Kokonaisjäykistyksen toteutus

Luvussa 4.2.4 esitetään joitakin vaihtoehtoja NR-kattorakenteen jäykistämiseen puurakenteisissa asuinrakennuksissa. Muitakin, kuin luvussa 4.2.4 esitettyjä vaihtoehtoja voidaan käyttää. Sopiva menetelmä valitaan tapauskohtaisesti.

Vinosidonnat ja pukit

Rivi- ja omakotitalojen jäykistys ulkoisia kuormia vastaan voidaan toteuttaa esimerkiksi NR-rakenteen yläpaarteiden alapintaan asennettavalla vinosidonnalla kuvan 15 mukaisesti. Tuulikuorma ja lisävaakavoima siirtyy vinolaudoitukselta

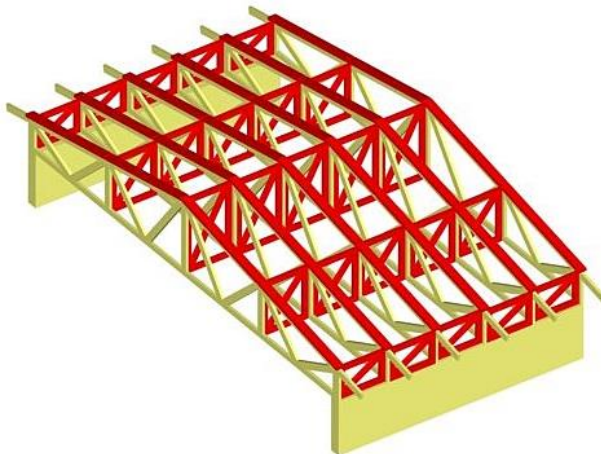
NR-pukeille. Sisäisten nurjahdustuentakuormien vastaanottamiseen tarvitaan erillisiä vaakajäykisteitä ja lisäruoteita tai levyjäykisteitä. (4, s. 31.)



KUVA 15. Periaatekuva kattorakenteen jäykistämisestä yläpaarteen alapintaan asennettavalla vinosidonnalla (4, s. 31)

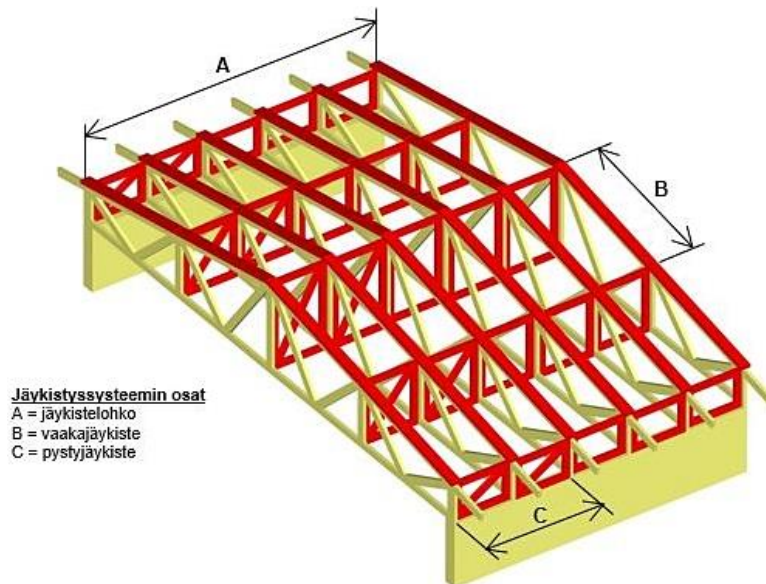
Ristikkokohtaiset vaakajäykisteet ja pukit

Kattorakenteen kokonaisjäykistys voidaan tehdä myös kuvan 16 periaatteella. Kyseisessä jäykistyssysteemissä kattoruoteet välittävät tuulikuorman ristikkokohtaisille vaakajäykisteille, jotka samanaikaisesti vastaanottavat myös lisävääkavoiman ja nurjahdustuentakuormat. Pystyjäykistelinjat sijaitsevat koko katon pituudella ja ne siirtävät ristikkokohtaisten vaakajäykisteiden tukireaktiot alakatton tasoon. (11, s. 1).



KUVA 16. Periaatekuva kattorakenteen jäykistämisestä ristikkokohtaisilla vaakajäykisteillä ja NR-pukeilla (11, s. 3)

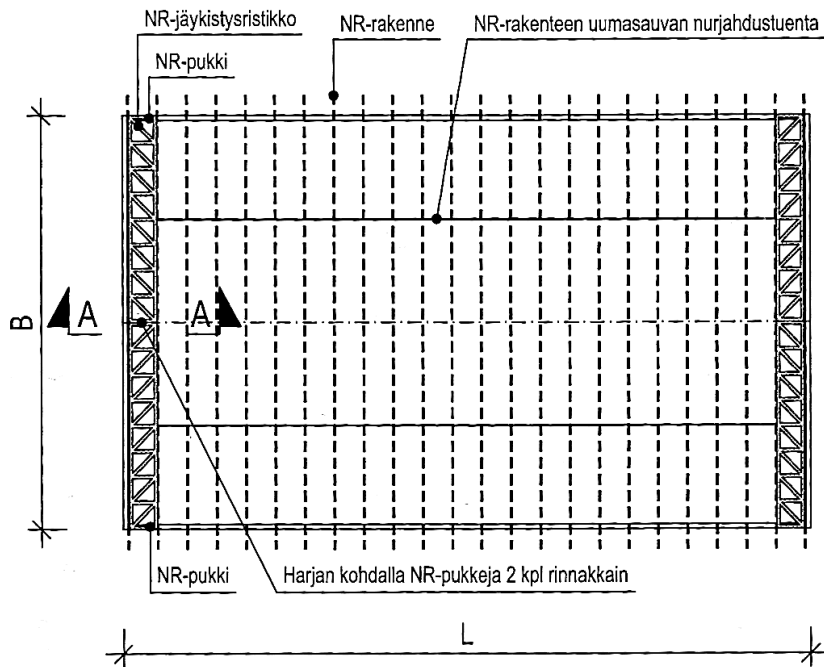
Vaihtoehtoisesti pystyjäykisteet voidaan sijoittaa vain valittuihin ristikkoväleihin, kuten kuvassa 17. Se kuitenkin lisää NR-ristikolle syntyvää pistekuormaa, kun pystyjäykisteen tukireaktio kasvaa. Sijoittamalla pystyjäykisteet jokaiseen ristikkoväliin, niiden tukireaktiot NR-ristikolle pienenevät ja kuorma jakautuu tasaisemmin alapaarretasolle. Pystyjäykisteiden tukireaktiot ilmoitetaan NR-ristikon suunnittelijalle. Kuvien 16 ja 17 mukainen jäykistysjärjestelmä voidaan mitoittaa Puuinfon ilmaisella NR-yläpohjan jäykistysjärjestelmän mitoitusohjelmalla. (11, s. 1).



KUVA 17. Periaatekuva pystyjäykisteiden sijoittamisesta ristikkoväleihin (11, s. 3)

NR-jäykistysristikot ja pukit

Kattorakenne on mahdollista jäykistää myös tehdasvalmisteisilla tai työmaalla rakennettavilla NR-jäykistysristikoilla. Vaakaristikot sijoitetaan kuvan 18 mukaisesti rakennuksen kumpaankin pätyyn yläpaarretasoon reunimmaisiin kantataväleihin. Pitkissä rakennuksissa saatetaan tarvita jäykistysristikkoa myös rakennuksen keskialueella. (4, s. 25).



KUVA 18. Periaatekuva kattorakenteen jäykistämisestä vaakaristikoilla ja pukeilla (4, s. 46)

Vaakaristikoiden väliin jäävät kattoristikot tukeutuvat kattoruoteiden avulla päädyn jäykistysristikoihin. Kattoruoteet kuljettavat puristettujen paarteiden nurjahdustuentakuormat vaakaristikoille. Jäykistysristikko vastaanottaa tuulikuorman, lisävaakavoiman ja nurjahdustuentakuormat yhteen suuntaan tapahtuvasta nurjahduksesta. S-nurjahdus estetään ristikkokohtaisella vaakajäykisteellä. Kuorma siirtyy jäykistysristikon tukireaktioiden välityksellä harjalla ja seinälinjalla oleville pukeille. Nurjahdustuentakuorma voidaan pukkien kohdalle sijoitettavilla lisäruoteilla tasapainottaa kattorakenteen sisälle. Pukit välittävät vastaanottamansa kuorman seinälinjoille ja mahdollisesti alakaton tasoon. Pukkien tukireaktiot ilmoitetaan NR-ristikon suunnittelijalle. (4, s. 46 - 47.)

Levyjäykistys

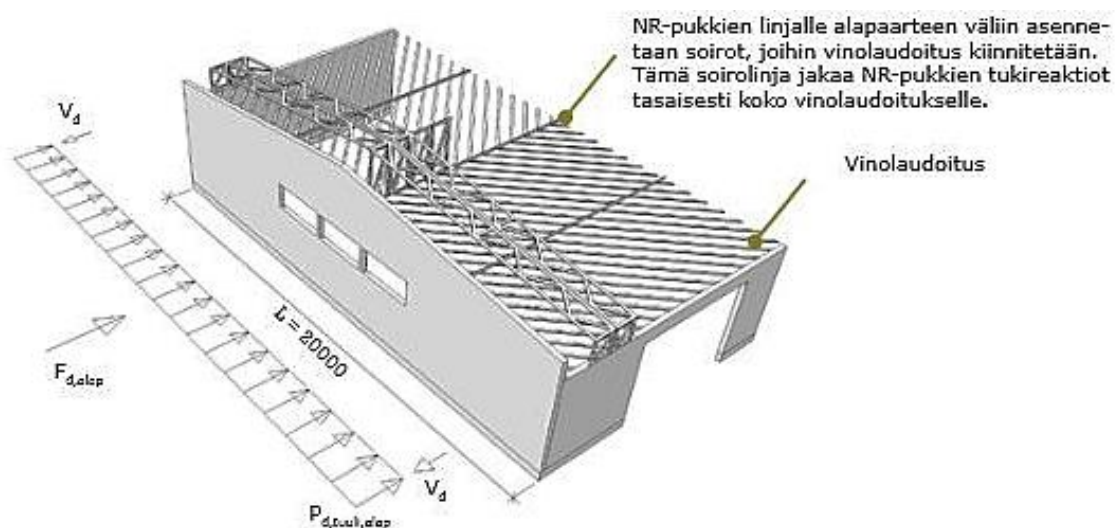
Kattorakenteen kokonaisjäykistykseen voidaan käyttää myös levyjä. Tällöin suoraan paarteisiin kiinnitetyt levyt toimivat paarteiden sivuttaistuennan lisäksi vaakajäykisteinä. Levytyksen tulee kuitenkin ulottua jäykistäville seinille saakka tai kuormitus on siirrettävä vinoreivauksilla levytyksen reunasta seinille. Suoraan paarteeseen kiinnitetyt puulevyt toimivat seinärakenteen tavoin ja ne mitoitetaan levyjäykistysohjeiden ja luvun 4 mukaisesti. Puulevyjäykistys on tehokas

esimerkiksi huopakatteen alla. Suoraan paarteisiin kiinnitetyllä ponttilaudoituksella sen sijaan on riittävä jäykistyskyky ainoastaan alle 4 metrin mittaisilla kattolappeilla. (4, s. 30.)

Levyjäykisteenä voidaan käyttää myös korkeaprofiilisia peltejä, mutta se edellyttää normaalia tiheämpää kiinnitystä ja sen laskennallinen mitoitus on haastavaa. Lisäksi pellin lämpölaajenemisesta aiheutuvat pakkovoimat saattavat muodostua ongelmaksi, minkä vuoksi edellä käsitelty S-nurjahdus on suositeltavaa ottaa vastaan ristikkokohtaisella vaakajäykisteellä. Muita vesikatteita, kuten konesaumattua peltiä, ei voida käyttää kattorakenteen jäykistykseen (4, s. 25; 30; 51.)

Alapaarretason jäykistys

Alakaton jäykistys voidaan toteuttaa luvun 5 mukaisesti levyjäykistyksellä tai kattokannattajien alapaarteisiin naulattavilla vinolaudoilla, jotka siirtävät kuorman jäykistäville seinille. Vinojäykistysperiaate esitetään kuvassa 19. Vinolaudoitusta käytettäessä pitää pystyjäykistelinjoilla olla soirot ristikoiden alapaarteiden välissä, joihin vinolaudoitus kiinnitetään. Soirolinja jakaa NR-pukkien tukireaktiot tasaisesti koko vinolaudoitukselle. Vinolaudoituksen täytyy jatkua yhtenäisenä koko alapaarretasolla jäykistäville seinille, jottei voiman kulkureitti katkeaisi. (12, s. 120.)



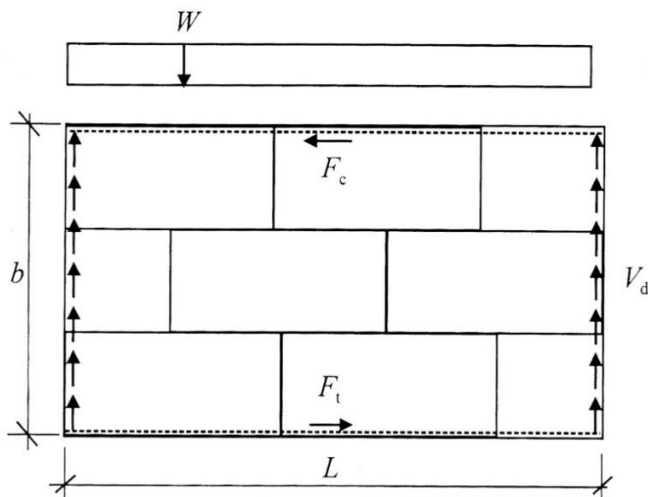
KUVA 19. Periaatekuva alakaton jäykistämisestä vinolaudoituksella (12, s. 120)

5 RAKENNUSRUNGON JÄYKISTYS

Luvussa 5 keskitytään periaatetasolla puurakenteisten asuinrakennusten rungon jäykistykseen. Tarkemmat mitoitusohjeet löytyvät lähteestä RIL 205-1-2009 sekä levyvalmistajilta. Liitteen 1 mitoituskaaviossa viitataan em. ohjeisiin sekä opinnäytetyön asiaa koskeviin kohtiin.

5.1 Vaakarakenteet

Rakennuksen kokonaisjäykistyksessä väli- ja yläpohjia voidaan käyttää vaakakuormien siirtämiseen jäykistävälle pystyrakenteille. Jäykistävän vaakarakenteen staattinen malli esitetään kuvassa 20. Välipohja toimii korkeana I-palkkina, joka on tuettu tuulensuuntaisilla jäykistävillä seinillä. Levytys toimii palkin uumana leikkausvoimia vastaan ja välipohjan reunapalkit paarreosina taivutusmomenttia vastaan. (3, B13/2.)



KUVA 20. Jäykistävän vaakarakenteen staattinen malli (3, B13/2)

Välipohjan reunapalkit ja niiden jatkokset mitoitetaan normaalivoimalle suurimman levykentässä vaikuttavan taivutusmomentin mukaan. Mitoitus tehdään vektorisitukselle, koska puun vetolujuus on pienempi kuin sen puristuslujuus. Reunapalkeissa vaikuttava vetovoima lasketaan kaavalla 5. (3, B13/3.)

$$F_{t,d} = F_{c,d} = \frac{M_{max,d}}{b}$$

KAAVA 5

$M_{max,d}$ = maksimimomentti

b = levykentän leveys

Leikkausvoimien oletetaan olevan tasaisesti jakautuneita levykentän leveydellä. Levykentän mitoitus voidaan tehdä RIL 205-1-2009 yksinkertaistetun analyysin mukaan tai kansallisen yleisen mitoitusmenetelmän mukaan. Levyvalmistajien ohjeet perustuvat em. menetelmiin ja myös niissä esitettyjä ohjeita tulee noudattaa. Yleistä mitoitusmenetelmää käytettäessä voidaan hyödyntää Puuinfon ilmaista levyjäykisteen mitoitusohjelmaa, kunhan ohjelman levy- ja liitinkirjastoon määritetään käytettävän levyn ja liittimen ominaisuudet. Yleinen mitoitusmenetelmä huomioi levyn kiinnitystavan, jäykkyyden ja siirtymän. (13; 4, s. 146 - 161.)

Vaakarakenteen toimintamalli on vastaavanlainen tuulen vaikuttaessa rakennuksen päätyyn. Tällöin I-palkin paarteina ovat päätyseinän suuntaiset reunapalkit ja levytukina sivuseinän suuntaiset reunapalkit. Tämän vuoksi reunapalkit tulee mitoittaa sekä vaakakuormituksesta aiheutuville tukivoimille että taivutusmomentin aiheuttamalle vetovoimalle. Levykentän tuet ja paarteet kiinnitetään seinän yläjuoksuun, joka siirtää levyn reunaan tasaisesti jakautuneen leikkausvoiman alla olevalle jäykistysseinälle. (3, B13/4).

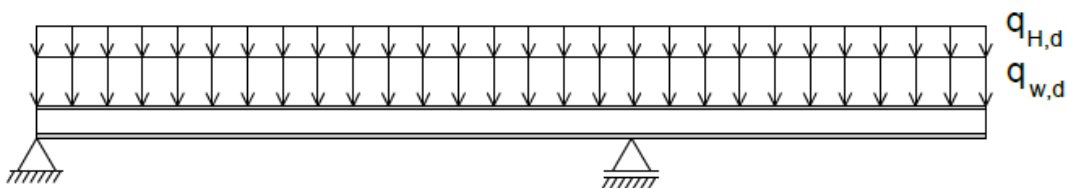
Kuvan 20 mukaisessa vaakarakenteen mallinnuksessa levytyksen oletetaan toimivan yhtenä osana. Tämän vuoksi levyt pyritään limittämään, vaikka ne laskeutumiselle varmallalla puolella olevana yksinkertaistuksena sijaitsevat samassa linjassa. Koska levyt toimivat kahteen suuntaan, tulisi niiden limititys suunnata määräävää kuormitussuuntaa vastaan. (3, B13/4).

Jäykistävän vaakarakenteen mitoituksessa on myös tärkeää varmistaa, että voimat siirtyvät suurten väli- tai yläpohjan aukkojen ohi. Puristus- ja vetovoimien siirtämiseen voidaan käyttää aukon reunapalkkeja. Levyt kiinnitetään kunnolla näihin reunapalkkeihin, jotta myös leikkausvoimat voivat siirtyä aukon ohi. Lisäksi tulee huolehtia, että ylemmän kerroksen jäykistävien seinien ankkurointivoimat siirtyvät välipohjan välityksellä alemman kerroksen jäykistävälle seinille. Jäykistävien seinien ankkurointia käsitellään myöhemmin kohdassa 5.3. (3, B13/4; 14, s. 9.)

5.2 Kuormajakauma vaakarakenteelta jäykistäville seinille

Ylä- ja välipohjataso mitoitetaan edellisen luvun mukaisesti vaakasuuntaisena I-palkkina, mutta sen toiminta jäykistävänä vaakarakenteena ei kuitenkaan ole yksiselitteistä. Vaakarakenteen toimintatapa täytyy selvittää, jotta jäykistäville seinille saadaan määritettyä oikeat kuormat. Vaakarakenteen toiminnasta esitetään erilaisia malleja ja kaikissa niissä on omat puutteensa. Rakennesuunnittelijan tulee erilaisten kuormajakaumien vuoksi harkita tapauskohtaisesti, mitä toimintamallia ylä- ja välipohjatasolle sovelletaan. (15, s. 13.)

Yhtenä toimintamallina pidetään jäykkää välipohjalevyä tuettuna taipuisille jäykistysseinille. Jäykkä välipohjalevy voi tasossaan jäykkänä kappaleena siirtyä ja kiertyä kiertokeskiön ympäri. Välipohjatason ja jäykistysseinän liittymässä kummankin siirtymä on yhtä suuri, jolloin vaakakuorma jakautuu välipohjalta jäykistysseinälle seinän suhteellisen jäykkyyden mukaan. Jos välipohja tuetaan esimerkiksi kolmella yhtä jäykällä seinällä ja sisäseinä sijaitsee välipohjalevyn keskellä, jokainen seinä ottaa vastaan kolmasosan vaakakuormasta. Jos sisäseinä ei sijaitse välipohjalevyn keskellä, täytyy myös vääntörasitus huomioida. Oletusta jäykästä välipohjalevystä tulisi käyttää ainoastaan silloin, kun välipohjan muoto lähenee neliötä, eli sen sivusuhte on likimain yksi. Tämän ehdon voi saavuttaa puurakenteisissa asuinrakennuksissa helpommin jakamalla välipohjan useisiin yhden huoneiston laajuisiin ja toisistaan erillisiin jäykkiin tasoihin, kuten puukerrostaloissa. Välipohjan jäykkyyttä voi parantaa levyjen liimauksella ja poikittaisjäykisteillä. Joissakin tapauksissa, kuten päätyseinän jäykistyskapasiteetin ollessa mitätön suurien aukotuksien vuoksi, välipohja on tehtävä jäykäksi, jotta se voi kuvan 21 mukaisesti ulokepalkkina siirtää kuorman sisäseinälle. Tällöin uloketta rasittaa suuri taivutusmomentti. (3, B13/6 - 7; 15, s. 13; 16, s. 80.)

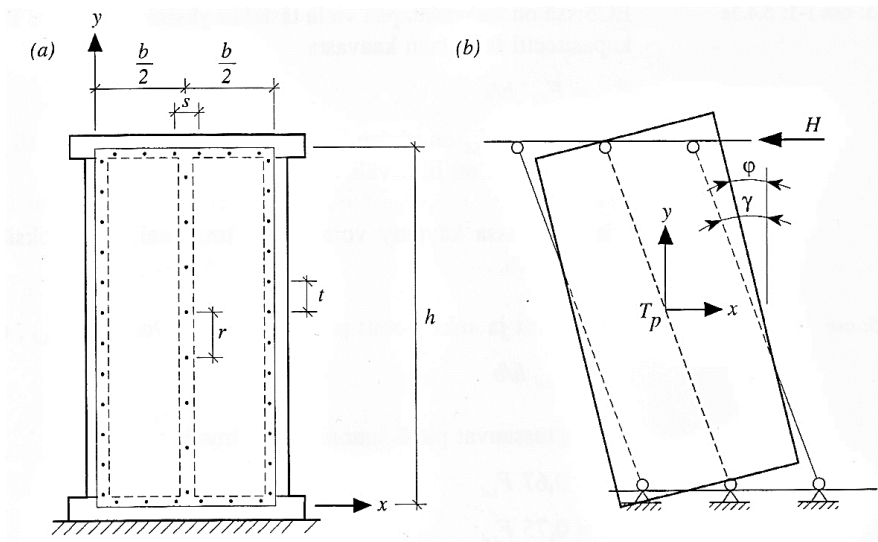


KUVA 21. Periaatekuva vaakarakenteen toiminnasta ulokepalkkina

Toisen toimintamallin mukaan joustava välipohjalevy tuetaan jäykille jäykistysseinille. Tällöin välipohjalevyä pidetään koko rakennuksen pituisena vaakasuorana moniaukkoisena tai yksinkertaisesti tuettuna palkkina, jonka tukireaktiot kuormittavat jäykistysseiniä. Varmalla puolella oleva ratkaisu on mitoittaa rakennuksen päätyseinät yksinkertaisesti tuetun mallin mukaan ja sisäseinät jatkuvan palkin kuormajakauman mukaan statiikan perussäännöillä. Tällöin ulkoseinien hyvä jäykistyskapasiteetti saadaan hyödynnettyä ja vastaavasti sisäseinän kuormaa kevennettyä. Jos edellä mainittu kolmitukinen välipohja mitoitettaisiin kahtena yksiaukkoisena palkkina, sisäseinä keräisi puolet välipohjalta tulevasta vaakakuormasta ja ulkoseinien hyvä kapasiteetti jäisi hyödyntämättä. Molemissa tapauksissa sisäseinän kuorma tulee kuitenkin melko suureksi, minkä vuoksi rakennusrungon jäykistys kannattaa ensisijaisesti pyrkiä toteuttamaan ulkoseinillä. (3, B13/6 - 7.)

5.3 Seinärakenteet

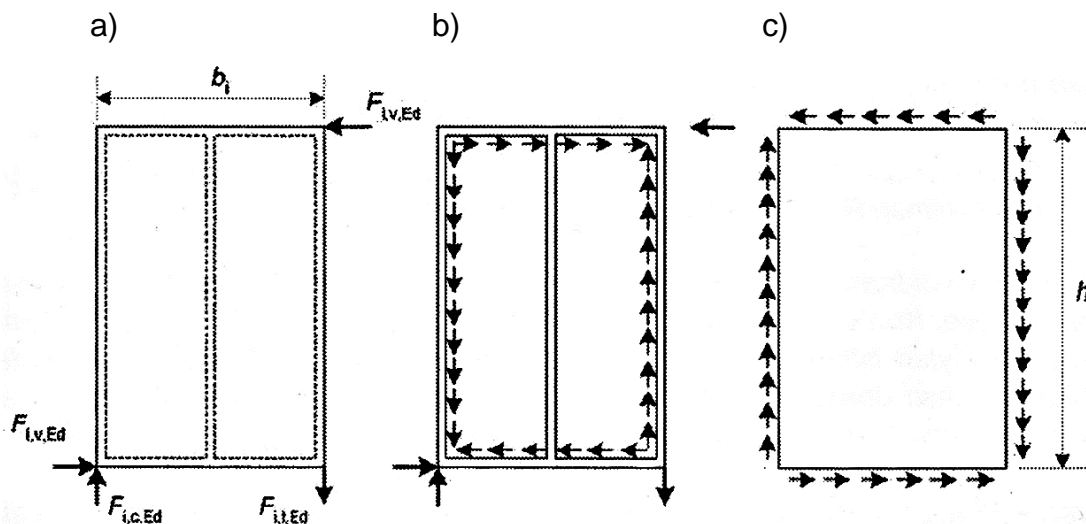
Rakennuksen kokonaisjäykistyksessä jäykistävillä seinillä otetaan vastaan jäykistävilta vaakarakenteilta tulevat vaakakuormat ja viedään ne perustuksille. Kuvassa 22a on tyypillinen seinäelementti ja kuvassa 22b esitetään sen staattinen toiminta. Runkopuiden välisiä liitoksia pidetään nivelellisinä, minkä vuoksi puurungon siirtymiä täytyy vastustaa runkoon liitettävällä levytyksellä. Jäykistysseinä toimii siis ulokelevynä, jota kuormittaa yläjuoksuun keskitetty vaakakuorma. (3, B13/4.)



KUVA 22. a) Tyypillinen seinäelementti b) Staattinen toiminta (3, B13/5)

Vaakavoiman vaikutuksesta seinän toinen nurkka pyrkii nousemaan ylös ja toinen nurkka puristumaan kasaan. Tämän taivutusmomentin aiheuttaman rasituksen vuoksi runkotolpat tulee mitoittaa vedolle ja puristukselle. Lisäksi on tarkastettava puristetun runkotolpan nurjahduskestävyys levyn tasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Levyn tason suunnassa nurjahdusta ei tarvitse tarkastaa, koska levy toimii runkotolpan nurjahdustukena. Runkotolpan ja vaakasuuntaisten puusauvojen, kuten ylä- ja alajuoksun, kosketusalueilla tarkastetaan myös syysuuntaa vastaan kohtisuora puristuskestävyys. (2, s. 150.)

Runkopuulta leikkausvoima siirtyy liittimien välityksellä levyille. Levyä kuormittaa siis ainoastaan leikkausrasitus. RIL 205-1-2009:ssä ja levyvalmistajien ohjeissa on ehtoja, joiden täyttyessä levyn leikkauslommahdusta ei yksinkertaistetussa analyysissä tarvitse tarkastaa. Esimerkiksi LapWall Oy:n käyttämällä tyyppihyväksytyillä Knaufin levyillä leikkauslommahdusta ei tarvitse tarkastaa, jos levyn reunalla ja keskirungossa liitinväli on $\leq 300\text{mm}$, pystyrunkojako $k \leq 600\text{mm}$ sekä levyn korkeus on $\leq 2800\text{mm}$. Tämän ehdon täyttäminen edellyttää myös tyyppihyväksytyjen kiinnikkeiden käyttöä. Kuvasta 23 nähdään voimat, jotka vaikuttavat seinäelementin eri osiin. (14, s. 6.)



KUVA 23. Voimat, jotka vaikuttavat a) seinälohkoon, b) puurunkoon ja c) levyyn (2, s. 149)

Jäykistävä seinä pitää ankkuroida seinän päissä olevista runkotolpista jäykin liittimin, jotta nurkassa vaikuttava nostava vetovoima siirtyy perustuksille ja seinän

liukuminen estyy. Tämä ankkurointivoima lasketaan kuvan 23 merkintöjä noudattaen kaavalla 6. Nostavaa vetovoimaa saa kuitenkin pienentää pysyvän kuorman nurkkatolppaan aiheuttaman puristusvoiman $F_{i,g,d}$ verran. Vähennys pitää kertoa edullisen kuorman osavarmuusluvulla 0,9. (2, s. 150.)

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} \cdot h}{b_i}$$

KAAVA 6

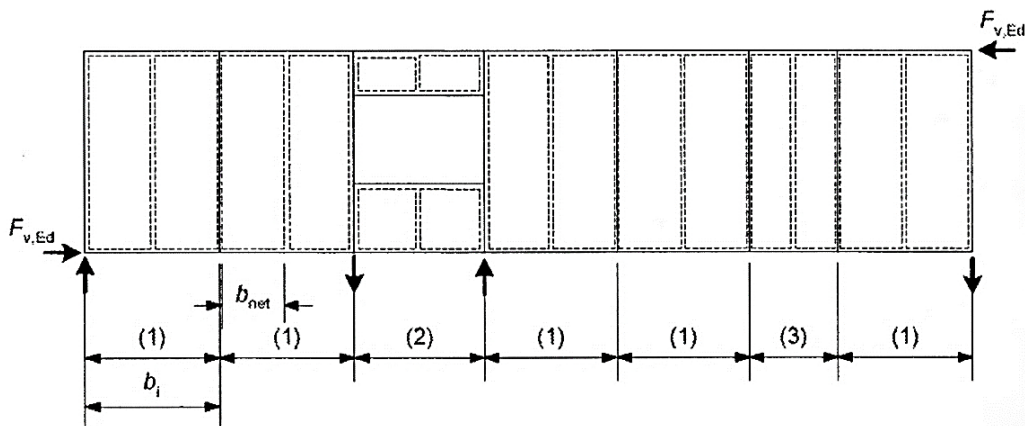
$F_{i,c,Ed}$ = puristava pystyvoima

$F_{i,t,Ed}$ = nostava pystyvoima

h = seinän korkeus

b_i = seinän leveys

Kokonaisen jäykistysseinän toimintaperiaate esitetään kuvassa 24. Seinä koostuu kahdesta jäykistävästä osaseinästä, joiden välissä on ikkunallinen seinälohko. Vaakarakenteelta seinän yläosaan tuleva leikkausvoima $F_{v,Ed}$ otetaan vastaan jäykistävillä seinälohkoilla. Kukin seinälohko (1) ottaa voimasta $F_{v,Ed}$ oman kapasiteettinsa mukaisen osan $F_{i,v,Rd}$. Tällöin koko seinän vaakaleikkausvoimakestävyys $F_{v,Rd}$ on seinäloikkojen vaakaleikkausvoimakestävyyksien $F_{i,v,Rd}$ summa. Aukollisilla seinäloikoilla (2) ei ole jäykistyskapasiteettia, mutta niillä voidaan kytkeä jäykistävät osaseinät yhteen ja siirtää voimia niiden välillä. Kappeista seinäloikoista (3) jäykistävinä huomioidaan ne, joiden leveys on suurempi kuin neljäsosa seinän korkeudesta. Elementtirakentamisessa täytyy kiinnittää erityistä huomiota elementtien välisiin liitoksiin, jotta vaakavoima voi siirtyä elementiltä toiselle. Seinä pitää ankkuroida jäykin liittimin jokaisen osaseinän molemmista päistä perustuksiin. (2, s. 148 - 150.)



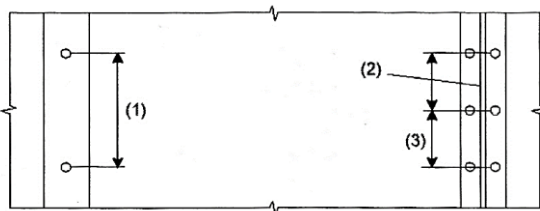
KUVA 24. Periaatekuva kaksiosaisesta jäykistysseinästä (2, s. 150)

Seinälohkojen vaakaleikkausvoimakestävyyttä voidaan parantaa käyttämällä levytystä rungon molemmilla puolilla. Esimerkiksi Knaufin levyillä yksinkertaistetussa analyysissä tällaisen seinälohkon laskennassa noudatetaan seuraavia sääntöjä:

- Jos levyt ja liittimet ovat tyypiltään ja mitoiltaan samanlaiset, niin seinän vaakaleikkausvoimakestävyys lasketaan molempien levytysten summana.
- Jos seinärungon eri puolilla käytetään erityyppisiä levyjä, mutta siirtymäkertoimiltaan samanlaisia liittimiä, voidaan yleensä ottaa huomioon 75% heikomman puolen vaakaleikkausvoimakestävyydestä. Muissa tapauksissa vahvemman puolen vaakaleikkausvoimakestävyyteen saadaan lisätä 50% heikomman puolen kestävydestä. (14, s. 8.)

Samalla puolella runkoa olevista päällekkäisistä levyistä vain sisempi huomioidaan jäykistävänä levynä. Päällekkäisiä levytyksiä on lähinnä huoneistojen välisissä palokatkoseinissä. Jäykistyksen on toimittava myös palotilanteessa, jolloin ulompi levy suojaa sisempää jäykistävää levyä. Palotilanteen vuoksi kaikki muutkin jäykistävät rakenneosat tulisi palomitoittaa. (16, s. 80.)

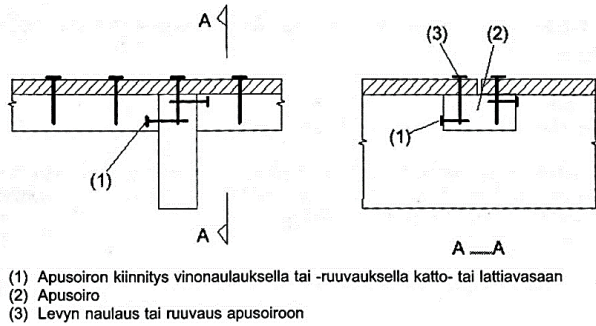
Levymitoitusohjeissa annetaan myös suurimmat sallitut liitinvälit nauloille, hakasille ja ruuveille, kun käytetään yksinkertaistettua analyysia (kuva 25). Esimerkiksi Knaufin levyillä suurin sallittu liitinväli (3) levyn reunoilla (2) on hakasilla tai nauloilla 150mm ja ruuveilla 200mm. Välitolpilla suurin liitinväli (1) saa olla enintään reunojen liitinväli kaksinkertaisena, kuitenkin enintään 300mm. (14, s. 8.)



KUVA 25. Levyn suurimmat sallitut liitinvälit yksinkertaistetussa analyysissä (2, s. 151)

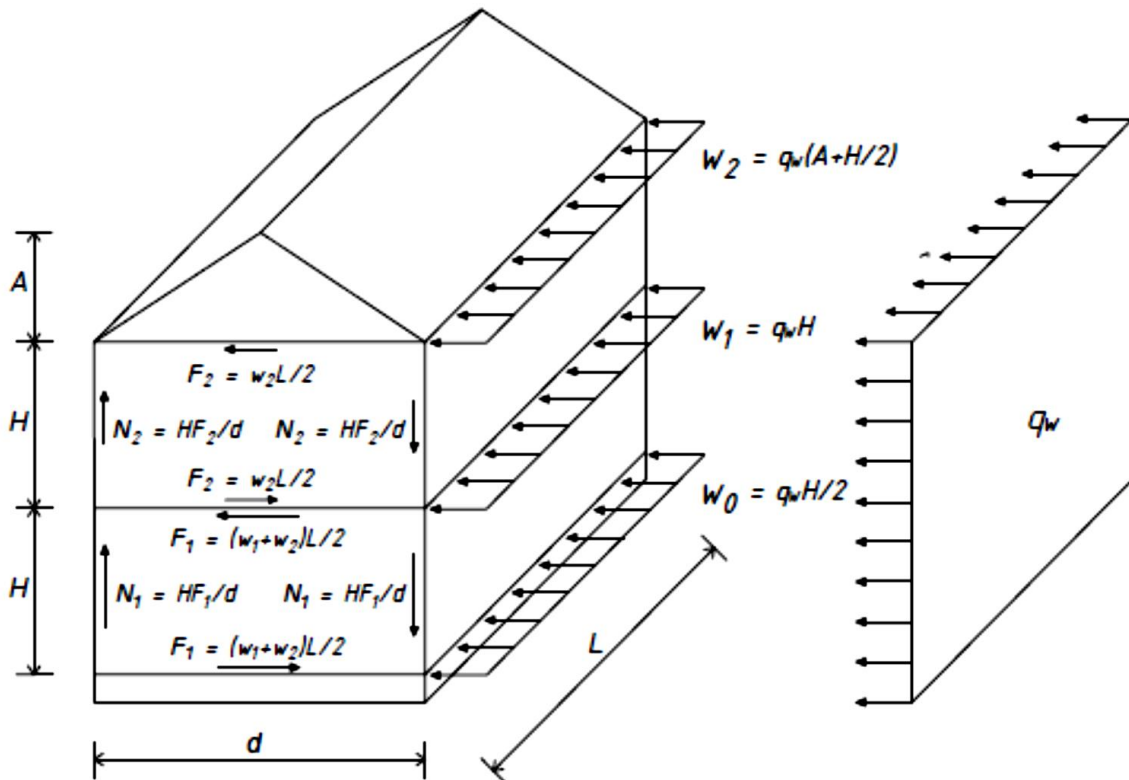
Levyreunat, jotka eivät tukeudu palkkeihin, vasoihin tai kattotuoleihin, pitää kiinnittää toisiinsa esim. apusoirojen avulla (kuva 26). Levyjen kiinnitykseen pitäisi

käyttää standardin EN 14592 mukaisia nauloja tai ruuveja. Käytettävien naulojen tulee olla profiloituja tai poikittain kuvioituja. (2, s. 147.)



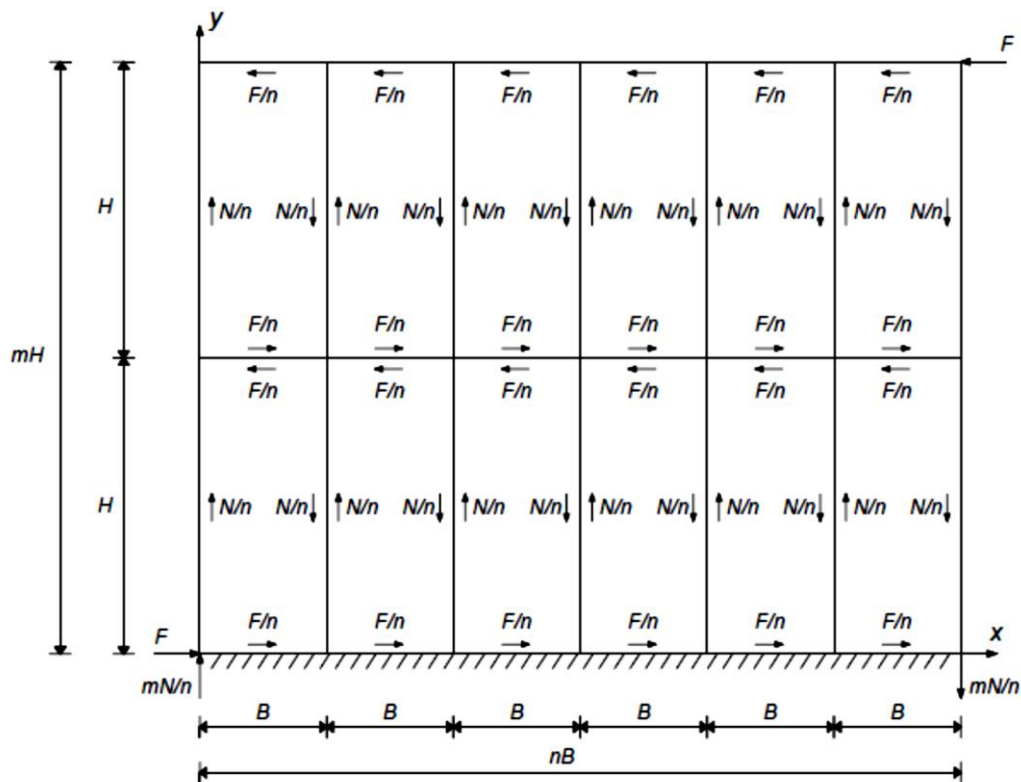
KUVA 26. Periaatekuva tukemattomien levyreunojen liitoksesta (2, s. 147)

Kaksikerrosten asuinrakennusten alaosassa vaakakuormat ovat huomattavasti suuremmat kuin yläosassa, koska ulkoinen vaakakuorma ylemmästä kerroksesta johdetaan alemman kerroksen jäykistysrakenteiden kautta perustuksille kuvan 27 mukaisesti. Voimien siirtämiseksi päätykolmio ankkuroidaan toisen kerroksen seinään, joka puolestaan ankkuroidaan ensimmäisen kerroksen seinään. Perustusliitoksessa ankkuroitava voima on jo hyvin suuri, minkä vuoksi seinä on ankkuroitava osaseinien nurkkatolpista jäykin liittimin. (16, s. 79.)



KUVA 27. Tuulikuorman siirtyminen kaksikerroksisessa rakennuksessa (16, s. 79)

Kuvan 28 leikkausvoimajakaumasta nähdään tarkemmin ankkuroitavan voiman laskentaperiaate kaksikerroksisessa rakennuksessa. Levyjä on m kappaletta päällekkäin ja n kappaletta rinnakkain. Yksittäisen levyn koko on $H \cdot B$. Seinän yläosaan vaikuttaa vaakakuorma F . Ankkuroitava nostovoima saadaan, kun lasketaan momentti seinän vasempaan alakulmaan ja ratkaistaan lausekkeesta pystyvoiman arvo. Tällöin ankkuroitava voima seinän päässä on $mN/n = mHF/nB$. (16, s. 80.)



KUVA 28. Periaatekuva levyjäykisteisen seinän leikkausvoimajakaumasta (16, s. 80)

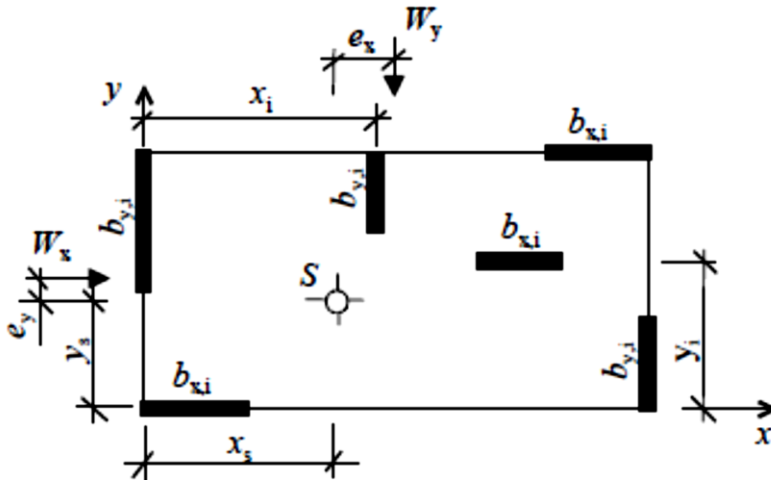
5.4 Jäykistysseinien geometrinen sijainti

Jäykistävinä seininä käytetään ensisijaisesti rakennuksen ulkoseiniä. Tällöin sisätilojen muunneltavuus säilyy ja jäykistysseinien suunnittelu on suhteellisen yksinkertaista. Jos jäykistystä ei voida tehdä ulkoseinillä tai niiden jäykistyskapasiteetti ei yksistään riitä, joudutaan käyttämään jäykistäviä väliseiniä. Tällöin on suositeltavaa käyttää ainoastaan kantavia väliseiniä, jolloin kuormia siirtävä välipohjan liitos seinän yläjuoksuun on helpompi toteuttaa. Jos ei-kantavia väli-

seiniä käytetään jäykistykseen, niiden tulisi sallia välipohjan kantavien rakenteiden pystysuuntainen liike ja samanaikaisesti vastaanottaa vaakakuormia. Tämän toteuttaminen on hankalaa, muttei mahdotonta. (14, s. 3).

Jäykistävät seinät pyritään sijoittamaan symmetrisesti, jotta vältetään vaakakuormien aiheuttama rakennuksen kiertyminen. Jos niitä ei voida sijoittaa riittävän symmetrisesti, joudutaan epäkeskisyydestä aiheutuva vääntövaikutus huomioimaan mitoituksessa. Puurunkoisissa yksi- ja kaksikerroksisissa rakennuksissa vääntövaikutusta pidetään vähäisenä, jos jäykistysseinäyksiköt sijaitsevat vähintään neljässä rakennuksen ulkoseinässä. Rakennusten monimuotoisuuden vuoksi rakennesuunnittelijan on kuitenkin tapauskohtaisesti harkittava, milloin vääntövaikutus huomioidaan. Esimerkiksi vaakakuorman resultantin sijaitessa lähellä vääntökeskiötä, toisin sanoen momenttivarren ollessa lyhyt, on vääntörasituksen vaikutus vähäinen. (17, E14/2; 14, s. 3.)

Vääntövaikutus huomioidaan taulukon 3 avulla sijoittamalla rakennus x - y-koordinaatistoon kuvan 29 mukaisesti ja laskemalla vääntökeskiön sijainti. Tämän jälkeen tehdään koordinaatiston vaihdos siten, että origo sijaitsee vääntökeskiössä ja lasketaan vaakakuorman resultantin sekä jäykistysseinien sijainnit uudessa koordinaatistossa. Seuraavaksi lasketaan tuulen vaikutussuunnassa vaakakuormasta ja välipohjan kiertymästä aiheutuvat jäykistysseinien tukivoimat. Kuorma jakautuu seinille niiden jäykkyyksien suhteessa. Tämän jälkeen lasketaan vielä toisessa tuulensuunnassa välipohjatason kiertymän aiheuttama voima samoille seinille. Lopuksi kummastakin tuulensuunnasta seinille aiheutuvat voimat lasketaan yhteen. Tällöin toisesta tuulensuunnasta laskettu välipohjan kiertymän aiheuttama voima saattaa jopa pienentää seinän tukivoimaa. (18; 15, s. 34 - 45; 14, s. 7.)



KUVA 29. Jäykisteet x - y-koordinaatistossa (14, s.7)

Taulukon 3 kaavojen parametreja voidaan helposti laskea esimerkiksi taulukkolaskimella. Kaavat pätevät vain silloin, jos samalla seinällä olevien kaikkien seinälevyjen jäykkyys pituusyksikköä kohden on yhtä suuri ja välipohja toimii jäykänä, kiertyvänä tasona. Alkuperäistä taulukkoa on tässä työssä pyritty selventämään lisätekstien avulla. Alkuperäinen taulukko löytyy esimerkiksi Knaufin eurokoodin mukaisesta jäykistävän rakenteen laskentaohjeesta. (18; 14, s. 7.)

TAULUKKO 3. Vääntövaikutuksen laskentakaavat (14, s.7)

Vääntökeskiön x-koordinaatti:	Vääntökeskiön y-koordinaatti:
$x_s = \frac{\sum b_{yi} x_i}{\sum b_{yi}}$	$y_s = \frac{\sum b_{xi} x_i}{\sum b_{xi}}$
Jäykistysseinän x-koordinaatti:	Jäykistysseinän y-koordinaatti:
$s_{xi} = (x_i - x_s)$	$s_{yi} = (y_i - y_s)$
Tuuleen suunta x:	Tuulen suunta y:
Voima x-suuntaiselle seinälle:	Kiertymän aiheuttama voima x-suuntaiselle seinälle:
$H_{xi} = \frac{b_{xi}}{\sum_j b_{xj}} F_x + \frac{F_x e_y s_{yi} b_{xi}}{\sum_j b_{xj} s_{yj}^2 + \sum_j b_{yj} s_{xj}^2}$	$H_{xi} = \frac{F_y e_x s_{yi} b_{xi}}{\sum_j b_{xj} s_{yj}^2 + \sum_j b_{yj} s_{xj}^2}$
Kiertymän aiheuttama voima y-suuntaiselle seinälle:	Voima y-suuntaiselle seinälle:
$H_{yi} = \frac{F_x e_y s_{xi} b_{yi}}{\sum_j b_{xj} s_{yj}^2 + \sum_j b_{yj} s_{xj}^2}$	$H_{yi} = \frac{b_{yi}}{\sum_j b_{yj}} F_y + \frac{F_y e_x s_{xi} b_{yi}}{\sum_j b_{xj} s_{yj}^2 + \sum_j b_{yj} s_{xj}^2}$

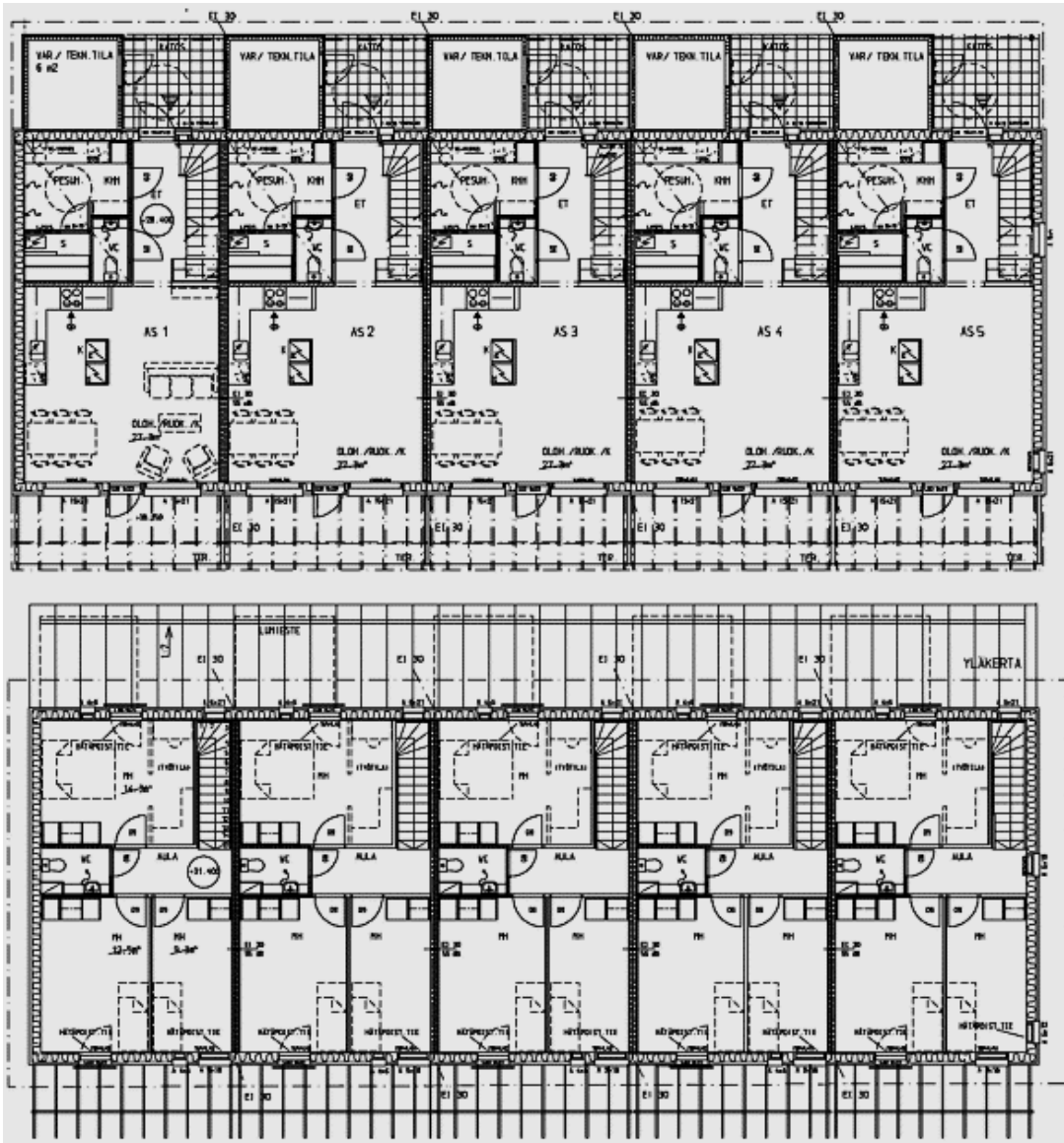
6 RIVITALON JÄYKISTYSJÄRJESTELMÄN TARKASTELU

Työssä esitetyn teorian perusteella tarkastellaan Vantaan esikaupunkialueelle vuonna 2015 rakennetun 2-kerroksisen puurakenteisen rivitalon jäykistysjärjestelmän toimintaa ja rakenteellisia yksityiskohtia jäykistykseen näkökulmasta. Kohde on rakennettu LapWall Oy:n toimittamista puuelementeistä. Rivitalo valittiin tarkastelun kohteeksi, koska se on tilaajalle tyypillinen asuinrakennus ja sen kokonaisjäykistyksessä sovelletaan monipuolisesti työssä esitettyjä periaatteita. Esimerkkikohteen julkisivupiirustukset esitetään kuvassa 30.



KUVA 30. Esimerkkikohteen julkisivupiirustukset

Rivitalossa on viisi huoneistoa, jotka on erotettu toisistaan vesikattoon ulottuvilla palokatkoelementeillä. Palo-osastoinnin vuoksi jokaisessa huoneistossa on erillinen välipohja. Välipohjat kannatetaan ulkoseinillä ja palokatkoelementeillä. Rakennuksen lyhemässä suunnassa ei osastoivien seinien lisäksi ole muita kantavia väliseiniä. Rakennuksen pituussuunnassa kantavina rakenteina toimivat ulkoseinät ja 1. kerroksen keskialueella sijaitseva väliseinä. Yläpohja kannatetaan NR-ristikoilla. Rivitalon pohjapiirustukset esitetään kuvassa 31. Kuvassa ylempänä on 1. kerroksen pohjapiirustus ja alempana 2. kerroksen pohjapiirustus.



KUVA 31. Esimerkkikohteen pohjapiirustukset

6.1 Jäykistysjärjestelmän toiminnan kuvaus

Luvussa 6.1 kuvataan rivitalon jäykistysjärjestelmän toimintaa ja voimien siirtymistä jäykistävässä rakenneosissa. Kuvauksella pyritään havainnollistamaan työssä esitettyjä jäykistysperiaatteita ja niiden soveltamista. Kuvauksessa rivitalon jäykistysjärjestelmän toimintaa tarkastellaan kahdessa määräävässä tuulen-suunnassa. Kuvaus aloitetaan rakennuksen yläpohjasta, minkä jälkeen edetään rakennusrungon tarkasteluun. Lisävaakavoiman siirtymistä ei erikseen kuvata, mutta ulkoisena kuormana se siirtyy samojen rakenteiden kautta kuin tuulikuormakin. Esimerkkikohteen liitosdetaljeihin keskitytään myöhemmin luvussa 6.2.

6.1.1 Rivitalon 3D-malli

Jäykistysjärjestelmän toiminnan kuvauksessa hyödynnetään kohteen 3D-mallia, joka tehtiin LapWall Oy:n käyttämällä Cadwork-mallinnusohjelmalla rakennesuunnitelma-asiakirjojen ja elementtisuunnitelmien pohjalta. Rivitalosta mallinnettiin kaikki jäykistykseen osallistuvat päärakenneosat ja elementtisaumat. Tuulensuojakipsilevyt, sisäverhouskipsilevyt ja puulevyt mallinnettiin eri tekstuurilla niiden erilaisten jäykistyskapasiteettiensa vuoksi. Ulkovarastot jätettiin mallista pois kuvauksen selkeyttämiseksi. Rakennuksen ulkopintoihin kohdistuvaa tuulikuormaa merkittiin 3D-mallissa sinisellä ja voimien siirtymistä jäykistävässä rakennneosissa muilla väreillä, pääosin punaisella. Kokonaiskuva rivitalon 3D-mallista esitetään kuvassa 32. Mallia muokataan kuvauksen aikana.

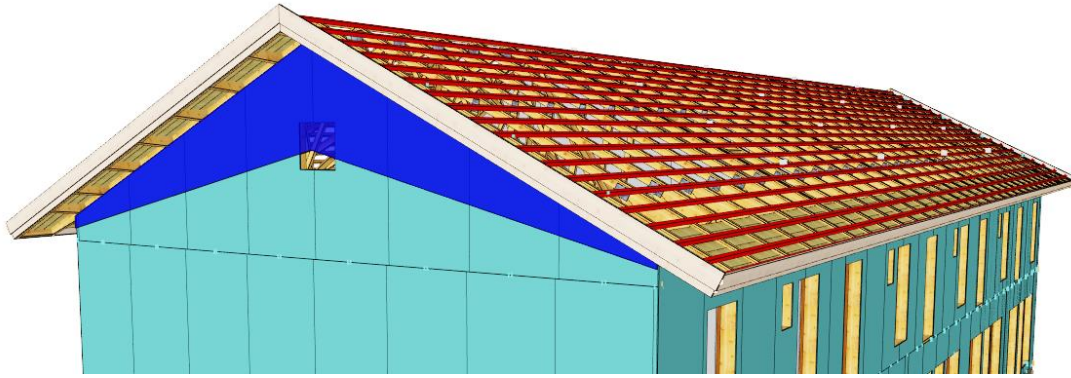


KUVA 32. Kokonaiskuva rivitalon 3D-mallista

6.1.2 Rivitalon yläpohjan stabilointi

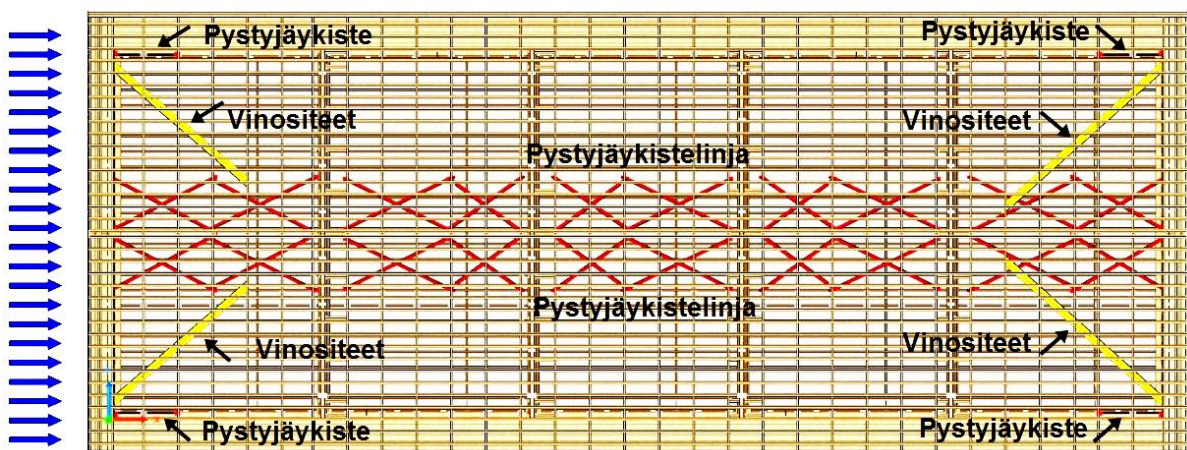
Tuulikuorman siirtyminen

Tarkastellaan aluksi tuulikuorman siirtymistä yläpohjan jäykistävässä rakenteissa, kun tuuli vaikuttaa kohtisuorasti rivitalon päätyyn. Luvun 4.2.1 mukaisesti puolet päätykolmioon kohdistuvasta tuulikuormasta siirtyy yläpaarretasolle kuvan 33 osoittamalla tavalla. Yläpaarretasolla kattoruoteet siirtävät tuulikuorman edelleen yläpohjan jäykistäville rakenteille, jotka esitetään myöhemmin kuvassa 34.



KUVA 33. Tuulikuorman siirtyminen yläpaarretasolla

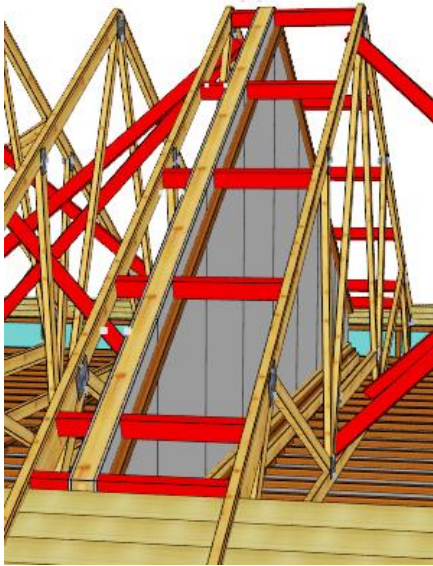
Tuulikuorma siirtyy kattoruoteilta yläpaarteiden alapintaan naulatuille vinositeille. Vinositeet ovat profiililtaan 25x100 lautoja ja ne on naulattu nurkista harjalle 45 asteen kulmassa. Rakennuksen toisessa päädyssä NR-ristikoiden jakoa on tiennetty, jotta vinositeet on saatu kulkemaan jatkuvina ristikoiden uumasauvojen välissä. Vinositeiltä voima siirtyy puoleksi ristikkokentän päissä oleville pystyjäkisteille ja puoleksi rakennuksen läpi kulkeville pystyjäkistelinjoille, jotka on naulattu 25x100 laudoista NR-ristikoiden uumasauvoihin harjan molemmin puolin. Pystyjäkisteet on sijoitettu koko katon pituudelle, jotta yksittäisen pystyjäkisteen tukireaktio NR-ristikolle pysyy kohtuullisena. Lisäksi kuorma jakautuu tällä tavalla tasaisemmin pystyjäkistelinjoilta alapaarretasolle. Kuorman siirtyminen yläpohjan jäykistävässä rakenteissa esitetään kuvassa 34.



KUVA 34. Kuorman siirtyminen yläpohjan jäykistävässä rakenteissa

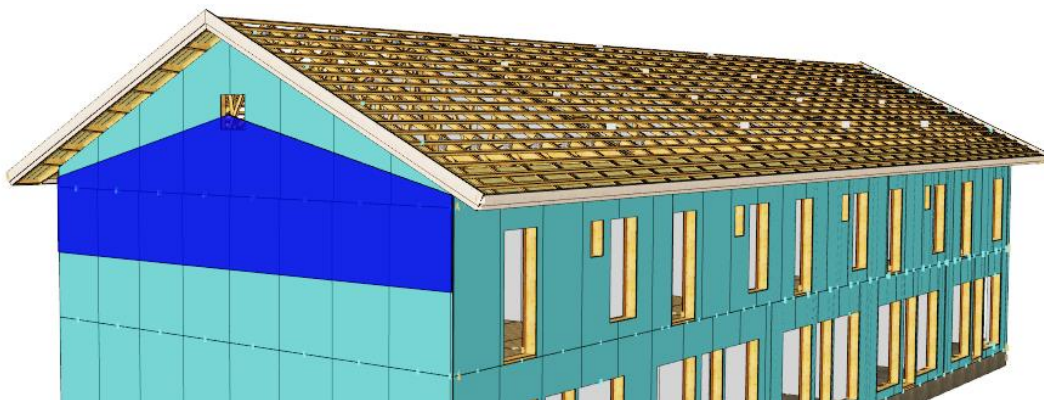
Huoneistojen välisten palokatkoelementtien kohdilla pystyjäkisteiden voima täytyy saada siirrettyä palokatkoelementin "yli" seuraavalle pystyjäkisteelle.

Tässä kohteessa se on huomioitu kuvan 35 osoittamalla tavalla jossa palokatkoelementti on sidottu sen viereisten NR-ristikoiden yläpaarteisiin. Sidontaan on käytetty profiililtaan 48x98 lankkuja 1 200 mm:n jaolla.



KUVA 35. Palokatkoelementin sidonta NR-ristikoihin

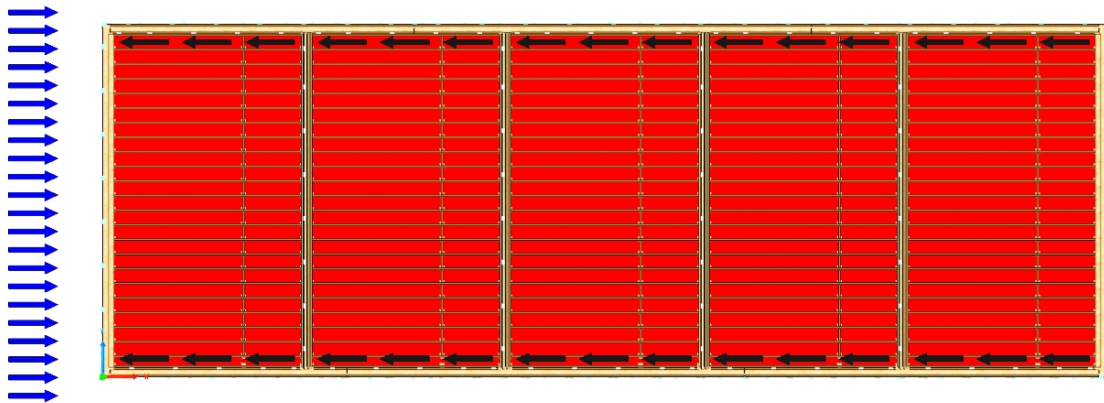
Pystyjäykistelinjoilta tulevan pistekuorman lisäksi alapaarretasolle siirtyy puolet päätykolmioon kohdistuvasta tuulikuormasta ja puolet 2. kerroksen seinään kohdistuvasta tuulikuormasta. Alapaarretasolle kohdistuvan tuulikuorman osuus esitetään kuvassa 36.



KUVA 36. Rakennuksen päädystä alapaarretasolle siirtyvä tuulikuorma

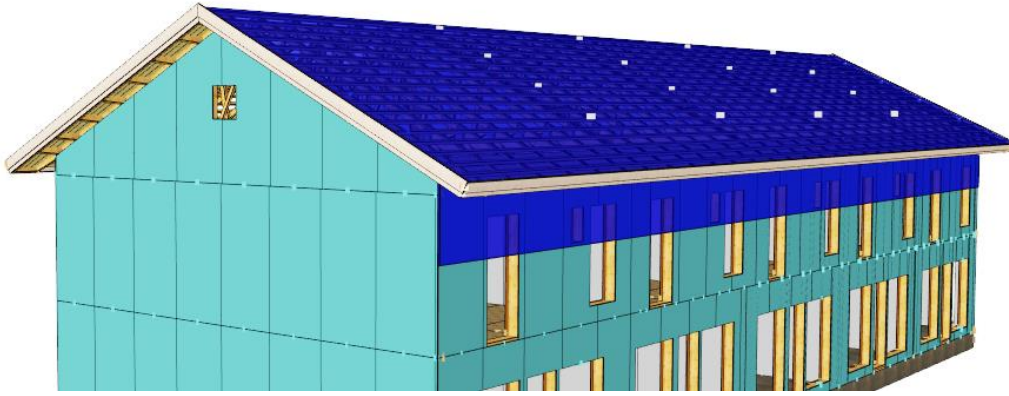
Rivitalon alapaarretaso on jäykistetty 13 mm:n sisäverhouskipsilevyillä. Palo-osastoinnin vuoksi levytys katkeaa huoneistojen välisten palokatkoelementtien

kohdilla. Tällöin alapaarretasolla ajatellaan olevan viisi peräkkäistä, yksinkertaisesti rakennuksen sivuseiniin tuettua I-palkkia, joiden uumana sisäverhouskipsilevyt toimivat. I-palkin paarteina puolestaan toimivat 2. kerroksen päätyseinän yläohjauspuut ja palokatkoelementtejä reunustavat lankut. Palkit ottavat tuulikuormaa jäykkyyksiensä suhteissa eli riippuen levymäärästä. Kukin I-palkki on kuitenkin samanmuotoinen ja suunnilleen yhtäsuuri, joten niistä kannattaa mittailla vain se, joka ottaa eniten kuormaa ja loput monistetaan samankaltaisina. Tuulikuorman aiheuttama leikkausvoima otetaan vastaan sisäverhouslevyillä ja taivutusmomentin aiheuttamat normaalivoimat palkin paarreoilla. Koska palkit ovat yksinkertaisesti tuettuja, niiden tukireaktiot jakautuvat puoleksi kummallekin sivusuuntaiselle ulkoseinälle. Vääntövaikutusta ei tarvitse huomioida, koska ulkoseinät sijaitsevat symmetrisesti toisiinsa nähden ja niiden jäykistyskapasiteetti on likimain yhtäsuuri. Alapaarretason kuormajakauma esitetään kuvassa 37.



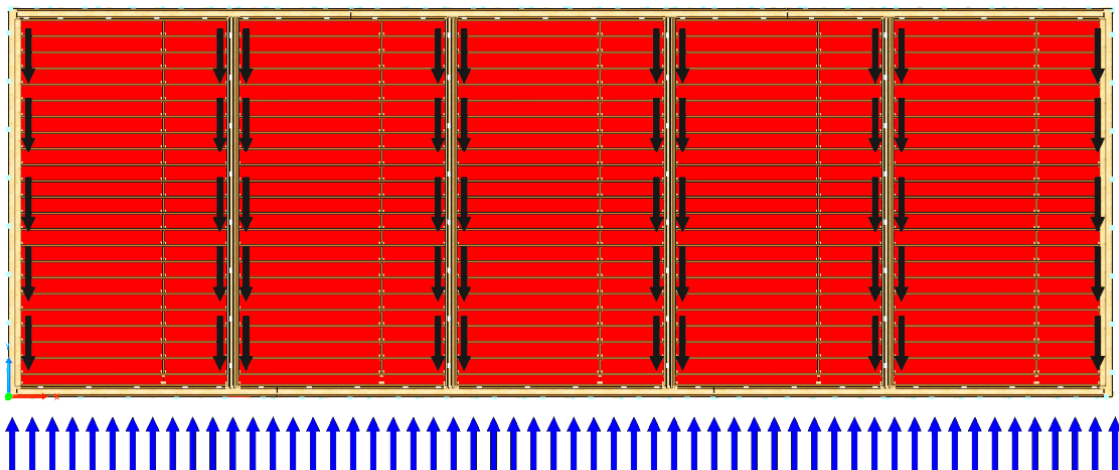
KUVA 37. Alapaarretason kuormajakauma, kun tuuli vaikuttaa sivuseinän suuntaisesti

Seuraavaksi tarkastellaan yläpohjan jäykistystä, kun tuuli vaikuttaa kohtisuorasti rakennuksen sivuseinää vasten. Tällöin koko kattoon kohdistuva tuulikuorma ja puolet sivuseinään kohdistuvasta tuulikuormasta siirtyy kattorakenteen alapaarretasolle. Alapaarretasolle kohdistuvan tuulikuorman osuus esitetään kuvassa 38.



KUVA 38. Rakennuksen sivusta alapaarretasolle siirtyvä tuulikuorma

Tässä tuulensuunnassa alapaarretasolla ajatellaan olevan viisi vierekkäistä, korkeaa I-palkkia, jotka on tuettu yksinkertaisesti ulkoseiniin ja palokatkoelementteihin. Palkkien parreosina toimivat rivitalon pituussuuntaiset seinäpalkit. Koska I-palkit ovat yksinkertaisesti tuettuja, niiden tukireaktiot jakautuvat puoleksi kummallekin palkkia tukevalle seinälle. Seinät sijaitsevat symmetrisesti toisiinsa nähden ja niiden jäykistyskapasiteetti on likimain yhtäsuuri, joten vääntövaikutusta ei tässä tuulensuunnassa tarvitse huomioida. Levyille kohdistuva leikkausvoima sen sijaan on suurempi kuin edellisessä tapauksessa, joten ne suositellaan limitettäväksi tätä kuormitussuuntaa vastaan.



KUVA 39. Alapaarretason kuormajakauma, kun tuuli vaikuttaa päätyseinän suuntaisesti

Nurjahdustuennat

Esimerkkikohteen NR-ristikkosuunnitelmista huomattiin, ettei ristikoiden uumasauvoissa ollut nurjahdustuenta tarvitsevia uumasauvoja. Sen sijaan kohteen rakennesuunnitelma-asiakirjoista ei käynyt ilmi, kuinka ristikoiden puristettujen yläpaarteiden nurjahdustuenta on huomioitu. Selvää on kuitenkin, että pelkääntään tiilikatteen ruoteet eivät siihen riitä, koska ruoteen ja kattoristikon välistä liitosta pidetään nivelellisenä. Edellisen kohdan jäykistysrakenteet toimivat ainoastaan tuulikuormaa ja lisävaakavoimaa vastaan. Näin ollen yläpohjan kokonaisjäykistys on puutteellinen ja rakennekokonaisuus on riskialtis etenkin talvella, kun lumikuorma aiheuttaa yläpaarteisiin suuren puristusvoiman, joka puolestaan kasvattaa nurjahdustuentakuormaa. Tämä virhe kertoo johdannossa todetusta jäykistykseen tärkeyden, toiminnan ja suunnitteluperiaatteiden puutteellisesta ymmärtämisestä.

Yläpaarteiden nurjahdustuennan olisi tässä kohteessa voinut toteuttaa luvun 4 periaatteilla erillisillä vaakajäykisteillä. Niiden yhdistäminen muihin kohteessa käytettyihin yläpohjan jäykistysrakenteisiin ei kuitenkaan ole järkevää, koska vaakajäykisteitä voisi samalla käyttää tuulikuorman ja lisävaakavoiman vastaanottamiseen. Kohteessa käytetty jäykistystapa ulkoisia kuormia vastaan on järkevä ainoastaan, jos puristettujen paarteiden nurjahdustuennat voidaan toteuttaa levyjäykisteellä, jolloin erillisiä vaakajäykisteitä ei tarvita. Tämä ei tietystikään tiilikatteella onnistu. Näin ollen kyseisessä kohteessa yläpohjan kokonaisjäykistys olisi kannattanut toteuttaa esimerkiksi luvussa 4 esitetyillä muilla menetelmillä.

6.1.3 Rivitalon rakennusrungon stabilointi

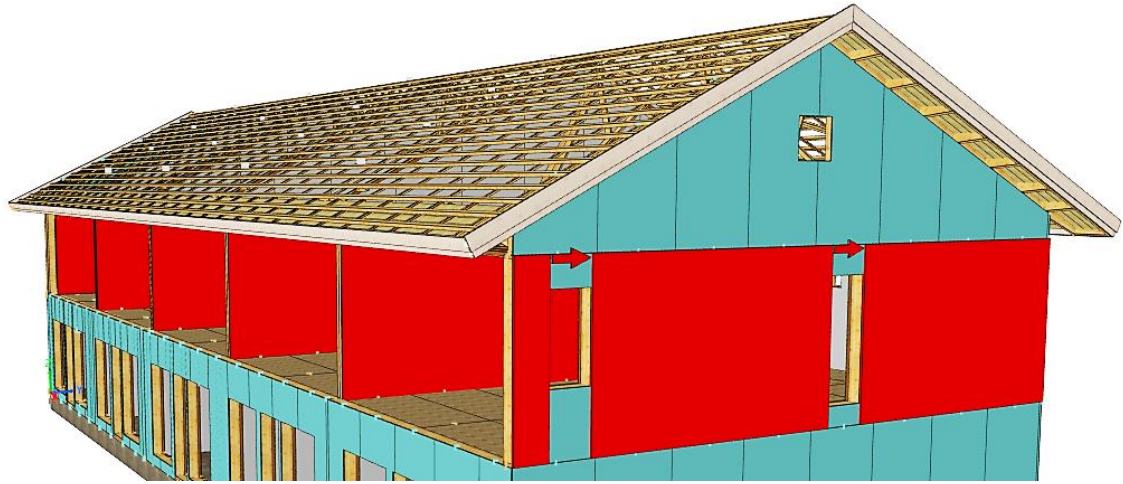
Seuraavaksi tarkastellaan 2. kerroksen jäykistävien seinien toimintaa, kun tuuli vaikuttaa kohtisuorasti rivitalon päätyyn. Ulkoseinien jäykisteinä toimivat hakasilla kiinnitetyt 9 mm:n vahvuiset tuulensuojakipsilevyt sekä nauloilla kiinnitetyt 13 mm:n sisäverhouskipsilevyt. Ulkoseinien yläosaan tulee vaakavoimaa yläpohjasta ristikkokentän päissä olevilta pystyjäykisteiltä sekä I-palkkeina toimivan alapaarretason tukireaktioilta. Voima otetaan vastaan jäykistäväillä seinälohkoilla kuvan 40 mukaisesti. Kuten luvussa 5.3 todettiin, aukollisilla ja kapeilla

seinälohkoilla ei ole jäykistyskapasiteettia, mutta niillä voidaan kuvan 40 mukaisesti siirtää vaakavoimaa jäykistävien seinälohkojen välillä. Jokainen jäykistävä seinälohko pitää ankkuroida molemmista päistään jäykin liittimin, jotta ne eivät pääse kiertymään ja jotta voima voi siirtyä 1. kerroksen tasoon. Lisäksi vaakavoima täytyy saada siirrettyä elementtisauman ”yli”, esimerkiksi yläohjauspuun päälle asennettavalla naulalevyllä. Rivitalon 2. kerroksen vastakkaisessa ulkoseinässä on suunnilleen saman verran aukotuksia, joten voima siirtyy siellä vastaavalla tavalla kuin kuvan 40 ulkoseinässä.



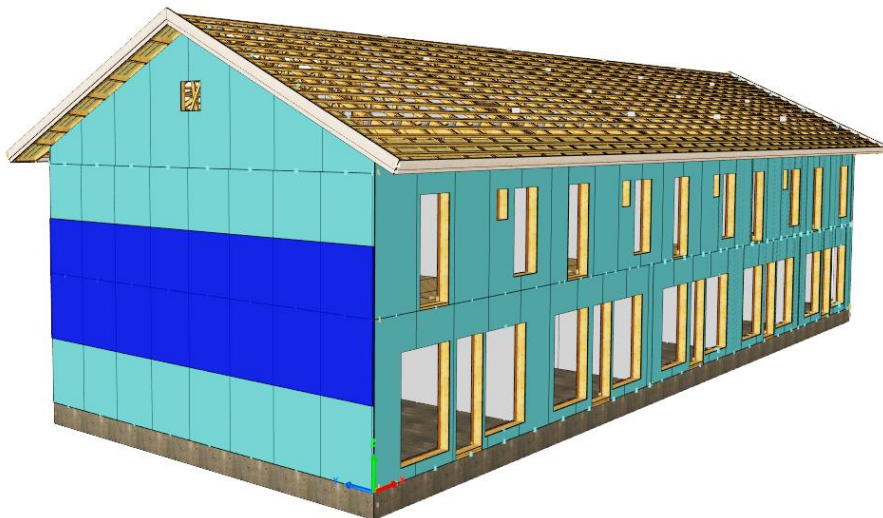
KUVA 40. Jäykistävät seinälohkot 2. kerroksen pituussuuntaisella ulkoseinällä

Tuulen vaikuttaessa kohtisuorasti rakennuksen sivuseinää vasten, 2. kerroksen jäykistävinä seininä toimivat päätyseinien lisäksi osastoivat seinät. Huoneistojen välisissä seinissä on palonkestävyyden vuoksi molemmilla puolilla kaksi 13 mm:n sisäverhouskipsilevyä päällekkäin. Näistä vain sisemmät levyt toimivat jäykistävinä levyinä. Seinien yläosaan tuleva vaakavoima muodostuu I-palkkeina toimivan alapaarretason tukireaktioista. Ankkurointi tehdään päädyssä jäykistävien osaseinien päistä ja osastoivissa seinissä palokatkoelementtien päistä. Jäykistävät seinälohkot rivitalon lyhemässä suunnassa esitetään kuvassa 41. Päätykolmio ei osallistu jäykistykseen, koska tuulikuorma siirtyi edellä esitetyllä tavalla suoraan alapaarretasolle.



KUVA 41. Jäykistävät seinälohkot 2. kerroksen lyhemässä suunnassa

Välipohjatasolle siirtyvän tuulikuorman osuus esitetään kuvassa 42, kun tuuli vaikuttaa kohtisuorasti rakennuksen päädystyn. Tällöin kuormaa kertyy puolet 2. kerroksen seinäpinta-alasta ja puolet 1. kerroksen seinäpinta-alasta. Loput päädystyn kohdistuvasta tuulikuormasta siirtyy suoraan perustuksille.

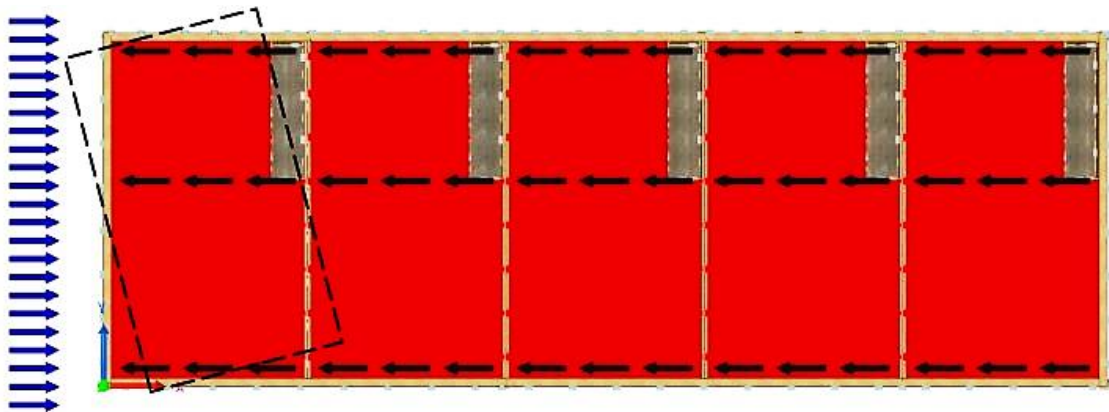


KUVA 42. Rakennuksen päädystä välipohjatasolle siirtyvä tuulikuorma

Rivitalon välipohjat jäykistetään niiden yläpinnassa olevilla OSB-lastulevyillä. Välipohjan alapinnassa olevaa sisäverhouskipsilevyä ei voida käyttää jäykistykseen, koska se katkeaa 1. kerroksessa olevien väliseinien kohdilla. Lisäksi kipsilevyn jäykistyskapasiteetti OSB-levyyn verrattuna on huomattavasti pienempi.

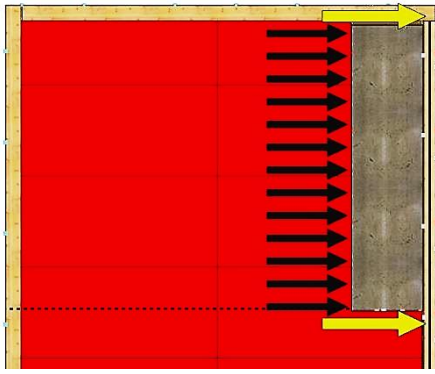
Välipohjat toimivat tässä tuulensuunnassa peräkkäisinä kolmitukisina I-palkkeina, jotka on tuettu sivuseiniin ja pituussuuntaiseen väliseinään. Palkkien uumana toimivat OSB-lastulevyt ja parreosina välipohjan reunapalkit.

Välipohjatasolle vaakakuormitusta tulee ainoastaan tuulikuorman aiheuttamasta leikkausvoimasta ja taivutusmomentista. Kuvan 43 kuormajakaumasta kuitenkin nähdään, että jäykistävät seinät eivät sijaitse symmetrisesti. Lisäksi kuvasta 42 huomataan, että 1. kerroksen toisen ulkoseinän jäykistyskapasiteetti on huomattavan pieni suurien aukotuksiansa vuoksi. Tällöin välipohjien kiertymästä aiheutuva lisärasitus täytyy huomioida 1. kerroksen seinien tukireaktioissa. Seinien tukireaktiot lasketaan luvun 5.4 mukaisesti taulukon 3 kaavoilla siten, että vaakakuorma jaetaan ensin jäykistäville seinille niiden jäykkyyksien suhteessa, minkä jälkeen lasketaan välipohjan kiertymän aiheuttama lisäkuormitus samoille seinille. Se kuitenkin edellyttää, että välipohja toimii jäykkänä tasona. Suoraa oletusta siitä ei voida tehdä, koska välipohjien sivusuhte on noin 1,7, joka on kaukana arvosta 1,0. Tällöin välipohjan kykyä kiertyä jäykkänä tasona tulee arvioida esimerkiksi välipohjan taipuman perusteella.



KUVA 43. Välipohjatason kuormajakauma ja kiertymä, kun tuuli vaikuttaa sivuseinän suuntaisesti

Rivitalon porraskot sijaitsevat I-palkin rasiusten kannalta epäedullisessa paikassa, koska taivutetun palkin rasiukset ovat pienimmillään palkin keskellä. Aukot huomioidaan välipohjan jäykistyksessä kuvan 44 osoittamalla tavalla. Aukon linjalla olevat levyt ottavat kapasiteettinsa mukaisen osan aukon kohdalla vaikuttavasta leikkausvoimasta ja loput siirretään tasan aukon reunapuille, jotka välittävät ne jäykistäville seinille.



KUVA 44. Leikkausvoimien siirtyminen välipohjan aukkojen kohdalla

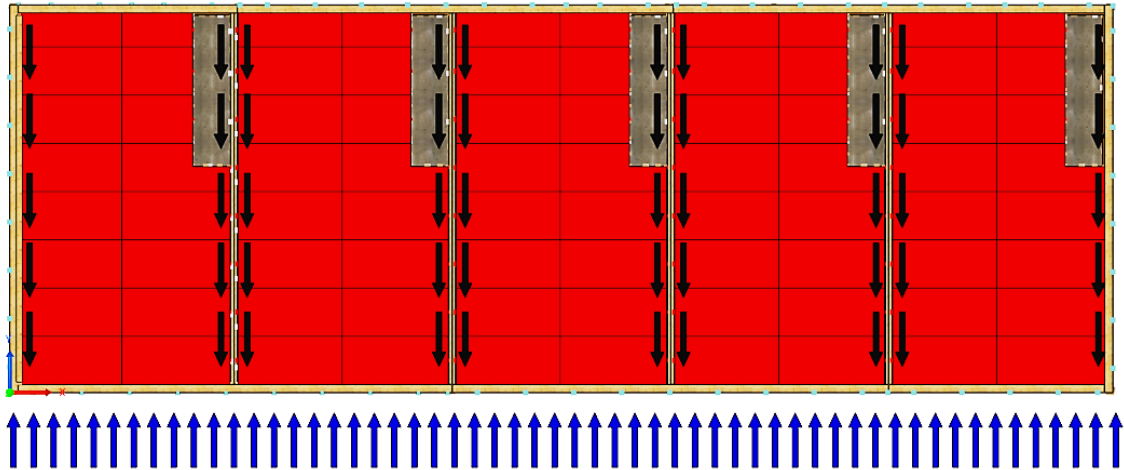
Tuulen vaikuttaessa kohtisuorasti rivitalon sivuseinää vasten puolet 2. kerroksen seinään kohdistuvasta tuulikuormasta ja puolet 1. kerroksen seinään kohdistuvasta tuulikuormasta siirtyy välipohjatasolle. Loput sivuseinään kohdistuvasta tuulikuormasta siirtyy suoraan perustuksille. Välipohjatasolle siirtyvä tuulikuorma esitetään kuvassa 45.



KUVA 45. Rakennuksen sivusta välipohjatasolle siirtyvä tuulikuorma

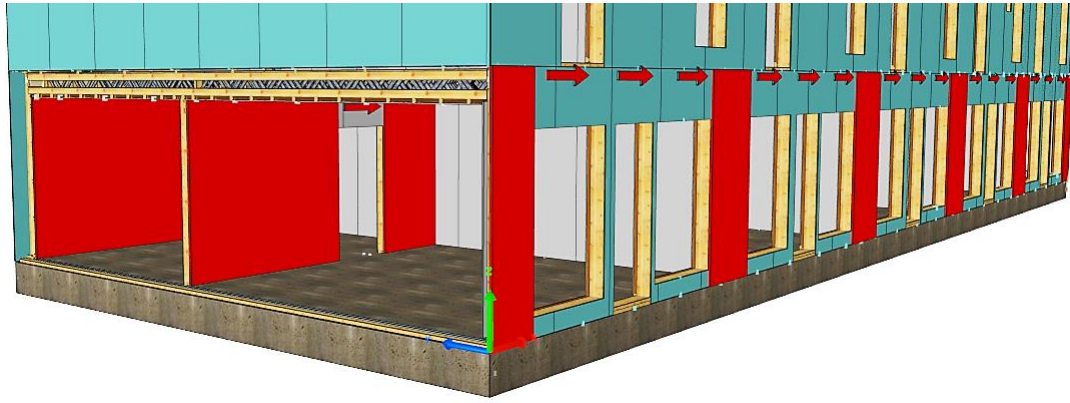
Tässä tuulensuunnassa välipohjatasot toimivat rinnakkaisina kaksitukisina korkeina I-palkkeina, jotka on tuettu päätyseiniin ja palokatkoelementteihin. Palkkien parreosina toimivat sivuseinän suuntaiset kertopuiset välipohjapalkit. Koska I-palkit ovat yksinkertaisesti tuettuja, niiden tukireaktiot jakautuvat puoleksi kummallekin palkkia tukevalle seinälle. Tässä tuulensuunnassa vääntövaikutusta ei synny, koska jäykistävät seinät sijaitsevat symmetrisesti toisiinsa nähden ja niiden jäykistyskapasiteetti on likimain sama. Leikkausvoima levyille

on tässä tuulensuunnassa suurempi kuin tuulen vaikuttaessa rakennuksen päätyyn. Levyt suositellaan kuitenkin limitettäväksi päätyyn kohdistuvaa tuulikuormaa vastaan, koska silloin ne toimivat paremmin myös vääntövaikutusta vastaan. Porrasaukkojen kohdalla leikkausvoimat siirretään samalla periaatteella kuin kuvassa 44.



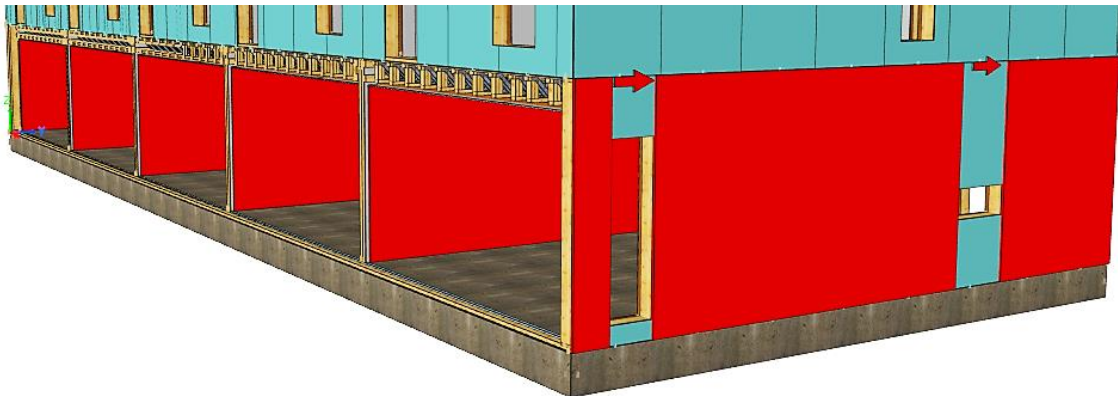
KUVA 46. Välipohjatason kuormajakauma, kun tuuli vaikuttaa päätyseinän suuntaisesti

Tuulen vaikuttaessa rivitalon päätyyn jäykistävinä seininä 1. kerroksessa toimivat ulkoseinät ja pituussuuntainen väliseinä. Ulkoseinien yläosaan vaakakuormaa tulee I-palkkeina toimivan välipohjatason tukireaktioilta sekä 2. kerroksen jäykistäviltä seinälohkoilta. Väliseinälle vaakakuormaa tulee ainoastaan I-palkkien tukireaktioista. Elementtisaumojen kohdalla vaakavoima siirretään elementtisauman ”yli”, kuten 2. kerroksen ulkoseinilläkin. Jäykistävät osaseinät ankkuroidaan molemmista päistään perustuksiin. Tällöin vaakakuorma siirtyy kunkin jäykistävän osaseinän alaosaan perustuksille, jotka siirtävät kuorman edelleen maaperään. Jäykistävät seinälohkot rivitalon pituussuunnassa esitetään kuvassa 47.



KUVA 47. Jäykistävät seinälohkot 1. kerroksen pituussuuntaisilla seinillä

Tuulen vaikuttaessa kohtisuorasti rivitalon sivuseinää vasten jäykistävinä seininä toimivat 1. kerroksen päätyseinät ja palokatkoelementit. Jäykistävien seinien yläosaan vaakakuormaa tulee I-palkkeina toimivan välipohjatason tukireaktioilta sekä 2. kerroksen jäykistäviltä seinälohkoilta. Ankkurointi tehdään palokatkoelementtien päistä ja päätyseinällä jäykistävien osaseinien päistä. Jäykistävät seinälohkot rivitalon lyhemässä suunnassa esitetään kuvassa 48.



KUVA 48. Jäykistävät seinälohkot 1. kerroksen lyhemässä suunnassa

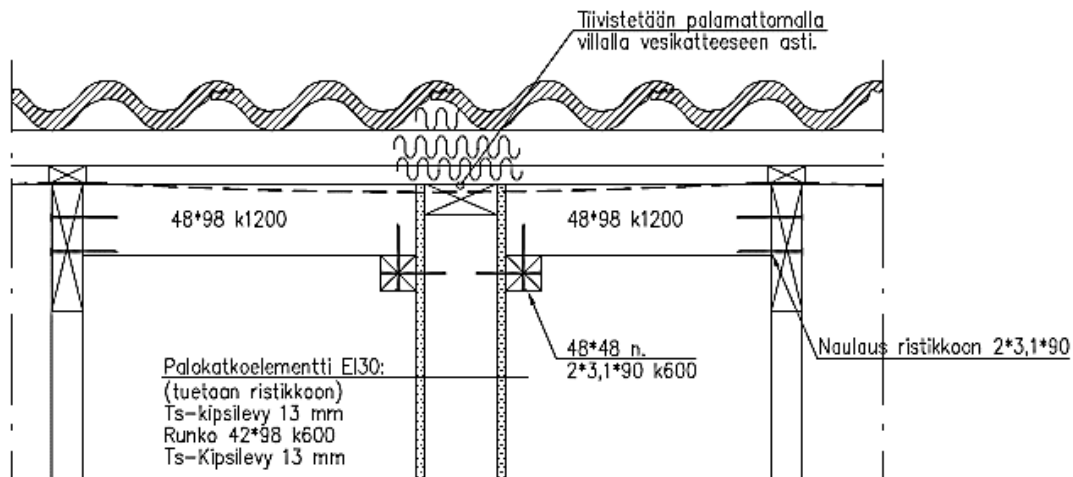
6.2 Rakenteelliset yksityiskohdat

Luvussa 6.2 tarkastellaan esimerkkitilanteessa käytettyjä liitosdetaljeja jäykistykseen näkökulmasta. Tarkoituksena on tuoda esille liitoksissa huomioitavat asiat ja mahdolliset ongelmakohdat.

Yläpohjan liitokset

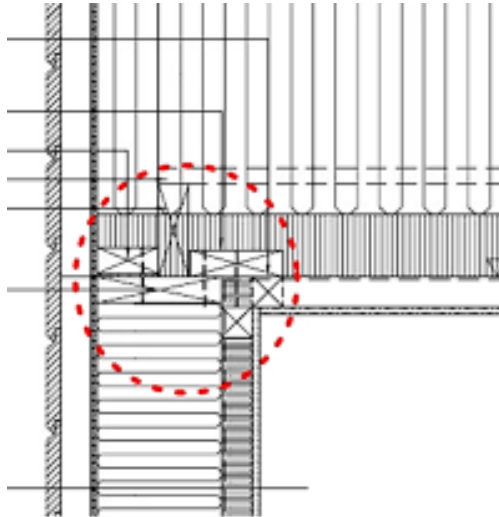
Palokatkoelementin ja NR-ristikon välisessä liitoksessa pitää huomioida voiman välittymisen lisäksi niiden erisuuruiset painumat. Painumaero johtuu siitä, että

lumikuorma painaa kantavia NR-ristikoita alemmas kuin ei-kantavaa palokatkoelementtiä. Tällöin ruoteet voivat ottaa kiinni palokatkoelementtiin, jolloin se muuttuu kantavaksi rakenteeksi. Vaarana on, että kattoruoteet ”korkkautuvat” irti palokatkoelementin viereisistä ristikoista, varsinkin jos ruoteiden jatkokset sattuvat niiden kohdalle. Tällöin NR-ristikoiden yläpaarteiden nurjahdustuenta menetetään, mikä voi johtaa laajempiin vahinkoihin. Tämän vuoksi on varmistettava, että painumavara osastoinnin kohdalla on riittävä. Palokatkoelementin ja NR-ristikon välinen liitosdetalji esitetään kuvassa 49.



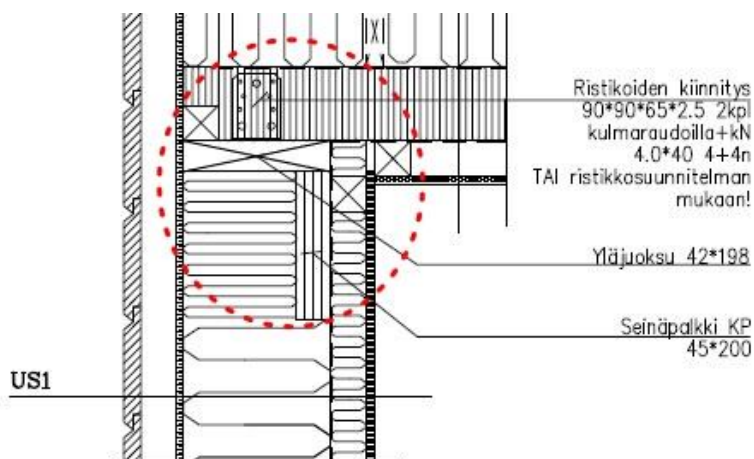
KUVA 49. Palokatkoelementin ja NR-ristikoiden välinen liitos

Edellä todettiin yläpohjan alapaarretason toimivan erillisinä I-palkkeina. Tällöin alapaarretason ja jäykistävien seinien välisissä liitoksissa on tärkeää, että vaakavoima voi siirtyä palkin uuman ja paarteiden välillä. Rivitalon päädyssä I-palkin paarteena käytetään kuvan 50 mukaisesti 2. kerroksen päätyseinän yläohjauspuuta. Voiman välittymisen ja I-palkin toiminnan kannalta liitoksessa olisi varmempi ratkaisu, jos alakaton koolauspuut olisivat suoraan kiinni päätyseinän yläohjauspuussa välikappaleen sijasta. Liitosdetalji yläpohjan ja päätyseinän liitoksesta esitetään kuvassa 50.



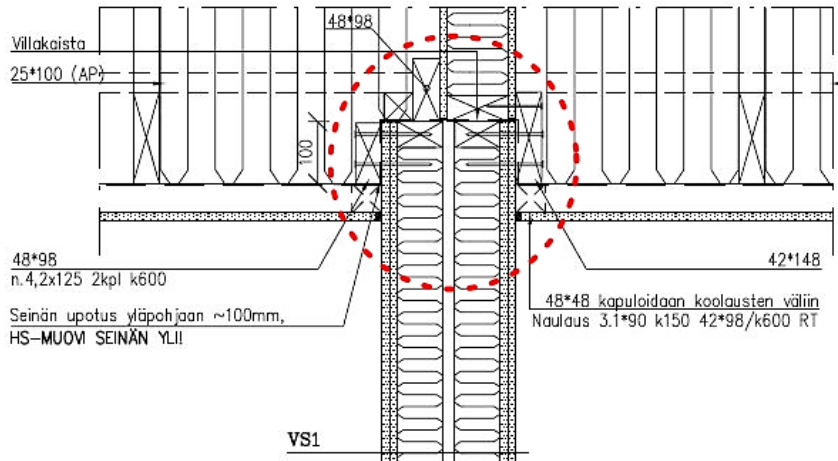
KUVA 50. Yläpohjan ja päätyseinän liitos

Vastaava ongelma on myös sivuseinän ja yläpohjan liitoksessa kuvassa 51. Myös siinä voima välittyisi I-palkin uumana toimivalta levytykseltä varmemmin paarteena toimivalle seinäpalkille, jos alakaton koolauspuut olisivat suoraan kiinni siinä.



KUVA 51. Yläpohjan ja sivuseinän liitos

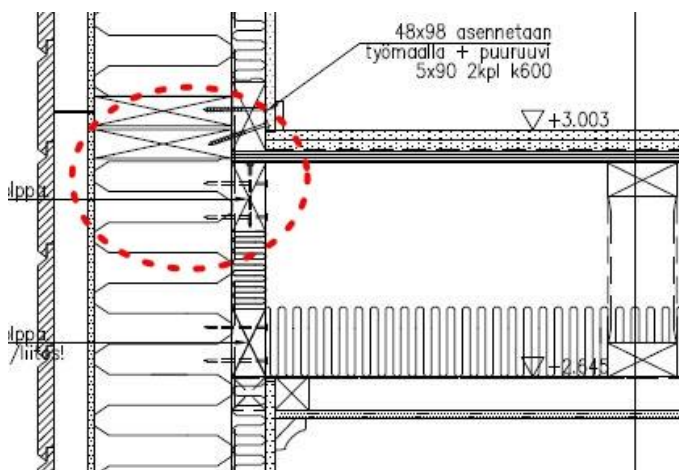
Yläpohjan ja palokatkoelementtien välisessä liitoksessa voiman välittymisen kanssa puolestaan ei ole ongelmia, koska koolauspuut ovat suoraan kiinni palokatkoelementtiä reunustavissa, syrjälleen asennetuissa lankuissa, jotka toimivat I-palkin parreosina. Liitosdetalji yläpohjan ja palokatkoelementin liitoksesta esitetään kuvassa 52.



KUVA 52. Yläpohjan ja palokatkoelementin liitos

Välipohjan liitokset

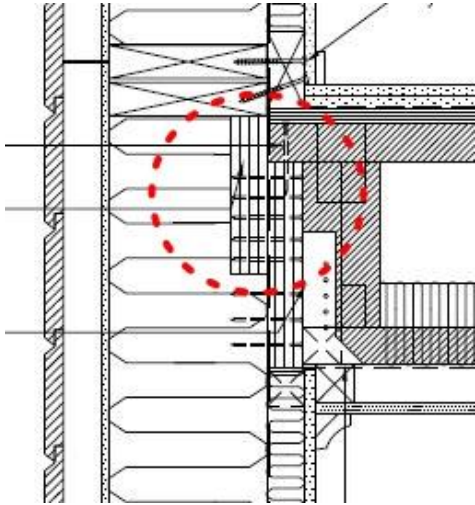
Vastaavasti välipohjan ja jäykistävien seinien liitoksissa voiman pitää välittyä I-palkin uuman ja paarteiden välillä. Välipohjan ja päätyseinän liitoksessa I-palkkien paarteina käytetään välipohjan reunapalkkeja, koska I-palkin uumana toimivat OSB-levyt on kiinnitetty suoraan niihin kuvan 53 mukaisesti. Rivitalon toisessa päädyssä porraskäytävän sijaitessa ulkoseinää vasten, täytyy reunapalkin kulkea myös aukon kohdalla, jotta vaakavoimat voidaan kuljettaa aukon ohi. Välipohjan ja päätyseinän liitosdetalji esitetään kuvassa 53.



KUVA 53. Välipohjan ja päätyseinän liitos

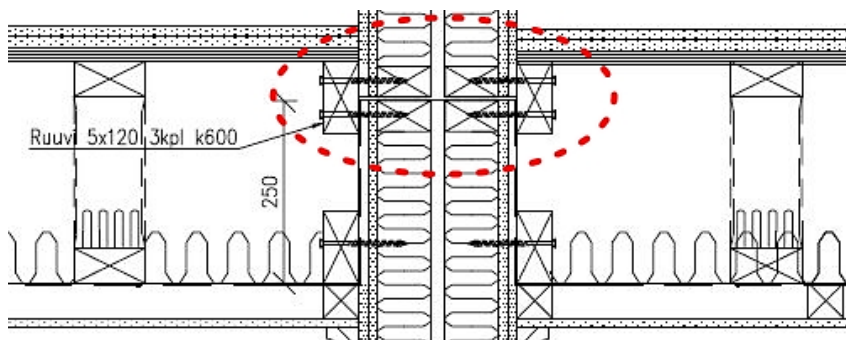
Välipohjan ja sivuseinän liitoksessa I-palkin paarteina käytetään ulkoseinän kiertopuista seinäpalkkia. Tällöin vaakavoimat saadaan kuljetettua porraskäytävän

ohi. Välipohjan kertopuista kannatinpalkkia ei voida käyttää, koska se ei elementtisuunnitelmien mukaan ollut yhtenäinen koko välipohjan matkalla eikä voi siten toimia I-palkin laippana. Välipohjan ja sivuseinän liitosdetalji esitetään kuvassa 54.



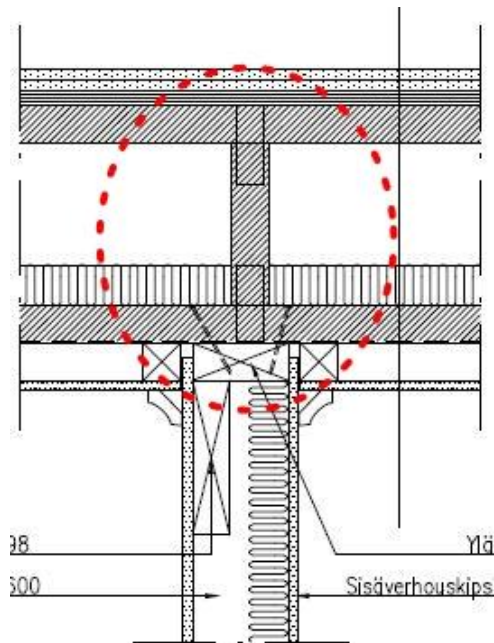
KUVA 54. Välipohjan ja sivuseinän liitos

Välipohjan ja palokatkoelementin liitoksessa I-palkin paarteena voidaan käyttää välipohjan reunapalkkia. Ongelmana on kuitenkin se, että reunapalkki ei kulje porraskäytävän kohdalla, jolloin vaakavoimia ei saada siirrettyä aukon ohi. Tällöin paarteena voidaan käyttää myös palokatkoelementin ylä- ja alaohjauspuita, jos niiden kapasiteetti riittää. Muutoin välipohjan reunapalkki on ulotettava myös porraskäytävän kohdalle. Välipohjan ja palokatkoelementin liitosdetalji esitetään kuvassa 55.



KUVA 55. Välipohjan ja palokatkoelementin liitos

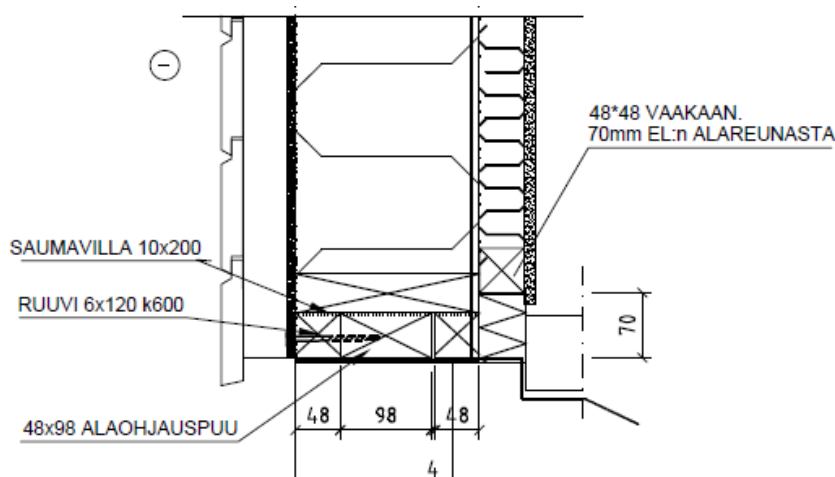
Rivitalon pituussuuntaisen kantavan väliseinän kohdalla vaakavoiman täytyy välittyä välipohjan yläpinnasta alla olevan seinän yläosaan. Välipohja on koottu Posi-palkeista, joiden ylä- ja alapaarre on yhdistetty tuen kohdalla palkkikohtaisesti kuvan 56 mukaisilla lankuilla. Tällöin liitos on jäykistyksen kannalta toimiva ja vaakavoima siirtyy välipohjan yläpinnasta kantavalle seinälle. Välipohjan ja pituussuuntaisen kantavan väliseinän liitosdetalji esitetään kuvassa 56.



KUVA 56. Välipohjan ja pituussuuntaisen kantavan väliseinän liitos

Perustusliitos

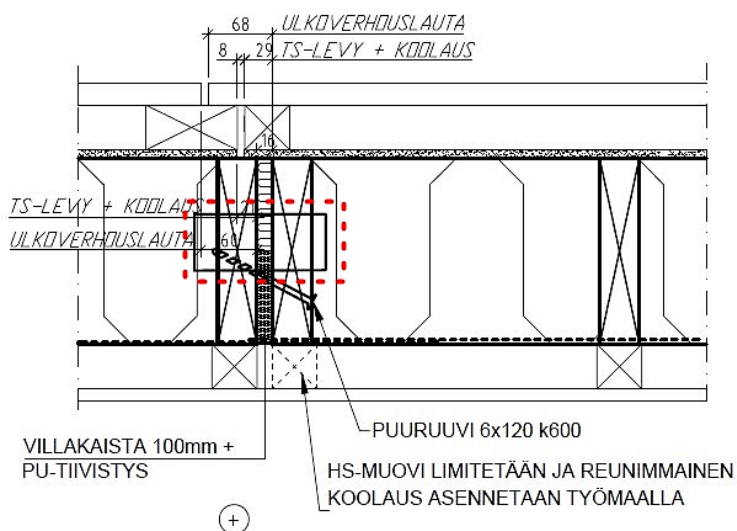
Esimerkkikohteen perustusliitos on toteutettu kuvan 57 periaatteella. Liitos toimii siten, että elementti lasketaan perustuksiin kiinnitetyn alaohjauspuun päälle ja ruuvataan sivusta kiinni alaohjauspuuhun. Jäykistyksen kannalta liitoksessa on se ongelma, että ruuvi kiinnitys ei riitä jäykistävien osaseinien päiden ankkurointiin nostavaa voimaa vastaan. Jos jäykistävän osaseinän päässä oleva yksittäinen ruuvi ei kestä ankkurointivoimaa ja katkeaa, osaseinän toinen pää nousee ylös, minkä jälkeen kaikki muutkin ruuvit katkeavat vetoketjunomaisesti. Tämän vuoksi elementit pitää saada kiinnitettyä perustuksiin ankkurointivoiman kestäväällä jäykällä liittimellä jäykistävien osaseinien päistä.



KUVA 57. Periaatekuva perustusliitoksesta

Muut yksityiskohdat

Luvussa 5.3 todettiin, että vaakavoima pitää saada siirrettyä seinän yläosassa elementtisauman ”yli” elementiltä toiselle, jottei vaakavoiman kulkureitti katkea. Esimerkkikohteessa voiman siirtämiseen on käytetty elementtien päälle asennettavaa naulalevyä kuvan 58 mukaisesti, mikä on yksinkertainen ja toimiva ratkaisu.



KUVA 58. Periaatekuva elementtien yhdistämisestä naulalevyllä

Esimerkkikohteen ulkoseinissä on pääosin käytetty sisäpuolella pystysuuntaista koolausta. Pystysuuntainen koolaus on jäykistyksen kannalta parempi, koska se

ei vaakakuorman vaikutuksesta pyri nurjahtamaan kuten vaakakoolaus. Pystykoolauksen etuna on myös se, että vapaiden levyreunojen tukemisia on vain seinän ylä- ja alaosissa koolausväleissä. Vaakakoolauksessa vapaita, tuettavia levyreunoja tulee huomattavasti enemmän, jolloin rakentamisesta tulee työlämpää.

7 YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää ja koota yhteen puurakenteisten asuinrakennusten jäykistysuunnittelun periaatteet olemassa olevien määräysten, ohjeiden ja esimerkkilaskelmien perusteella. Tavoitteena oli myös laatia selkeä jäykistykseen mitoituskaavio rakennesuunnittelijan tueksi ja havainnollistaa työssä esitettyjä jäykistysperiaatteita esimerkkikohteen avulla. Työllä pyrittiin myös ratkaisemaan jäykistystä koskeva osa-alue projektista, jossa työn tilaaja, LapWall Oy, käynnistää puurakenteiden rakennesuunnittelun tehtaallaan. Aiheen laajuuden vuoksi työ rajattiin 1 - 2-kerroksisiin, tilaajalle tyypillisiin asuinrakennuksiin.

Työn tuloksena saatiin yksityiskohtainen ja kattava selvitys puurakenteisten asuinrakennusten jäykistysuunnittelun periaatteista. Työssä esitettyjen periaatteiden soveltamista ja jäykistykseen vaikutuksia rakenteiden liitoksiin saatiin havainnollistettua laajasti esimerkkikohteen ja siitä tehdyn 3D-mallin avulla. Jäykistykseen mitoitusprosessia onnistuttiin myös selkeyttämään koko rakennuksen jäykistykseen kattavalla mitoituskaaviolla.

Ongelmallista työssä oli aiheeseen perehtyminen, koska jäykistystä koskevat suunnitteluohjeet ovat johdannossa todetusti osittain puutteellisia, poikkeavat toisistaan ja ovat jakaantuneet useisiin eri teoksiin. Työn tekemistä hankaloitti myös se, että kokonaisen asuinrakennuksen kattavia jäykistyslaskelmia ja esimerkkejä jäykistysperiaatteiden soveltamisesta on varsin huonosti saatavilla. Myös 3D-mallinnuksen käynnistämisessä oli ongelmia, sillä Cadwork-mallinnusohjelman opiskelijalisenssi ei aluksi toiminut täydellisesti, minkä vuoksi asiaa jouduttiin selvittämään Cadworkin asiakaspalvelusta Saksasta. Mitoituskaavion laadinnassa puolestaan haasteellisinta oli saada siitä riittävän yksityiskohtainen, mutta kuitenkin mahdollisimman yleispätevä erilaisiin kohteisiin.

Tätä insinööriyötä tullaan hyödyntämään LapWall Oy:llä, kun yritys käynnistää puurakenteiden rakennesuunnittelun tehtaallaan. Yrityksen tarkoituksena on kehittää työn pohjalta sopivat menetelmät puuelementtiratkaisujensa jäykistykseen suunnitteluun ja toteutukseen. Työtä voidaan hyödyntää myös laajemmin puurakenteisten asuinrakennusten jäykistysuunnittelussa ja sitä koskevien asioiden

omaksumisessa. Tulevaisuudessa työtä voisi laajentaa esimerkiksi hallirakennusten ja puukerrostalojen jäykistykseen. Tosin useat työssä esitetyt periaatteet pätevät myös niihin.

Kaiken kaikkiaan työ osoittautui tarpeelliseksi ja ajankohtaiseksi, sillä esimerkkikohteena käytetyn, vuonna 2015 rakennetun rivitalon kattorakenteen jäykistyksestä löytyi vakavia puutteita. Kohteen kattokannattajien puristettuja yläpaarteita ei ollut nurjahdustuettu lainkaan. Lisäksi kohteen jäykistyslaskelmia ei pyydettyessä saatu, mikä herätti epäilyksen niiden olemassaolosta. Tämä viittaa jäykistyksen toiminnan ja tärkeyden puutteelliseen ymmärtämiseen. Kynnys näiden asioiden opettelemiseen on ollut korkea, koska aihe on jo sinällään haastava ja sitä koskevat ohjeet ovat edellä todetusti jakaantuneet useisiin eri teoksiin. Rakennesuunnittelijan jäykistysperiaatteiden hallinta kuitenkin paljastuu viimeistään monimuotoisten rakennusten yhteydessä, kun periaatteita joudutaan soveltamaan monipuolisesti.

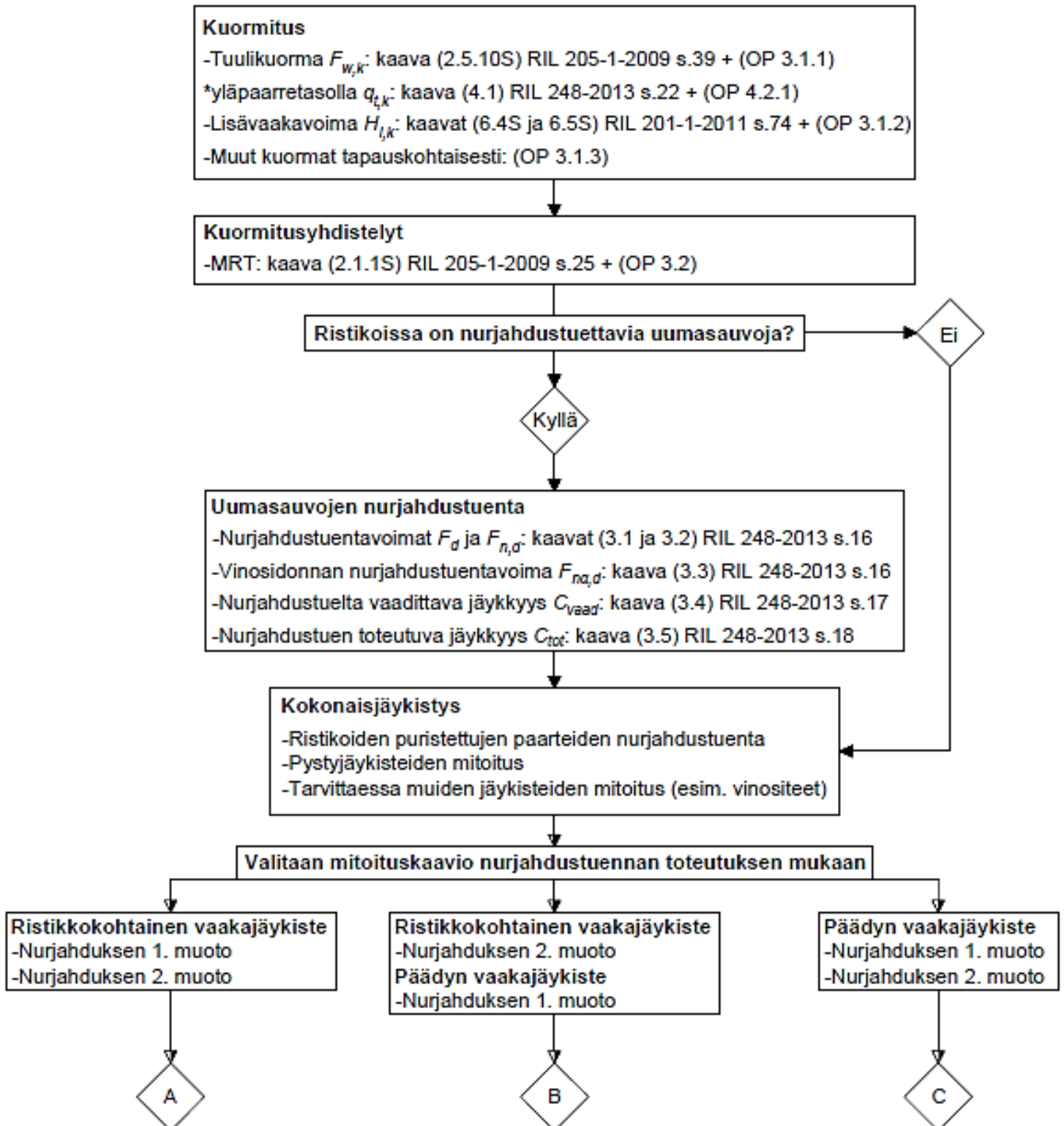
Riittämätön ja virheellinen jäykistysuunnittelu on huolestuttavaa, koska nykyisten tuulikuormien on arvioitu olevan varmallalla puolella vuoteen 2035 asti, minkä jälkeen ne todennäköisesti muuttuvat suuremmiksi. Asuinrakennuksen pitäisi kuitenkin pysyä stabiilina koko käyttöikänsä ajan, joka on vähintään 50 vuotta. (1, s. 25; 132.)

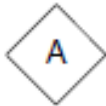
LÄHTEET

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. STEP 1. Puurakenteet. 1996. Tampere: Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Rakennustieto Oy.
4. RIL 248-2013. NR-kattorakenteen jäykistyksen suunnittelu ja toteuttaminen. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
5. RIL 244-2007. Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta. Suunnittelu ja valmistusohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
6. 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 22.9.2015.
7. Levyjäykisteen mitoitusohjelma 2015. Puuinfo Oy. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/mitoitusohjelmat/levyj%C3%A4ykisteen-mitoitusohjelma>. Hakupäivä 26.11.2015.
8. 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 3.10.2015.
9. RoadShow - Puukerrostalo - Stabiliateetti - NR-ristikkoyläpohjan jäykistys. 2014. Puuinfo Oy. Saatavissa: http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tiedotteet/puukerrostalorakentamisen-tekninen-roadshow-2014/7_stabiliateetti_nr-ristikkoylapohja_2.pdf. Hakupäivä 12.11.2015.
10. Esimerkkilaskelma. NR-ristikon yläpaarten tuenta. 2014. Puuinfo Oy. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/moduuli-4/83esimerkkilaskelmanr-ristikonylapaarteentuenta.pdf>. Hakupäivä 11.11.2015.
11. NR-yläpohjan jäykistyksen mitoitusohjelma. 2015. Puuinfo Oy. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/articles/nr-yl%C3%A4pohjan-j%C3%A4ykistyksen-mitoitusohjelma>. Hakupäivä 12.11.2015.

12. 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 12.11.2015.
13. Lahtela, Tero. 2015. Puuinfo Oy. Re: Kysymyksiä levyjäykisteen mitoitusohjelmasta. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Tuomas Pääkkö. 16.9.2015.
14. Knauf Jäykistävän rakenteen laskentaohje Eurocode 5 mukaan. 2010. Saatavissa: <http://www.knauf.fi/sites/default/files/laskentaohje-knauf-oy-eurokoodi-5-2010.pdf>. Hakupäivä 9.10.2015.
15. Pieviläinen, Mikko 2005. Levyjäykisteisen pientalon seinärakenteen toiminta ja mitoitus. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan osasto.
16. Karjalainen, Markku - Heikkilä, Jari - Kilpeläinen, Mikko - Koiso-Kanttila, Jouni 1997. Suomalainen puukerrostalo. Helsinki: Opetushallitus.
17. STEP 2. Puurakenteet. 1998. Tampere: Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Rakennustieto Oy.
18. Malaska, Mikko 2011. Puurakenteet 3. Opintojakson luennot syksyllä 2011. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

NR-KATTORAKENTEN JÄYKISTYS





NR-KATTORAKENTEEN JÄYKISTYS

S-nurjahduksen stabilointi (2. muoto)

- Ristikkokohtaisen vaakajäykisteen nurjahdustuentavoima $F_{p,d}$: kaava (3.8) RIL 248-2013 s.19
- Tuulikuorma ja lisävaakavoima
- Nurjahdustuelta vaadittava jäykkyys C_{vaad} : kaava (3.4) RIL 248-2013 s.17
- Nurjahdustuen toteutuva jäykkyys C_{tot} : kaava (3.5) RIL 248-2013 s.18



Koko rakennekentän stabilointi (1. muoto)

- Jäykistysjärjestelmän nurjahdustuentakuorma q_d yksittäiselle vaakajäykisteelle: kaava (4.3) RIL 248-2013 s.22
- Tuulikuorma ja lisävaakavoima
- Taipuma murtorajatilan kuormitusyhdistelmälle; $\delta \leq L/500$: RIL 248-2013 s.24



Kattoruoteiden ja liitosten mitoitus

- Nurjahdustuentavoima $a \cdot q_d$ (a =ruodeväli): kaava (3.10) RIL 248-2013 s.20 ja s.33-36 + (OP 4.2.3)



Pystyjäykisteiden mitoitus

- Jäykisteen mitoitus
- Liitoksen mitoitus vaakajäykisteen tukireaktiolle



Ilmoitetaan pystyjäykisteiden tukireaktiot ristikkosuunnittelijalle



Mitoitetaan alapaarretaso (käsitellään rakennusrungon mitoituskaaviossa)

B

NR-KATTORAKENTEEN JÄYKISTYS

S-nurjahduksen stabilointi (2. muoto)

- Ristikkokohtaisen vaakajäykisteen nurjahdustuentavoima $F_{p,d}$: kaava (3.8) RIL 248-2013 s.19
- Nurjahdustuelta vaadittava jäykkyys C_{vaad} : kaava (3.4) RIL 248-2013 s.17
- Nurjahdustuen toteutuva jäykkyys C_{tof} : kaava (3.5) RIL 248-2013 s.18

Koko rakennekentän stabilointi (1. muoto)

- Jäykistysjärjestelmän nurjahdustuentakuorma q_d päädyn vaakajäykisteelle: kaava (4.3) RIL 248-2013 s.22
- Tuulikuorma ja lisävaakavoima
- Taipuma murtorajatilan kuormitusyhdistelmälle; $\delta \leq L/500$: RIL 248-2013 s.24

Kattoruoteiden ja liitosten mitoitus

- Nurjahdustuentavoima $a \cdot q_d$ (a=ruodeväli): kaava (3.10) RIL 248-2013 s.20 ja s.33-36 + (OP 4.2.3)

Lisäruoteiden mitoitus

- Jos nurjahdustuentakuorma 1. muodosta suljetaan kattotasoon: RIL 248-2013 s.53-54

Pystyjäykisteiden mitoitus

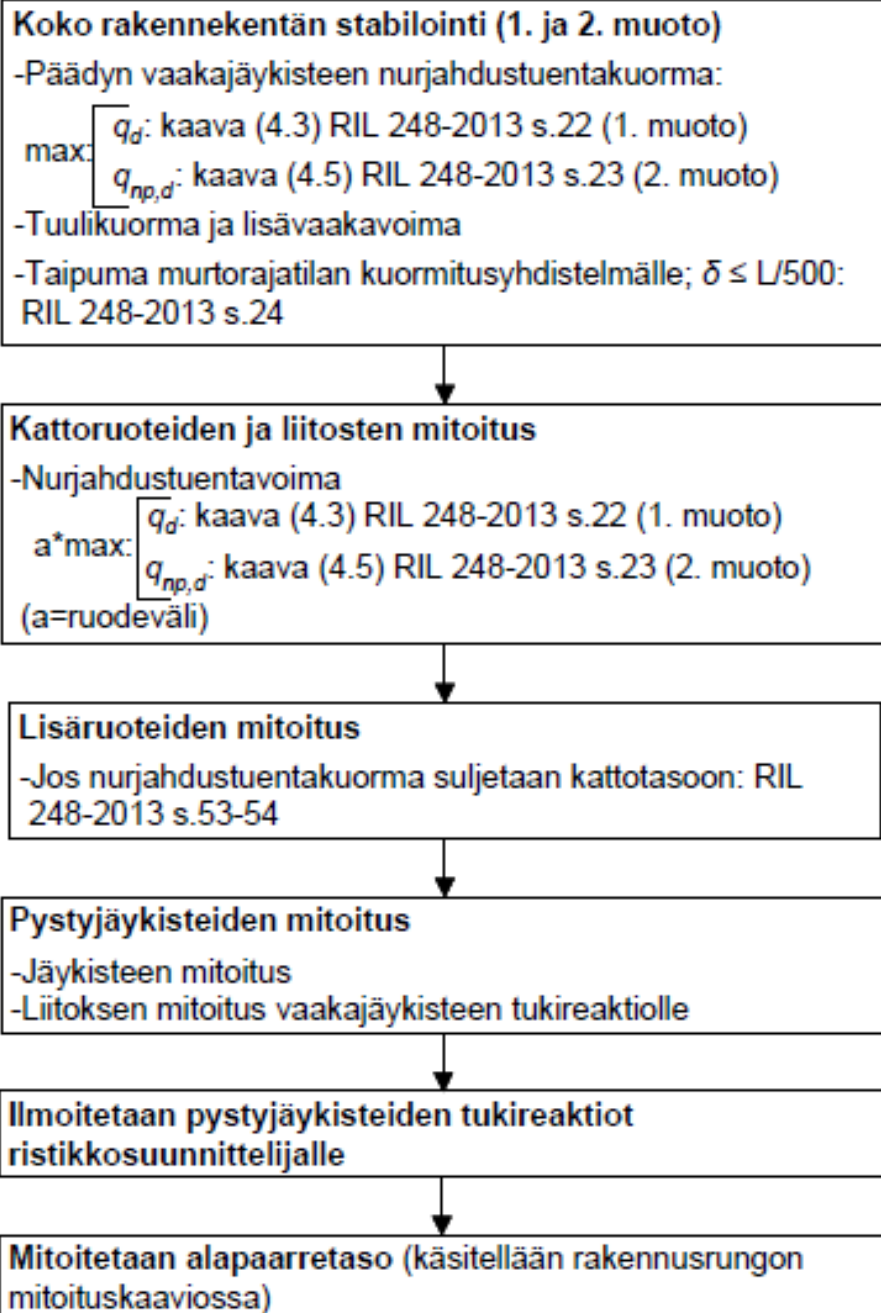
- Jäykisteen mitoitus
- Liitoksen mitoitus vaakajäykisteen tukireaktiolle

Ilmoitetaan pystyjäykisteiden tukireaktiot ristikkosuunnittelijalle

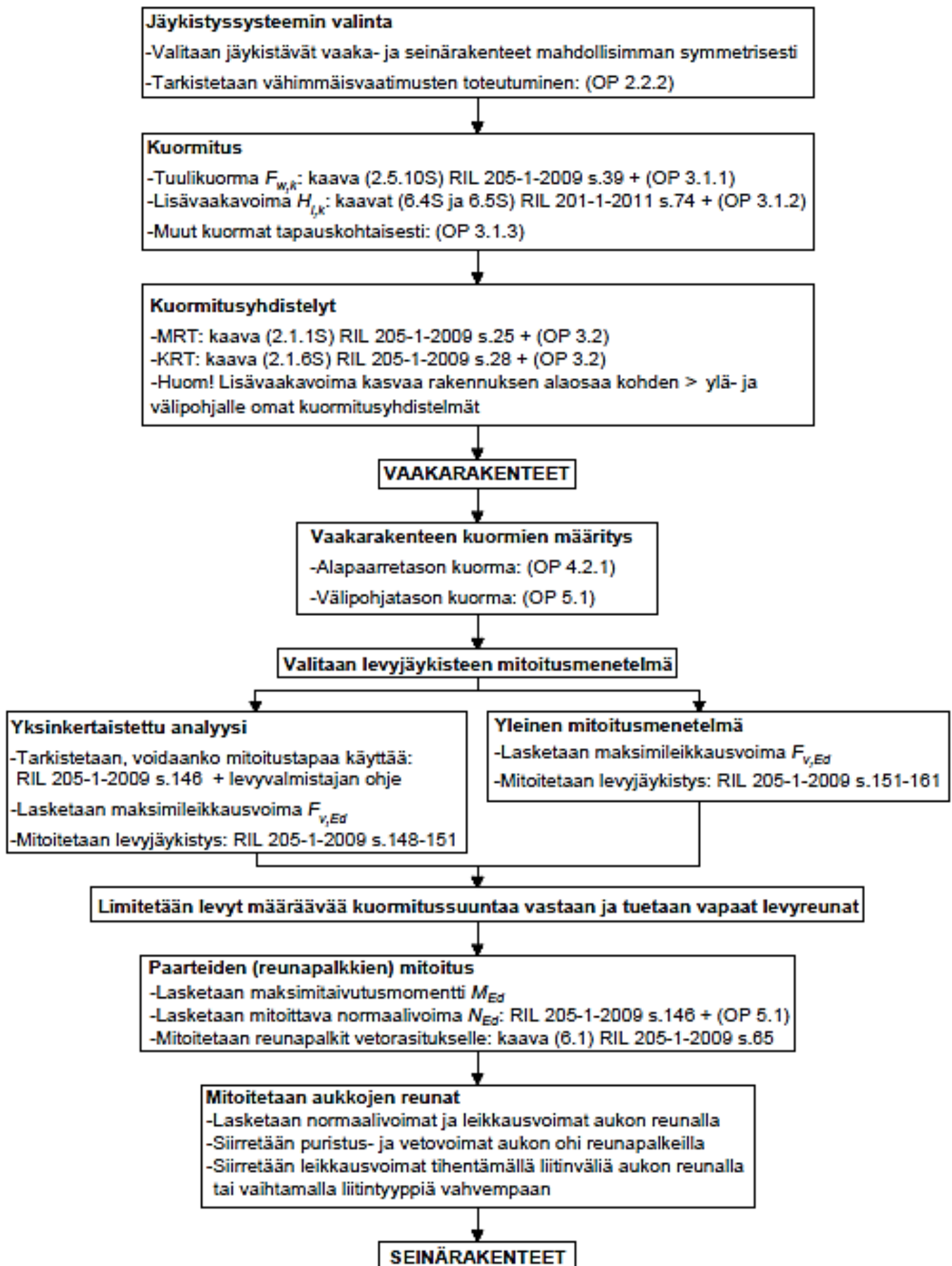
Mitoitetaan alapaarretaso (käsitellään rakennusrungon mitoituskaaviossa)



NR-KATTORAKENTEEN JÄYKISTYS



RAKENNUSRUNGON JÄYKISTYS



RAKENNUSRUNGON JÄYKISTYS

