

# SEAMK

Seinäjoen ammattikorkeakoulu  
Seinäjoki University of Applied Sciences

Ville Kangaskoski

---

## Pientalon levyjäykistyksen mitoitus

Excel-laskentapohja

Opinnäytetyö

Kevät 2026

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Ville Kangaskoski

Työn nimi alaotsikkoineen: Pientalon levyjäykistyksen mitoitus: Excel-laskentapohja

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2026

Sivumäärä: 44

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda pientalon levyjäykistyksen mitoittamiseen Excel-laskentapohja. Opinnäytetyön toimeksianto saatiin yritykseltä AsiloPlan Oy. Jäykistyksen mitoittaminen käsin vie aikaa ja on usein monivaiheista, joten virheiden mahdollisuus on suuri. Laskentapohjan tarkoituksena on saada tulokset nopeasti ja pienellä vaivalla. Laskentapohjan tuloksia voidaan hyödyntää rakennesuunnittelussa, ja ne voidaan tarvittaessa esittää rakennusvalvonnalle tai asiakkaalle.

Opinnäytetyö aloitettiin tutkimalla rankarakenteisten puutalojen ja niiden jäykistämisen historiaa. Työssä tutkittiin levyjäykistyksen mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ja yleisiä ehtoja sen toteuttamiselle. Tutkimuksen pääpainona oli perehtyä mitoituksessa käytettäviin kaavoihin ja laskea esimerkkikohteen jäykistyskapasiteetti. Tutkittuun tietoon pohjaten luotiin toimeksiantajan tarpeisiin soveltuva laskentapohja.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaan laskentapohja, joka on helppokäyttöinen ja luotettava. Työssä esitellään esimerkkikohteen jäykistyslaskelmat hyödyntäen laskentapohjaa.

<sup>1</sup> Asiasanat: puurakentaminen, mitoitus, rakennesuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Degree programme: Bachelor of Engineering, Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Ville Kangaskoski

Title of thesis: Dimensioning sheet panel bracing in timber construction: Excel template

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2026

Number of pages: 44

Number of appendices: 0

---

The aim of the thesis was to create an Excel template for dimensioning sheet panel bracing in timber construction. The thesis subject was given by the corporation AsiloPlan Oy. Dimensioning by hand is time consuming and has many phases so there is a high risk of errors. The purpose of the template is to get results quickly with minimal effort. The results of the template are used in structural engineering and can be presented when needed.

The thesis was started by studying the history and bracing of hard-built timber constructions. The study examined the factors affecting the dimensioning of sheet paneling and the general conditions for its implementation. The focus of the study was to study with the formulas used in dimensioning and to calculate the rigidity capacity of the example object. Based on the researched data, a template suitable for the client's needs was created.

The result of the thesis was a template that would be reliable and easy to use. The thesis presents the rigidity calculations of an example target.

<sup>1</sup> Keywords: timber construction, dimensioning, structural design

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO .....	10
2 RANKARAKENTEISEN RAKENNUKSEN JÄYKISTYS.....	11
2.1 Yleistä .....	11
2.2 Levyjäykistykseen käyttö.....	11
2.3 Levyjäykistykseen periaate .....	12
2.4 Levyjäykistystä koskevat vaatimukset.....	13
3 SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT .....	14
3.1 Arkkitehtisuunnittelu .....	14
3.2 Kuormat.....	14
3.3 Jäykisteiden materiaaliominaisuudet.....	16
4 LEVYJÄYKISTYKSEN MITOITUS.....	19
4.1 Kuormien määrittäminen .....	19
4.2 Tuulikuormat.....	19
4.2.1 Tuulikuorma pintapaineiden avulla.....	20
4.2.2 Tuulikuorma laskettuna voimakertoimen avulla .....	27
4.3 Laskentamenetelmät.....	29
4.3.1 Yksinkertaistettu menetelmä .....	29
4.3.2 Yleinen menetelmä .....	32
5 ESIMERKKILASKU HYÖDYNTÄEN LASKENTAPOHJAA.....	38
5.1 Esimerkkikohde.....	38
5.2 Tuulikuorma.....	38
5.3 Kiertokeskiön sijainti.....	39
5.4 Tulokset.....	40

6 YHTEENVETO .....	42
LÄHTEET .....	43

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Maksimiliitinvälit .....	13
Kuva 2. Kiertokeskiön sijainti ja merkinnät .....	15
Kuva 3. Ulkoisen paineen kertoimien kuvaaja .....	21
Kuva 4. Vyöhykekaavio .....	21
Kuva 5. Nopeuskorkeuden arvot .....	24
Kuva 6. Kitkakuorman vaikutusala .....	26
Kuva 7. Rakennekerroin leveille rakennuksille .....	28
Kuva 8. Tehollinen hoikkuus .....	28
Kuva 9. Voimien jakautuminen levylohkossa, levyssä ja puurangassa .....	31
Kuva 10. Havainnollistava kuva kiinnitystapakertoimien laskentaan .....	36
Kuva 11. Laskentapohjan ensimmäinen taulukko .....	38
Kuva 12. Sivuseinien tiedot.....	40
Kuva 13. Päätyseinien tiedot. ....	40
Kuva 14. Sivuseinien tulokset.....	41
Kuva 15. Päätyseinien tulokset.....	41
Taulukko 1. Kaavat kiertokeskiön ja voimien laskentaan .....	15
Taulukko 2. Gyproc -levyjen ja -liittimien arvot .....	17
Taulukko 3. Knauf -levyjen ja -liittimien arvot .....	18
Taulukko 4. Ulkoisen paineen kertoimet .....	22

Taulukko 5. Sisäisen paineen kertoimet .....	23
Taulukko 6. Kitkakerroin .....	26
Taulukko 7. Voimakertoimet .....	29
Taulukko 8. Kiinnitystapakertoimet .....	33

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>A</b>	Kuormitusala, jolle kuorma vaikuttaa
<b>a</b>	Vesikaton korkeus
<b>A<sub>fr</sub></b>	Kitkakuorman vaikutusalue
<b>A<sub>ref</sub></b>	Yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala
<b>B</b>	Seinän leveysmitta
<b>b<sub>i</sub></b>	Seinälohkon leveys
<b>C<sub>f</sub></b>	Voimakerroin
<b>C<sub>fr</sub></b>	Kitkakerroin
<b>C<sub>i</sub></b>	Levyn mittojen mukaan määräytyvä kerroin
<b>C<sub>i,v</sub></b>	Jäykkyyskerroin
<b>C<sub>pe</sub></b>	Ulkoisen paineen painekerroin
<b>C<sub>pi</sub></b>	Sisäisenpaineen painekerroin
<b>C<sub>s</sub>C<sub>d</sub></b>	Rakennekerroin
<b>F<sub>f,RD</sub></b>	Liittimen leikkausvoimakestävyys
<b>F<sub>fr</sub></b>	Kitkavoima
<b>F<sub>i,c,Ed</sub> ja F<sub>i,t,Ed</sub></b>	Ulkoiset pystyvoimat
<b>F<sub>i,v,Ed</sub></b>	Vaakavoima
<b>F<sub>i,v,Ek</sub></b>	Vaakavoima käyttörajatilassa
<b>F<sub>i,v,RD</sub></b>	Vaakaleikkauskestävyys
<b>F<sub>w</sub></b>	Tuulikuorma

$F_{w,e}$	Ulkoinen tuulikuorma laskettuna pintapaineiden avulla
$F_{w,i}$	Sisäpuolinen tuulikuorma laskettuna pintapaineiden avulla
$G_{mean,i}$	Liukumoduuli
$h$	Seinän korkeus
$K_{ser,i}$	Liittimen siirtymäkerroin
<b>Levyjäykistys</b>	Jäykistysmenetelmä, jossa rungon jäykistävänä rakenteena käytetään rakennuslevyjä
$q_p(h)$	Maaston pinnan mukaan modifioitu nopeuspaine, joka määritetään harjan korkeudella
$q_p(Z_e)$	Puuskanopeuspaine
$s$	Liitinväli
$t_i$	Levyn paksuus
$w_e$	Ulkopintoihin vaikuttava tuulenpaine
$w_i$	Sisäpintoihin vaikuttava tuulenpaine
$Z_e$	Ulkoisen paineen nopeuspainekorkeus
$Z_i$	Sisäpuolisen paineen nopeuspainekorkeus
$\beta_i$ ja $\gamma_i$	Kiinnitystapakertoimet
$\gamma_e$	Kerroin, joka huomioi, ettei paine- ja imuvoimien huippuarvot esiinny samanaikaisesti
$\omega_i$	Leikkausvoiman aiheuttama siirtymä

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä levyjäykistämisen periaatteisiin ja laskentamenetelmiin sekä kehitellä Excel laskentapohja. Laskentapohja kehitetään erityisesti rankarakenteisten rakennusten seinien levyjäykistykseen. Laskentapohjasta on tarkoitus tehdä helppokäyttöinen ja kaikkiin kohteisiin soveltuva, mikä nopeuttaa jäykistykseen mitoitusta käsinlaskentaan verrattuna. Työssä käsitellään pääsääntöisesti jäykistäviä seiniä ja niiden mitoitusta. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii AsiloPlan Oy, joka esitti tarpeen tällaiselle työlle.

Tarkasteltaessa pientalorakentamisen arkkitehtuurin kehitystä vuosien varrella voidaan huomata ikkunakokojen kasvaneen. Aukkojen kasvaessa ja lisääntyessä seinän jäykistyskapasiteetin tarkastelu ja mitoitus korostuvat. Rankarakenteisten pientalojen seinien jäykistys on useimmiten toteutettu levyjäykistysmenetelmällä.

Levyjäykistykseen mitoitusta käsin tehtynä vie aikaa. Virheiden mahdollisuudet käsin laskettaessa kasvavat, eikä niitä edes välttämättä huomaa tehneensä. Laskentapohjalla tulos saadaan selville nopeasti, mikä on myös kustannustehokasta ja vähentää virheiden mahdollisuutta. Koska laskentapohjaan tarvitsee syöttää vain vähän lähtöarvoja, laskennan tarkistaminen on vaivattomampaa verrattuna käsinlaskentaan.

Työssä käsitellään jäykistävien seinien ja niihin liittyvien kuormien laskentaa. Yläpohjan jäykistystä sekä muiden rakennesuunnitteluun liittyvien kuormien laskentaa ei tarkastella. Laskentapohjan mitoitusta perustuu eurokoodeihin ja Suomen rakennusinsinöörien liiton ohjeisiin. Valmistajien laskenta- ja mitoitushjeet on otettu huomioon laskentapohjassa.

Työssä on hyödynnetty tekoälyä oikeinkirjoituksen tarkistukseen, lähteiden selvittämiseen ja Excel-laskentapohjan kehittämiseen. Tekoälyä on käytetty vain ideoinnin tukena sekä inspiraation lähteenä.

## 2 RANKARAKENTEISEN RAKENNUKSEN JÄYKISTYS

### 2.1 Yleistä

1900-luvun kaupungistuvassa Suomessa asuntojen tarve lisääntyi (Berger & Böök, 2023). Markkinoille kaivattiin tehokkaampia, nopeampia ja kustannustehokkaampia rakenneratkaisuja. Nykyinen Suomessa käytettävä rankarakenne on kehitetty ottamalla mallia kehittyneimmistä maista. Rakennusten osat pystyttiin valmistamaan teollisesti, mikä nopeutti rakentamista ja puun tarve pienentyi. Rankarakenteiset rakennukset jäykistettiin aluksi käyttämällä vinolaudoitusta.

Rankarakenteisen pienrakennuksen jäykistys voidaan toteuttaa levyjäykistyksellä tai rungon väleihin asennettavilla välikapuloilla (Puuinfo, 2020c). Näistä tavoista levyjäykistysmenetelmä on nykyaikana yleisempi vaihtoehto. Pääsääntöisesti asuinpienrakennusten jäykistys toteutetaan ulko- ja sisäpuolisella levytyksellä. Kevyissä rakenteissa, kuten katoksissa, jäykistys voidaan toteuttaa myös vinositeiden avulla.

Puukuitulevyjen käyttö on yleistymässä, mikä tarkoittaa jäykistyskapasiteetin suunnittelun tarkempaa tarkastelua. Puukuitulevyjen jäykistysominaisuudet eivät ole samanlaiset kuin esimerkiksi kipsilevyillä. Opinnäytetyöntekijä teki vertailun Knauf KXT9 -levyn ja Hunton 25 mm -levyn välillä, ja kiinnikkeenä käytettiin 25 mm:n ”selällä” varustettua hakasta. Tuulensuojakipsilevy oli noin 45 % parempi kestävyydeltään.

Jäykistyksen riittävyyden tarkempaa tarkastelua ei pidetä samassa arvossa kuin kantavien rakenteiden kestävyden tarkastelua. Puutteellisen tiedon vuoksi jäykistystä saatetaan yli- tai pahimmassa tapauksessa mitoitaa riittämättömästi. Runko vaatii tarvittavan jäykkyyden toimiakseen oikein, ja opinnäytetyöntekijän mielestä jäykistyksen mitoitukselle pitäisi antaa enemmän painoarvoa rakennesuunnittelussa.

### 2.2 Levyjäykistyksen käyttö

Levyjäykistystä käytetään pääsääntöisesti seinien jäykistykseen, mutta myös yläpohjan jäykistys voidaan toteuttaa levyjäykistämällä (Knauf, 2020, s. 10). Jäykistävinä levyinä

käytetään siihen tarkoitukseen soveltuvia rakennuslevyjä. Yläpohjassa jäykistävät levyt kiinnitetään suoraan kattokannattajiin tai kannattajiin kiinnitettyihin sekundääripalkkeihin. Levyn omapaino ei saa aiheuttaa liittimien kantojen läpimenoa kartonkipinnasta.

Runkotolppien nurjahduskestävyyttä voidaan parantaa tolppajaon tihentämisellä (Puuinfo, 2020c). Tiheämmällä runkojaolla tolppien väliin asennettavat villat joudutaan leikkaamaan tolppien väliin sopiviksi. Nurjahdus ja kiepahdus on siis kannattavampaa estää toisella tapaa, kuten levyjäykistysmenetelmää käyttäen. Levyjäykistyksen kapasiteetin riittäessä rungon jäykistämiseen ei tarvitse tihentää runkojakoa tai lisätä jäykistyskapasiteettia esimerkiksi jäykistävillä väliseinillä.

### 2.3 Levyjäykistyksen periaate

Levyjäykisteinen runko koostuu jäykistävästä pysty- ja vaakarakenteista (Puuinfo, 2020b). Vaakarakenteet välittävät kuormat jäykistäville pystyrakenteille. Vaakakuormituksen suuruus jäykistävälle pystyrakenteelle on riippuvainen sen mekaanisesta toiminnasta. Voimien jakautuminen määritellään kuormitusleveydellä tai seinien jäykkyyksien suhteella. Jäykistyksellä estetään runkotolppien nurjahdus sekä kiepahdus.

Levyt kiinnitetään liittimillä puurankaan (Suomen standardisoimisliitto (SFS), 2014, s. 91). Levyn reunoilla liittimet ovat tasavälein ja muut liitinvälit ovat enintään kaksinkertaiset levyn reunojen liitinväleihin nähden. Seinälohkot jaetaan erillisiksi lohkoiksi aukon molemmilla puolilla.

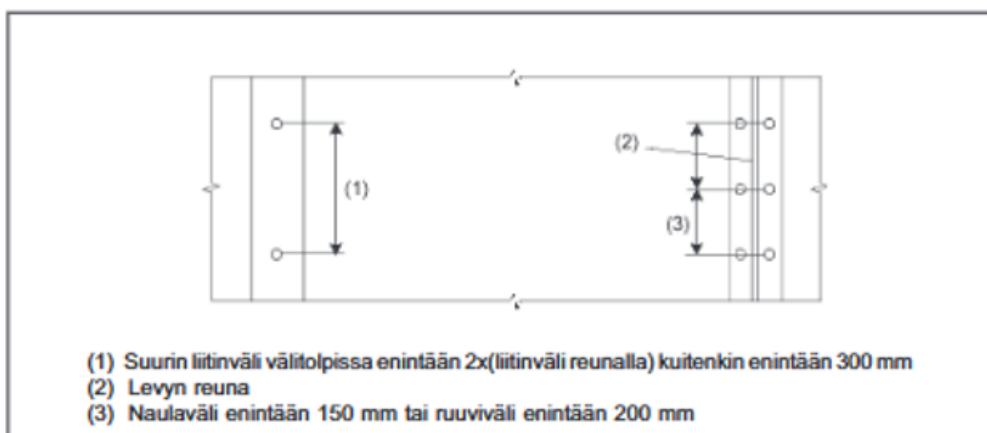
Seinien levyjäykistys on kannattavaa toteuttaa ulkoseinien avulla, koska tällöin tilojen muunneltavuus säilyy ja jäykistysseinien suunnittelu on yksinkertaista (Knauf, 2020, s. 3). Väliseinien sijoittaminen symmetrisesti estää rakennusta kiertymästä vaakavoimien vaikutuksesta. Vääntövaikutus on otettava huomioon mitoituksessa, jos väliseiniä ei pystytä sijoittamaan symmetrisesti. Vaakakuormat tarkastellaan pääty- ja sivuseiniä vasten.

## 2.4 Levyjäykistystä koskevat vaatimukset

Jäykistävät seinät tulee suunnitella siten, että ne kestävät pysty- ja vaakakuormat (Suomen rakennusinsinöörien liitto (RIL), 2017a, s. 156). Jäykistäviin seiniin ei saa aiheutua halkeamia tai suuria taipumia. Seinän tuennan on oltava riittävä kaatumista ja liukumista vastaan (SFS, 2014, s. 88). Seinän vaakaleikkausvoimakestävyys tulee määrittää. Se voidaan määrittää standardin EN 594 mukaisesti kokein tai laskennallisesti (SFS, 2012, s. 6). Seinien materiaali ja rakenne täytyy huomioida.

Jäykistävien seinälohkojen leveys täytyy olla vähintään  $h/4$  (SFS, 2014, s. 88). Ehdon alittavat lohkot eivät lisää jäykistyskapasiteettia. Ikkuna- ja oviaukkoja ei lasketa jäykistykseen mukaan. Seinän koostuessa molemminpuolisista jäykistävästä rakennelevyistä voidaan vahvemman levyn kestävyyttä lisätä heikomman levyn vaakaleikkausvoimakestävyuden arvolla, mikäli liittimet ja levyt ovat tyypiltään ja mitoiltaan samanlaiset. Erilaisia levyjä, mutta samantyyppisiä liittimiä käytettäessä lisätään vahvemman puolen kestävyyteen 75 % heikomman puolen kestävyydestä. Muissa tapauksissa kestävyyttä kasvatetaan enintään 50 %.

Levyn liitinväli saa olla reunoilla enintään 150 mm nauvoja käytettäessä ja ruuveilla 200 mm (RIL, 2017a, s. 159). Välitolpilla liitinväli saa olla enintään 300 mm. Välitolppien liitinväliksi valitaan joko kaksinkertainen reunojen liitinväli tai 300 mm riippuen siitä, kumpi arvo on pienempi. Kuvassa 1 on esitettyinä maksimiliitinvälit.



Kuva 1. Maksimiliitinvälit (RIL, 2017a, s. 159)

## 3 SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT

### 3.1 Arkkitehtisuunnittelu

Arkkitehtisuunnittelu määrittää rakennuksen ulkomuodon ja pinta-alat (Rakennustieto, 2020, s. 2). Valmiista arkkitehtimallista saadaan jäykistyksen laskentaan tarvittavat tiedot. Laskentaan tarvittavia tietoja ovat rakennuksen korkeus, sijainti, rakennetyypit ja jäykistävien seinien paikat.

Rakennuksen muoto vaikuttaa tukivoimien resultantin kohtaan (Teknologian tutkimuskeskus VTT (VTT), 2006, s. 34). Arkkitehdin suunnitelmaan perustuen voidaan valita oikea laskentatapa seinille tulevien kuormien määritykseen. Opinnäytetyöntekijän mielestä helppoin ja yksinkertaisin rakennuksen muoto kuormien määrittämiseksi on symmetrinen, mutta usein rakennukset ovat epäsymmetrisen muotoisia. Epäsymmetrisen rakennuksen kuormien laskeminen seinille on työläämpää ja vaatii enemmän laskemista.

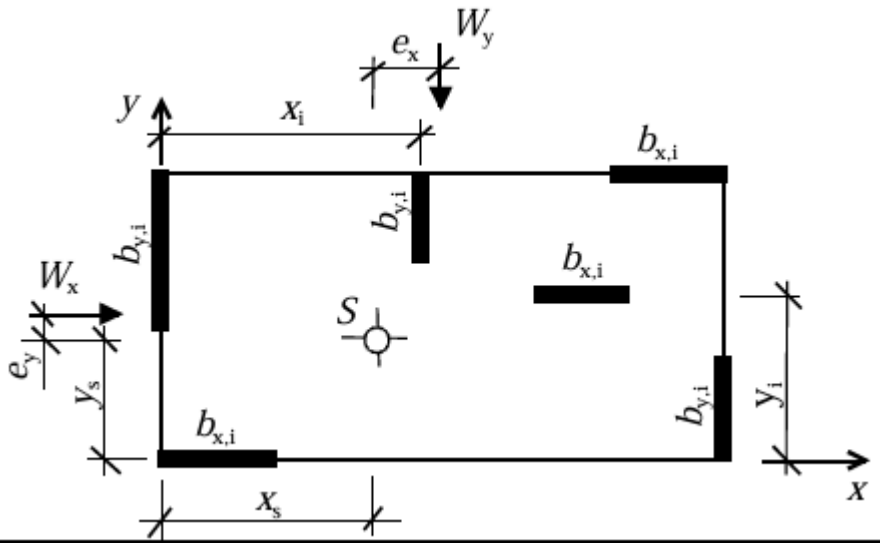
### 3.2 Kuormat

Rakennuksen jäykistyksen riittävyttä tarkasteltaessa selvitetään seinille tulevat kuormitukset. Jäykistyksen kuormat koostuvat tuulikuormasta ja lisävaakavoimasta (Knauf, 2020, s. 5–7). Kokonaistuulikuorman resultantin oletetaan sijaitsevan tuulta vastaan kohtisuoran projektiopinta-alan painopisteessä. Puupientaloissa ei lisävaakavoimaa tarvitse ottaa huomioon.

Rakennuksen korkeuden ja syvyyden kasvaessa seiniä kuormittavat voimat kasvavat, jolloin jäykistämisen suunnittelusta tulee haasteellisempaa (Puuinfo, 2020b). Puurakenteisissa taloissa on tarkasteltava seinän ankkurointi, koska rakenteen omapaino ei riitä kuormaan ankkurointivoimia.

Tyypillisesti levyjäykisteisessä rungossa vaakarakenteet välittävät kuormat seinille (Puuinfo, 2020b). Jäykistävän vaakarakenteen ollessa jäykkä jakaantuvat kuormat seinien jäykkyyksien suhteessa kiertokeskiön kautta. Hyvin jäykkiä rakenteita ovat useimmiten betonirakenteet. Puurakenteiset vaakarakenteet ovat joustavia, mikä johtuu

materiaaliominaisuuksista ja käytettävistä liittimistä. Joustavassa rungossa kuorma jakaantuu seinille kuormitusleveyteen perustuen. Tästä huolimatta laskettaessa rankarakenteisen puutalon seinille tulevia voimia ajatellaan vaakarakenteet jäykiksi, ja tällöin kuormat jakaantuvat kiertokeskiön kautta seinille. Tarvittavat kaavat ja niiden merkinnät kiertokeskiön paikan määrittämiseen sekä voimien laskentaan on esitetty taulukossa 1 ja kuvassa 2, joka löytyy puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohjeesta (VTT, 2006, Liite 1, s. 2).



Kuva 2. Kiertokeskiön sijainti ja merkinnät (VTT, 2006, Liite 1, s. 2)

Taulukko 1. Kaavat kiertokeskiön ja voimien laskentaan (VTT, 2006, Liite 1, s. 2)

$x_s = \frac{\sum b_{yi} x_i}{\sum b_{yi}}$	$y_s = \frac{\sum b_{xi} y_i}{\sum b_{xi}}$
$s_{xi} = (x_i - x_s)$	$s_{yi} = (y_i - y_s)$
Tuulen suunta $W_x$ :	Tuulen suunta $W_y$ :
$H_{xi} = \frac{b_{xi}}{\sum_j b_{xj}} W_x + \frac{W_x e_y s_{yi} b_{xi}}{\sum_j b_{xj} s_{yj}^2 + \sum_j b_{yj} s_{xj}^2}$	$H_{xi} = \frac{W_y e_x s_{yi} b_{xi}}{\sum_j b_{xj} s_{yj}^2 + \sum_j b_{yj} s_{xj}^2}$
$H_{yi} = \frac{W_x e_y s_{xi} b_{yi}}{\sum_j b_{xj} s_{yj}^2 + \sum_j b_{yj} s_{xj}^2}$	$H_{yi} = \frac{b_{yi}}{\sum_j b_{yj}} W_y + \frac{W_y e_x s_{xi} b_{yi}}{\sum_j b_{xj} s_{yj}^2 + \sum_j b_{yj} s_{xj}^2}$

Taulukon 1 symbolit:

- $b_i$  on seinän jäykkyyskerroin
- $x_s$  on kiertokeskiön X-koordinaatti

- $Y_s$  on kiertokeskiön Y-koordinaatti
- $S_i$  on seinän painopisteen etäisyys kiertokeskiöstä
- $W$  on tuulikuorma
- $e$  on tuulikuorman etäisyys kiertokeskiöstä
- $H_i$  on seinälle tuleva voima

### 3.3 Jäykisteiden materiaaliominaisuudet

Jäykistävien seinien rakennetyypeistä saadaan selville, onko seinässä molemminpuolinen vai yksipuolinen jäykistävä levy ja mitä materiaalia levyt ovat. Levyjen materiaaliominaisuudet löytyvät valmistajien sivuilta. Kun tiedetään hankkeessa käytettävien levyjen valmistaja, voidaan heidän tietojensa perusteella mitoittaa jäykistyskapasiteetti.

Taulukoissa 2 ja 3 on kuvattu Gyproc:n ja Knauf:n taulukkoarvot erilaisille liitin- ja levy-yhdistelmille. Lisäksi edellä mainittujen valmistajien sivuilta löytyy taulukoituna levyjen liuku-moduulit.

Taulukko 2. Gyproc -levyjen ja -liittimien arvot (Gyproc, 2022, s. 15)

Levytyyppi	Kiinnike	Käyttö- luokka	Ominais- leikkauslujuus $R_{v,k}$ [N]	Siirtymä- kerroin $K_{ser}$ [N/mm]	Minimi- jako	maksimi- jako reunoilla
Glasroc® X GXU 9 Storm Tuulensuojalevy	BeA155/38 VZHZ	2	213	150	70	150
	Beck 14035 CNK	2	368	180	70	150
Glasroc® GTX 9 Tuulensuojalevy	Verpa Senco N17BGA, ruostumaton teräs, luokka A2 *	2	299	230	30	150
		3	160	140	30	150
Gyproc GTS 9 tai GTS 13 Tuulensuojalevy	BeA 155/38 VZHZ	2	287	180	70	150
	BeA 155/38 VZHZ	3	222	180	70	150
	Beck 17/32 CNK 12	2	332	220	70	150
	Verpa Senco B.V. N17BGA	2	319	200	70	150
	Verpa Senco B.V. N17BXBB	2	278	180	70	150
Gyproc GN 13, GN 13 W tai 4Pro™	BeA 155/38 VZHZ	1	307	180	70	150
Gyproc GEK 13 Erikoiskova tai GRI 13 Kylppäri	BeA 155/38 VZHZ	1	438	270	70	150
Gyproc GR 13 Erikoiskova	BeA 155/38 VZHZ	1	438	270	70	150
	Verpa Senco B.V. N17BXBB *	1	360	170	30	150
	Verpa Senco B.V. N17BXBB **	1	417	270	70	150
Gyproc GR 13 White Erikoiskova	BeA 155/38 VZHZ	1	562	400	70	150
Gyproc GH 13 Habito™	BeA 155/38 VZHZ	1	661	300	70	150
	Verpa Senco B.V. N17BXBB *	1	560	190	30	150
	Verpa Senco B.V. N17BXBB **	1	560	300	70	150
Gyproc GH 13 Habito + Birch Plywood 42	Verpa Senco B.V. N17BXBB	1	1002	850	70	150
Gyproc GFL 15 FireLine	BeA 155/38 VZHZ	1	508	250	70	150
	Verpa Senco B.V. N17BXBB *	1	550	100	30	150
	Verpa Senco B.V. N17BXBB **	1	550	250	70	150
Gyproc GFL 18 FireLine	BeA 155/38 VZHZ	1	508	250	70	150
	Verpa Senco B.V. N21BXBB	1	413	250	70	150

Taulukko 3. Knauf -levyjen ja -liittimien arvot (Knauf, 2020, s. 14)

Liitin tyyppi	Liitin	Levy	Käyttö- luokka	Liittimen omi- naisleikkaus- kapasiteetti [kN]	Liittimen siir- tymäkerroin [N/mm]
Ruuvi	Senco 39A32MC (3,9x32)	KN 13	1	0,45	650
Ruuvi	ITW BYG Spit 151600 (3,9x32)	KEK 13	1	0,55	1500
Ruuvi	Prof 3,8 x 45 ja Knauf SN39	KPS 15	1	0,45	650
Ruuvi	Senco 39A32MC (3,9x32)	KXT 9	2	0,51	2000
Ruuvi	Senco 39A32MC (3,9x32)	KXT 13	2	0,66	1050
Ruuvi*	Senco 39A42MC (3,9x42)	KPS 15	1	0,56	740
Hakanen	Senco N15BAB (1,57x31,7x11,1)	KN 13	1	0,34	300
Hakanen*	Senco V17BXBB (1,57x38x11,1)	KPS 15	1	0,42	280
Hakanen	BeA 16/38 NKHZ (1,59x38x10,9)	KEK 13	1	0,4	350
Hakanen	Senco P15BABB (1,57x32x25,4)	KXT 9	2	0,53	350
Hakanen	BeA 155/38 VZHZ (1,59x38x10,9)	KXT 9	2	0,35	500
Hakanen	BeA 155/38 VZHZ (1,59x38x10,9)	KXT 13	2	0,47	550
Naula	Senco HJ15ASAVR (3,1x32)	KXT 9	2	0,55	1150
Naula	BeA TC 25 x 35, kampa (2,5x35)	KXT 9	2	0,37	650
Ruuvinaula	TC 30 x 45 NK PH2 (3,0x45)	KXT 13	2	0,51	650

## 4 LEVYJÄYKISTYKSEN MITOITUS

### 4.1 Kuormien määrittäminen

Seinien jäykistykseen mitoittaminen alkaa seinille tulevan vaakavoiman määrittämisestä. Seinille tuleva vaakavoima koostuu tuulen aiheuttamasta paineesta (Puuinfo, 2020b). Arkkitehtisuunnitelmista saatavilla tiedoilla saadaan vaakavoiman vaikutusala laskettua sekä sijaintitiedoilla määritettyä maastoluokkaa rakennukselle.

### 4.2 Tuulikuormat

Tuulikuorman määrittäminen alkaa nopeuspaineen laskemisella (RIL, 2017b, s. 129). Nopeuspaineen arvoon vaikuttaa rakennuksen sijainti ja korkeus. Maastoluokan valinta vaikuttaa tuulen nopeuspaineen arvoon. Maastoluokkia on viisi. Tuulen nopeuspaineen arvot ovat taulukoitu rakennuksen korkeuden ja maastoluokan mukaan. Näistä arvoista interpoloimalla saadaan nopeuspaineen arvo mitoittettavalle rakennukselle. Tuulikuormien vaikutus määritetään rakenteeseen tai rakenneosaan (RIL, 2017b, mts. 139). Tuulikuormat voidaan laskea joko käyttämällä voimakertoimia  $c_f$  tai pintapaineiden perusteella käyttäen kertoimia  $c_p$ .

Helppoin ja yleisempi tapa laskea tuulikuormaa on määrittää nopeuspaine käyttämällä voimakertoimia. Nopeuspaine saadaan muutettua tuulikuorman arvoksi  $K_n$  kertomalla se kuormitusalueella, joka lasketaan esimerkiksi yksi kerroksisen talon päädyssä kaavalla (1)

$$A = B \cdot \left( \frac{h}{2} + a \right) \quad (1)$$

missä

- A on kuormitusala
- B on päädyn leveys
- h on seinän korkeus
- a on vesikaton korkeus

#### 4.2.1 Tuulikuorma pintapaineiden avulla laskettuna

Tuulenpaineita ja niistä laskettavia painekuormia hyödynnetään mitoitettaessa rakenteen osia (RIL, 2017b, s. 138). Ulkopintoihin vaikuttava tuulenpaine  $w_e$  saadaan kaavasta (2)

$$w_e = q_p(z_e)c_{pe} \quad (2)$$

missä

$q_p(z_e)$  on puuskanopeuspaine

$c_{pe}$  on ulkoisen paineen painekerroin

$z_e$  on ulkoisen paineen nopeuspainekorkeus

Sisäpintoihin vaikuttava tuulenpaine  $w_i$  saadaan kaavasta (3) (RIL, 2017b, s. 138)

$$w_i = q_p(z_i)c_{pi} \quad (3)$$

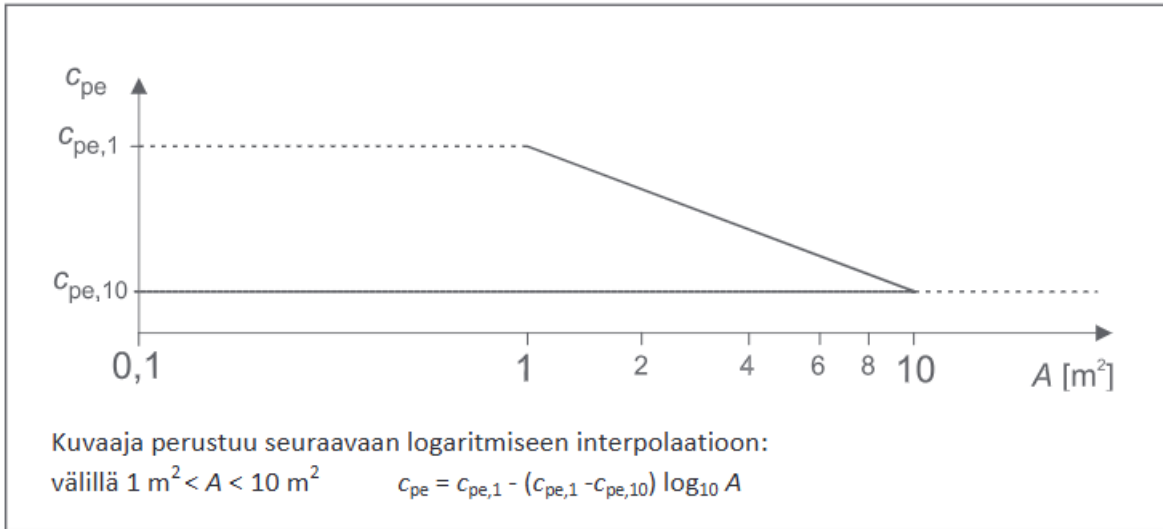
missä

$q_p(z_e)$  on puuskanopeuspaine

$c_{pi}$  on sisäisen paineen painekerroin

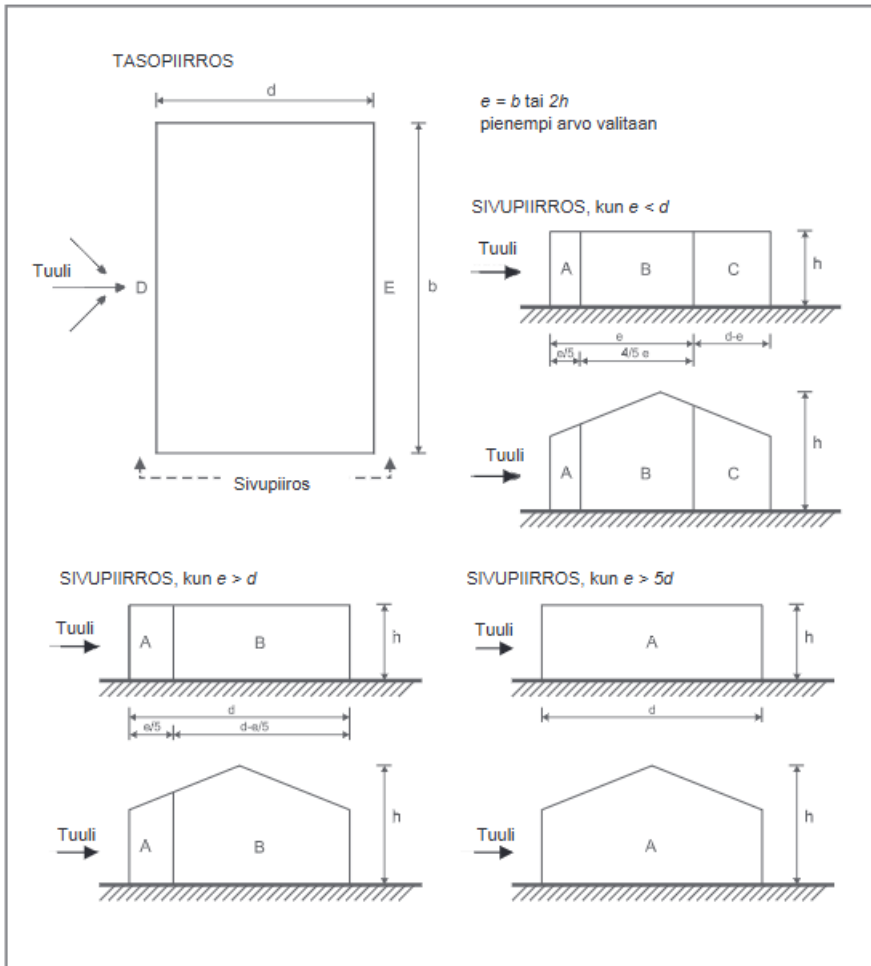
$z_i$  on sisäpuolisen paineen nopeuspainekorkeus = ( $z_e$ )

Seinään kohdistuva nettopaine on ulko- ja sisäpinnan paineiden ero etumerkit huomioiden (RIL, 2017b, s. 139). Pintaa kohti suuntautuva paine on positiivinen ja pinnasta poispäin suuntautuva imu negatiivinen. Ulkopuolisen paineen kertoimet  $c_{pe}$  riippuvat rakenteen kuormitusalan koosta  $A$  (RIL, 2017b, mts. 147). Ulkoisen paineen kertoimen laskukaava on esitetty kuvassa 3, kun kuormitusala on  $1 \text{ m}^2$ ,  $10 \text{ m}^2$  tai niiden välissä. Pystyseiniä vyöhykekaaviosta määritetään vyöhyke, jonka jälkeen ulkoisen paineen kertoimet voidaan katsoa taulukosta 4. Kuvassa 4 on esitetty harjakattoisen rakennuksen vyöhykkeet.



u

Kuva 3. Ulkoisen paineen kertoimien kuvaaja (RIL, 2017b, s. 148)



Kuva 4. Vyöhykekaavio (RIL, 2017b, s. 150)

Taulukko 4. Ulkoisen paineen kertoimet (RIL, 2017b, s. 150)

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
$\geq 5$ <sup>4)</sup>	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Sisäpuolisen paineen kerroin  $c_{pi}$  riippuu aukkojen koosta ja jakautumasta (RIL, 2017b, s. 161). Sisäinen ja ulkoinen paine vaikuttavat samanaikaisesti. Kun aukkojen pinta-ala on vähintään kaksinkertainen verrattuna muiden sivujen aukkojen ja ilmapuotojen yhteenlaskettuun alaan, kyseinen sivu on määräävä. Määräävän sivun aukkojen alan ollessa kaksinkertainen muihin sivuihin verrattuna saadaan  $c_{pi}$  arvo kaavalla (4)

$$c_{pi} = 0,75 c_{pe} \quad (4)$$

Määräävän sivun aukkojen alan ollessa vähintään kolminkertainen muihin sivuihin verrattuna lasketaan  $c_{pi}$  kaavalla (5)

$$c_{pi} = 0,90 c_{pe} \quad (5)$$

Ulkoisen paineen kertoimelle  $c_{pe}$  käytetään määräävän sivun aukkojen kohdalla olevaa arvoa. Aukkojen sijaitessa vyöhykkeillä, joissa arvot poikkeavat toisistaan, käytetään pinta-aloilla painotettua arvoa.

Sisäisen paineen kerroin lasketaan rakennuksille, joilla ei ole määräävää sivua, kaavalla (6)

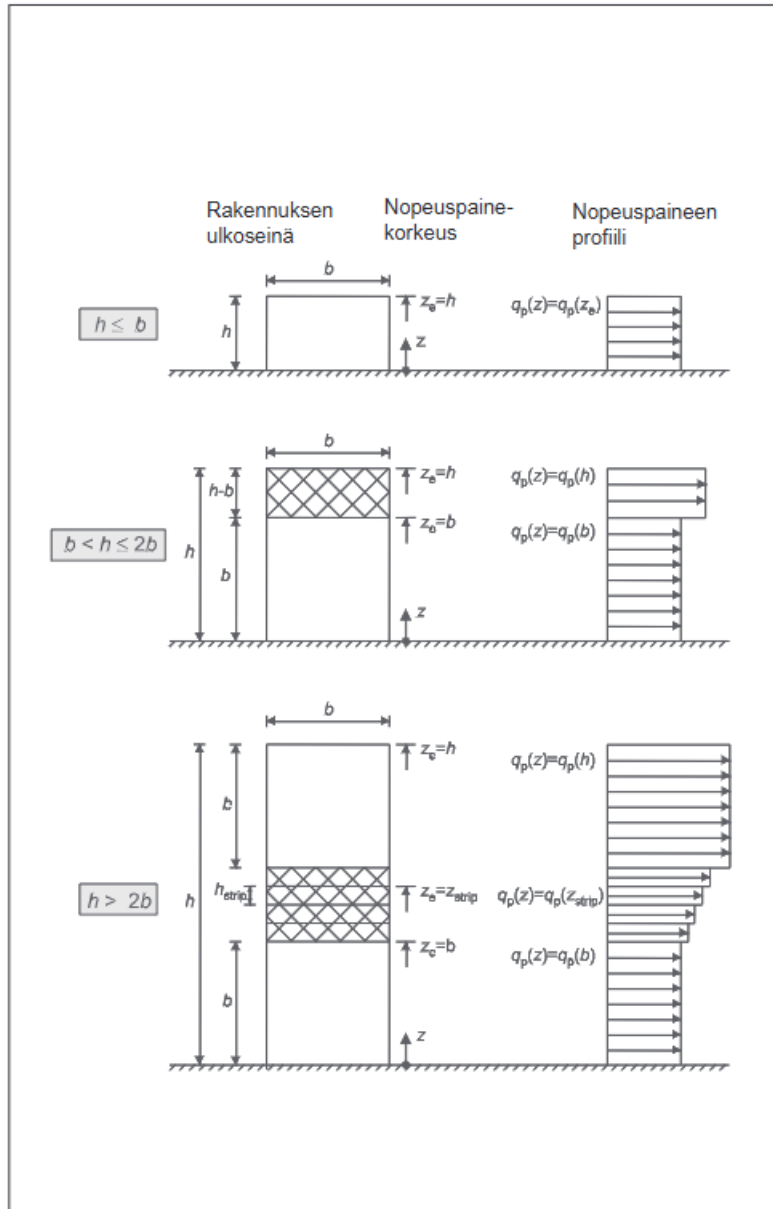
$$\mu = \frac{\sum \text{niiden aukkojen pinta-ala, joiden kohdalla } c_{pe} \leq 0,0}{\sum \text{kaikkien aukkojen pinta-ala}} \quad (6)$$

Neliömäisille rakennuksille, joiden aukkosuhdetta ei pystytä määrittelemään tarkasti, käytetään sisäisen paineen arvoina  $c_{pi} = -0,3$  ja  $c_{pi} = 0,2$  (RIL, 2017b, s. 163). Näistä arvoista valitaan se, mikä antaa mitoituksen kannalta heikoimman tilanteen tarkasteltavalle rakenteelle tai rakenneosalle. Yhden tai useamman sivun ollessa avoin saadaan sisäisen paineen kerroin taulukosta 5.

Taulukko 5. Sisäisen paineen kertoimet (RIL, 2017b, s. 163)

Tuulen suunta $\theta$	Yksi avoin sivu <sup>1)</sup>		Kaksi vierekkäistä avointa sivua <sup>2)</sup>	Kolme vierekkäistä avointa sivua <sup>3)</sup>
	Lyhyempi sivu avoin	Pidempi sivu avoin		
$\pm 0^\circ$	+0,85	+0,68	+0,77	+0,60
$\pm 90^\circ$	-0,60	-0,40	+0,77, -0,38	0
$\pm 180^\circ$	-0,16	-0,16	-0,30	-0,39
$\pm 270^\circ$	-0,60	-0,40	+0,77	0

Nopeuspainekorkeus  $z_e$  määritetään kuvaa 5 soveltamalla (RIL, 2017b, s. 148). Tämä menetelmä antaa lisävarmuutta huomioiden kaupungeissa ja tiheissä asutuskeskuksissa tuulen nopeusprofiilin satunnaisuuden harjakorkeuden alapuolella.  $Z_e$ :n määrittäminen riippuu suhteesta  $h/b$ . Kuvassa 5 on esitetty kolmelle tapaukselle nopeuskorkeuden arvon laskeminen.



Kuva 5. Nopeuskorkeuden arvot (RIL, 2017b, s. 149)

Pintapaineiden avulla saatava tuulikuorma lasketaan rakenneosille ulkopuolisen ja sisäpuolisen kuorman summana (RIL, 2017b, s. 143). Ulkoinen kuorma saadaan kaavalla (7)

$$F_{w,e} = c_s c_d \sum w_e A_{ref} \quad (7)$$

missä

$c_s c_d$  on rakennekerroin

$A_{ref}$  on yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala

$w_e$  on yksittäiseen pintaan vaikuttava ulkopuolinen paine

Sisäpuolinen kuorma lasketaan kaavalla (8)

$$F_{w,i} = \sum w_i A_{ref} \quad (8)$$

missä

$w_i$  on yksittäiseen pintaan vaikuttava paine

$A_{ref}$  on yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala

Rakenneosien tuulikuorma voimien suunnat huomioiden lasketaan kaavalla (9)

$$F_w = F_{w,e} + F_{w,i} \quad (9)$$

Kokonaistuulivoima saadaan laskettua pintapaineiden avulla, missä kitkavoima voidaan tarvittaessa ottaa huomioon (RIL, 2017b, s. 144). Kokonaistuulivoima lasketaan samalla tavalla kuin rakenneosille laskettava tuulikuorma. Lisäyksenä kaavaan tulee kerroin  $\gamma_e$ , joka ottaa huomioon, etteivät paine- ja imuvoimien huippuarvot esiinny samanaikaisesti.  $\gamma_e = 1,0$ , jos  $h/d \geq 5$ , tai  $\gamma_e = 0,85$ , jos  $h/d \leq 1$  ( $h$  = rakennuksen korkeus ja  $d$  = rakennuksen pituusmitta tuulen suunnassa). Väliarvot interpoloidaan. Kokonaistuulivoima lasketaan pintapaineiden avulla kaavalla (10)

$$F_w = \gamma_e F_{w,e} + F_{w,i} + F_{fr} \quad (10)$$

missä

$F_{fr}$  on kitkavoima

Kitkavoima saadaan laskettua kaavalla (11) (RIL, 2017b, s. 143)

$$F_{fr} = c_{fr} q_p(z_e) A_{fr} \quad (11)$$

missä

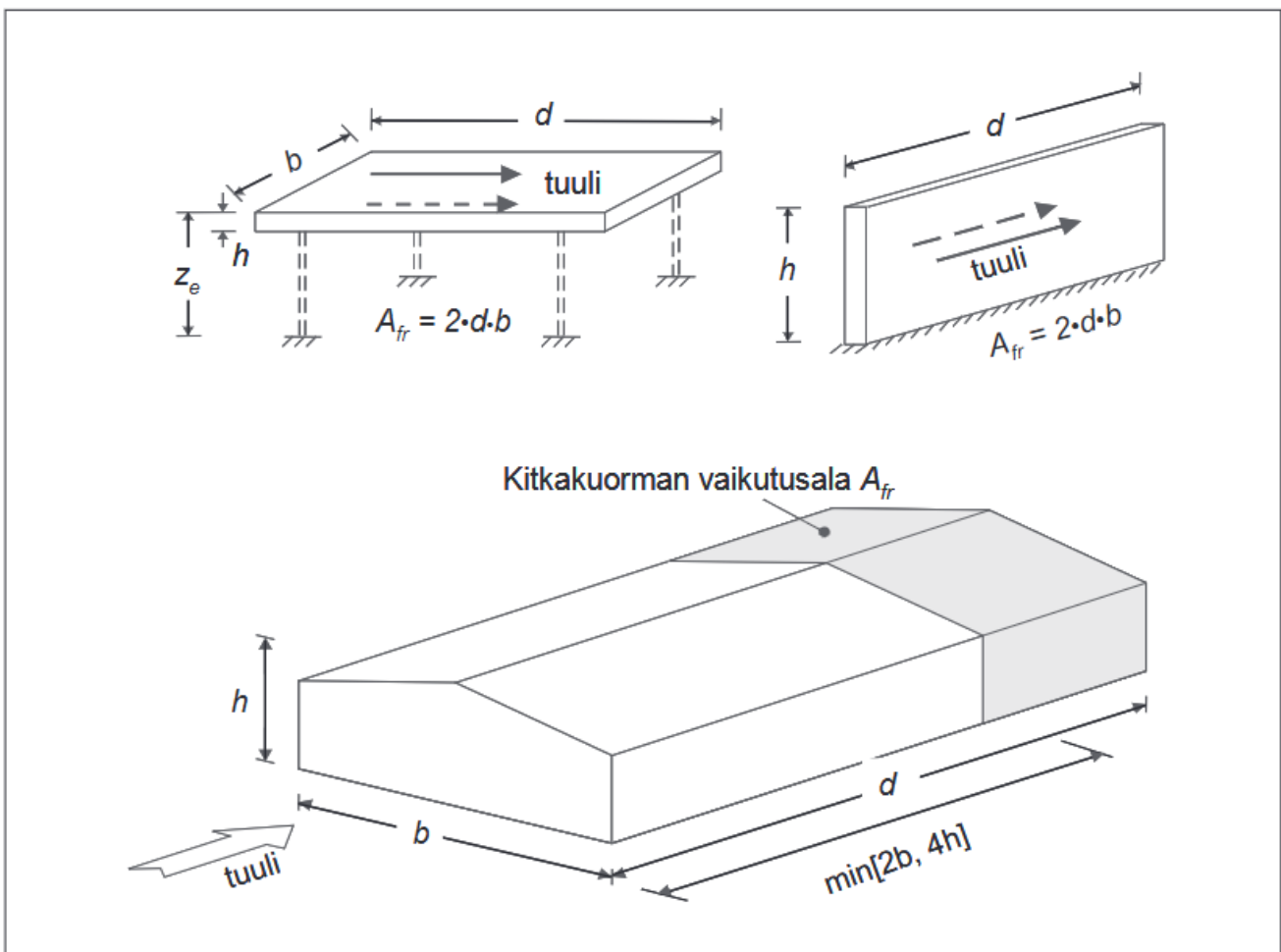
$c_{fr}$  on kitkakerroin

$A_{fr}$  on kitkakuorman vaikutusalue

Kitkakerroin saadaan materiaaliin perustuvasta taulukosta 6 (RIL, 2017b, s. 169). Arkkitehtoniset valinnat, kuten ikkunasyvennykset ja kohoumat, vaikuttavat kitkakertoimen valintaan. Kitkakuorman vaikutusala on esitetty kuvassa 6.

Taulukko 6. Kitkakerroin (RIL, 2017b, s. 169)

Pinta	Kitkakerroin $c_{fr}$
sileä (teräs, sileä betoni)	0,01
karhea (karhea betoni, kattohuopa)	0,02
hyvin karhea (aalto-, ripa- tai poimuprofilointi)	0,04



Kuva 6. Kitkakuorman vaikutusala (RIL, 2017b, s. 170)

#### 4.2.2 Tuulikuorma laskettuna voimakertoimen avulla

Rakennuksen korkeuden ollessa pienempi kuin rakennuksen leveys, vallitsee tuulenpaineella arvo rakennuksen harjalla (RIL, 2017b, s. 140). Kokonaisvoima  $F_w$  (kN) voidaan rakennukselle laskea kaavalla (12)

$$F_w = c_s c_d c_f q_p(h) A_{ref} \quad (12)$$

missä

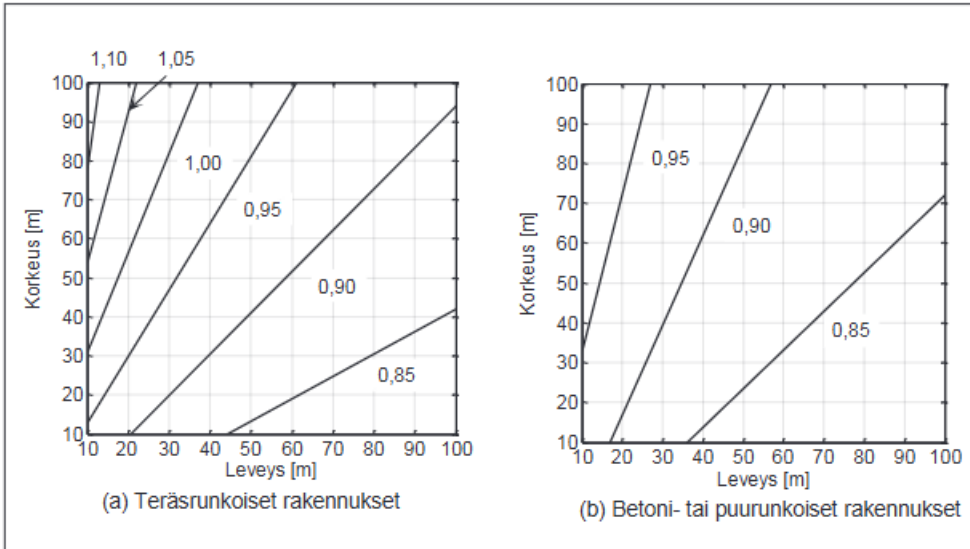
$c_s c_d$  on rakennekerroin

$c_f$  on voimakerroin

$q_p(h)$  on maaston pinnan mukaan modifioitu nopeuspaine harjan korkeudella

$A_{ref}$  on tuulikuorman vaikutusala

Rakennekertoimelle  $c_s c_d$  voidaan käyttää mitoituksen kannalta turvallista arvoa  $c_s c_d = 1,0$  matalilla rakennuksilla (RIL, 2017b, s. 140). Rakennekertoimen arvoa 1,0 voidaan käyttää, kun rakennus on alle 15 m korkea, ulkoseinän ja vesikaton rakenteiden ominaistaajuus on yli 5 Hz (RIL, 2017b, mts. 145). Kantavilla seinillä varustetuissa rakennuksissa rakennekertoimen arvo 1,0 on sallittu myös silloin, kun rakennuksen korkeus on alle 100 m ja pienempi kuin nelinkertainen tuulensuuntainen sivumitta. Leveiden rakennusten kohdalla rakennekertoimen arvo pystytään määrittämään kuvan 7 mukaan. Leveyden kasvaessa rakennekertoimen arvo laskee, mikä pienentää kokonaistuulivoimaa.



Kuva 7. Rakennekerroin leveille rakennuksille (RIL, 2017b, s. 142)

Hoikkuusluvun ja sivusuhteen  $d/b$  avulla saadaan voimakerroin  $c_f$  teräväsärmäisille suorakaiteen muotoisille rakennuksille (RIL, 2017b, s. 140). Tehollisen hoikkuuden laskentaan on esitetty kaavat kuvassa 8. ja taulukossa 7 on voimakertoimen  $c_f$  arvot rakennuksen mitasuhteet ja hoikkuus huomioiden.

Rakenteen mitasuhteet, tuuli kohtisuoraan tasoa vasten	Tehollinen hoikkuus $\lambda$
	<p>kun <math>h &lt; 15</math> m, <math>\lambda = 2 h/b</math>  kun <math>h \geq 50</math> m, <math>\lambda = 1,4 h/b</math></p> <p>Välialueella <math>15</math> m <math>&lt; h &lt; 50</math> m sovelletaan interpolointia.</p> <p>Huom: Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia, joille <math>\lambda &gt; 10</math>.</p>

Kuva 8. Tehollinen hoikkuus (RIL, 2017b, s. 140)

Taulukko 7. Voimakertoimet (RIL, 2017b, s. 141)

$\lambda$	Sivusuhte $d/b$								
	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
$\leq 1$	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

### 4.3 Laskentamenetelmät

Seinien levyjäykistyksen mitoituksen voi tehdä käyttämällä yksinkertaistettua menetelmää tai yleistä menetelmää (RIL, 2017a, s. 156). Yksinkertaista menetelmää voi käyttää vain silloin, kun seinät on ankkuroitu jäykistävien osaseinien päistä tai seinälohkon kohdalta. Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen pystysauva on ankkuroitu alapuoliseen rakenteeseen, ja alajuoksu on ankkuroitu tasavälein siten, että jokaisen lohkon väliin tulee vähintään yksi kiinnityspiste. Yleisessä menetelmässä otetaan huomioon levyn kiinnitystapa sekä levyn ja liittimen arvoja. Ovi- ja ikkuna-aukon sisältävä seinälohko siirtää ulkoisia voimia siten, että ne kytkevät kiinni toisiinsa jäykistävät osaseinät (RIL, 2017a, mts. 159).

Laskentaa varten tarvittavia arvoja yksinkertaisessa menetelmässä on liittimen leikkausvoimakestävyys. Kipsilevyvalmistajat antavat levy- ja liittimikohtaisen leikkausvoimakestävyyden, joka on joko käyttö- tai murtorajatilan arvo. Yleisessä menetelmässä tarvittavia arvoja ovat liukumoduuli, liittimen siirtymäkerroin sekä kiinnitystapakertoimet. Kuvassa 9 on esitettyinä voimien jakautuminen seinälohkon osissa.

Käytettäessä muita kuin puukuitulevyjä mitoitetaan jäykistys levyvalmistajien tyyppihyväksytyjen ohjeiden mukaan (Puuinfo, 2020a, s. 41). Puukuitulevyjen mitoitus voidaan toteuttaa EC5 mukaan. Huokoisilla puukuitulevyillä yleinen mitoitusmenetelmä ei ole mahdollinen, koska levyille ei ole ilmoitettu liukumoduulia.

#### 4.3.1 Yksinkertaistettu menetelmä

Yksinkertaistetussa menetelmässä lasketaan seinän vaakaleikkauskestävyyden mitoitusarvo (RIL, 2017a, s. 157). Seinälohkoa rasittava vaakaleikkauskestävyyden  $F_{i,v,RD}$  mitoitusarvo saadaan laskettua kaavalla (13)

$$F_{i,v,RD} = \frac{F_{f,RD} b_i c_i}{s} \quad (13)$$

missä

$F_{f,RD}$  on liittimen leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$b_i$  on seinälohkon leveys

$s$  on liitinväli

Kerroin  $c_i$  saadaan kaavasta (14)

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{kun } b_i \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2b_i}{h} & \text{kun } b_i < \frac{h}{2} \end{cases} \quad (14)$$

missä

$h$  on seinän korkeus

Ulkoiset pystyvoimat  $F_{i,c,Ed}$  ja  $F_{i,t,Ed}$ , jotka on esitetty kuvassa 9, voidaan laskea kaavalla (15)

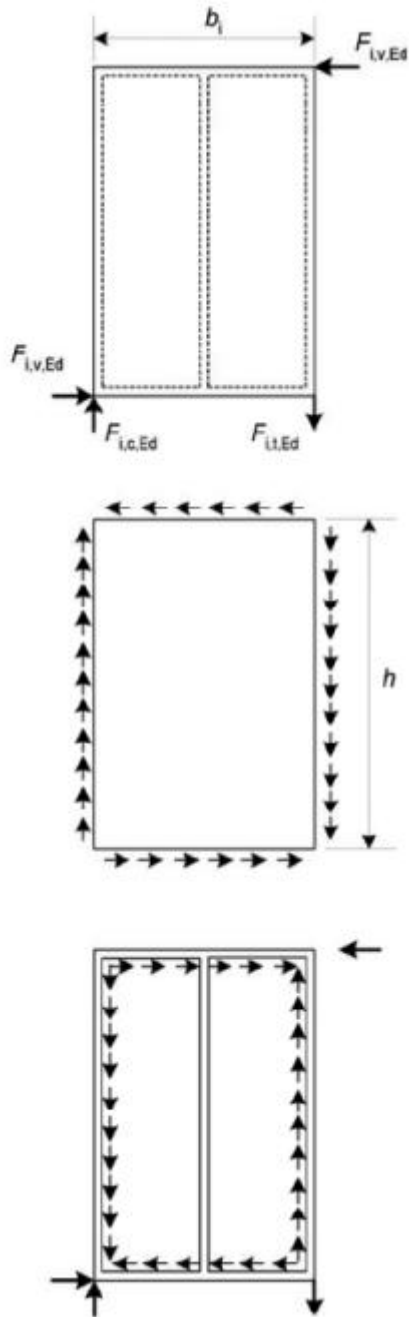
$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i} \quad (15)$$

missä

$h$  on seinän korkeus

$b_i$  on seinälohkon leveys

$F_{i,v,Ed}$  on vaakavoima



Kuva 9. Voimien jakautuminen levylohkossa, levyssä ja puurangassa (Puuinfo, 2020a, s. 42)

Pystyvoimasta  $F_{i,t,Ed}$  saadaan vähentää pysyvää kuormasta johtuva runkotolpan puristusvoima (RIL, 2017a, s. 158). Vähennysarvo saadaan kaavalla (16)

$$F_{i,g,d} = 0,9 G_{kj,int} \quad (16)$$

Pystyvoimat voidaan siirtää viereiselle seinälohkon levytykselle tai ylä- tai alapuoliselle rakenteelle (RIL, 2017a, s. 158). Seinälohko ankkuroidaan jäykin liittimin, kun vetovoima siirretään alapuoliselle rakenteelle. Tällöin tarkistetaan seinätolppien nurjahduskestävyys. Lisäksi tarkistetaan runkotolppien päiden puristuskestävyys syitä vastaan, kun ne tukeutuvat rungon vaakasauvoihin.

Levyn leikkauslommahdus voidaan jättää huomioimatta, mikäli  $b_{net} / t \leq 100$  (RIL, 2017a, s. 159). Runkotolppien vapaaväli on  $b_{net}$  ja  $t$  on levyn paksuus.

### 4.3.2 Yleinen menetelmä

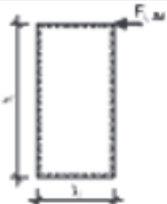


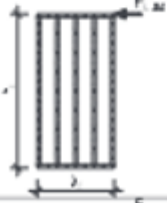
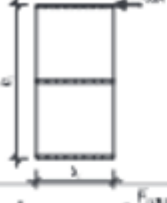
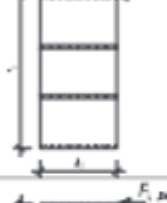
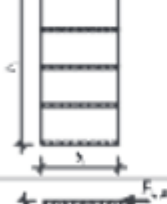
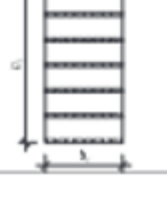
Yleisessä menetelmässä mitoitus toteutetaan materiaaliarvojen ja kiinnitystapakertoimien avulla (RIL, 2017a, s. 160). Kiinnitystapakertoimien laskentakaavat ovat esitettyinä taulukossa 8. Taulukon 8 kaavoissa  $h$  on levyn korkeus ja  $b$  on levyn leveys. Taulukossa 8 on kuvat levyjen kiinnitystavoista pysty- ja vaakakoolatuille rakenteille. Menetelmässä lasketaan jäykkyyskerroin levyille. Jäykkyyskerroin lasketaan kaavalla (17) (RIL, 2017a, s. 159)

$$C_{i,v} = \frac{1}{\beta_i \cdot \frac{s_i \cdot h_i^2}{K_{ser,i} \cdot b_i^3} + \frac{h_i}{b_i \cdot G_{mean,i} \cdot t_i}} \quad (17)$$

missä

- $\beta_i$  on taulukosta 8 saatava kiinnitystapakerroin
- $s_i$  on liitinjako
- $h_i$  on levyn korkeus
- $b_i$  on levyn leveys
- $t_i$  on levyn paksuus
- $G_{mean,i}$  on levyn liukumoduuli
- $K_{ser,i}$  on liittimen siirtymäkerroin

Taulukko 8. Kiinnitystapakertoimet (RIL, 2017a, s. 161)

Nro	Kiinnitystapa	$\gamma$ -kerroin	$\beta$ -kerroin
1		$\sqrt{\frac{9}{\left(3+\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h}+3\right)^2}}$	$\frac{6}{3\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1+3\left(\frac{h}{b}\right)}$
2		$\sqrt{\frac{4}{\left(2+\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h}+3\right)^2}}$	$\frac{4}{2\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1+3\left(\frac{h}{b}\right)}$
3		$\sqrt{\frac{9}{\left(3+2\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{81}{\left(3\frac{b}{h}+10\right)^2}}$	$\frac{6}{3\left(\frac{h}{b}\right)^2 + 2\left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{18}{3+10\left(\frac{h}{b}\right)}$
4		$\sqrt{\frac{36}{\left(6+5\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{144}{\left(4\frac{b}{h}+15\right)^2}}$	$\frac{12}{6\left(\frac{h}{b}\right)^2 + 5\left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{24}{4+15\left(\frac{h}{b}\right)}$
5		$\sqrt{4\left(\frac{h}{b}\right)^2 + 1}$	$\frac{2}{\left(\frac{h}{b}\right)^2} + 4$
6		$\sqrt{\frac{9}{4}\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{81}{100}}$	$\frac{9}{5\left(\frac{h}{b}\right)^2} + 3$
7		$\sqrt{\frac{36}{25}\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{16}{25}}$	$\frac{8}{5\left(\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{12}{5}$
8		$\sqrt{\frac{36}{49}\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{81}{196}}$	$\frac{9}{7\left(\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{12}{7}$

Kiinnitystapakertoimien määrittämiseen on esitetty vaihtoehtoinen tapa muun muassa Gyprocin suunnitteluohjeessa liittimien sijaintiin perustuen (Gyproc, 2022, s. 10–11). Laskentatapa perustuu Jarmo Leskelän tekemään lisensiaattityöhön, jossa Leskelä on kehittänyt suunnitteluohjeen puurankaisille rakennuksille, jotka on jäykistetty puulevyin (Leskelä, 2005, Pentin, 2025, s. 30 mukaan). Kaavoilla (18) ja (19) lasketaan kiinnitystapakertoimet  $\gamma_i$  ja  $\beta_i$  Leskelän ohjeeseen perustuen. Kuvassa 10 on esitettyä koordinaatisto levyssä. Tällä tavoin laskettuna kiinnitystapakertoimet eivät kelpaa sellaisinaan, vaan kertoimet on muunnettava oikeaan muotoon. Levyn leikkausvoimakestävyyttä laskettaessa ei kerrointa  $\gamma_i$  tarvitse muuntaa, mutta kestävyys lasketaan kaavalla (20). Opinnäytetyön ohjaaja on johtanut muunnoskaavat kertoimille, jotka lasketaan kaavoilla (21) ja (22).

$$\gamma_i = \sqrt{\left(\frac{x_{max}}{\sum_{i=1}^n x_i^2}\right)^2 + \left(\frac{y_{max}}{\sum_{i=1}^n y_i^2}\right)^2} \quad (18)$$

$$\beta_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^n x_i^2} + \frac{1}{\sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (19)$$

missä

$x_{max}$  on yksittäisen kiinnikkeen x-koordinaatti (B/2) levyn nurkassa

$y_{max}$  on yksittäisen kiinnikkeen y-koordinaatti (H/2) levyn nurkassa

$\sum_{i=1}^n x_i^2$  on n kpl kiinnikkeen x-koordinaattien neliöiden summa

$\sum_{i=1}^n y_i^2$  on n kpl kiinnikkeen y-koordinaattien neliöiden summa

$$F_{i,v,Rd} = \frac{n \cdot F_{f,Rd,i}}{\gamma_i \cdot H} \quad (20)$$

missä

$F_{i,v,Rd}$  on kuormituskestävyys

n on levyjen lukumäärä

$\gamma_i$  kiinnitystapakerroin

H on levyn korkeus

$F_{f,Rd,i}$  on levyn ja liittimen leikkauskestävyys

$$\beta_2 = \frac{b^3}{s} \cdot \frac{m}{n} \cdot \beta_1 \quad (21)$$

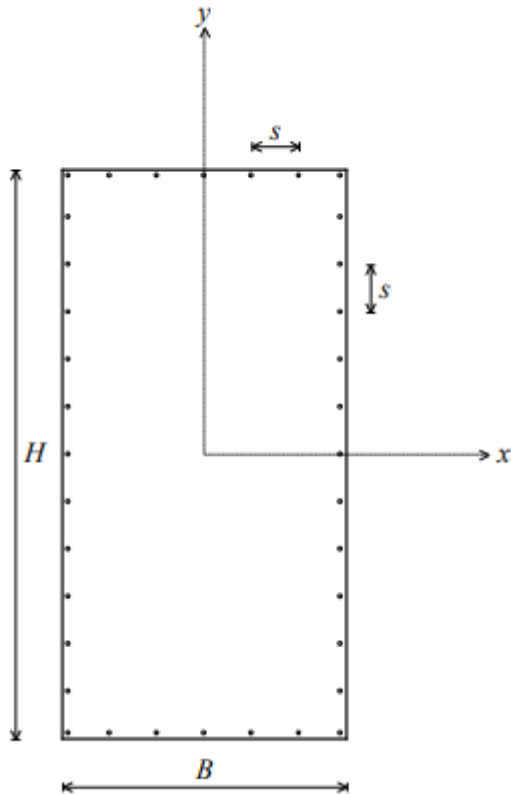
missä

- $\beta_2$  on RIL:n kaavoihin sopiva kiinnitystapakerroin
- $b$  on levyn leveys
- $s$  on liitinjako
- $m$  on levyjen määrä pystysuunnassa
- $n$  on levyjen määrä vaakasuunnassa
- $\beta_1$  on liittimien sijaintiin perustuen laskettu kiinnitystapakerroin

$$\gamma_2 = \frac{hb}{ns} \cdot \gamma_1 \quad (22)$$

missä

- $\gamma_2$  on RIL:n kaavoihin sopiva kiinnitystapakerroin
- $h$  on levyn korkeus
- $b$  on levyn leveys
- $n$  on levyjen lukumäärä
- $s$  on liitinjako
- $\gamma_1$  on liittimien sijaintiin perustuen laskettu kiinnitystapakerroin



Kuva 10. Havainnollistava kuva kiinnitystapakertoimien laskentaan (Gyproc, 2022, s. 11)

Liukumoduulin saa valmistajalta tyypillisimmille rakennuslevyille ja siirtymäkertoimet liittimille on myös ilmoitettu ainakin Knauf Oy:n laskentaohjeessa (Knauf, 2020, s. 14). Seinälohkoa kuormittavan vaakavoima saadaan kaavalla (23) (RIL, 2017a, s. 160)

$$F_{i,v,Ed} = \left( \frac{c_{i,v}}{\sum c_{i,v}} \right) \cdot F_{v,Ed} \quad (23)$$

missä

$F_{v,Ed}$  on levyjonoa kuormittava vaakavoima

$c_{i,v}$  on seinän jäykkyyserroin

$\sum c_{i,v}$  on levyjonossa olevien levyjen jäykkyyserroimien summa

Yksittäisen levyn leikkausvoimakkestävyys lasketaan kaavalla (24) (RIL, 2017a, s. 160)

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd,i} \cdot b_i}{\gamma_i \cdot s_i} \quad (24)$$

missä

- $F_{f,Rd,i}$  on levyn liittimen leikkausvoimakkestävyys
- $\gamma_i$  on kuvasta saatava kiinnitystapakerroin
- $b_i$  on levyn leveys
- $s_i$  on liitinjako

Leikkausvoiman aiheuttama siirtymä yhdelle levyllä saadaan kaavalla (25) (RIL, 2017a, s. 160)

$$\omega_i = \frac{F_{i,v,Ek}}{c_{i,v}} \quad (25)$$

missä

- $F_{i,v,Ek}$  on vaakavoima käyttörajatilassa
- $c_{i,v}$  on levyn jäykkyyskerroin

Ulkoiset pystyvoimat määritetään yleisessä menetelmässä samalla tavalla kuin yksinkertaisessa menetelmässä (RIL, 2017a, s. 163). Vaakakoolatusta seinässä ankkuroitavat pystyvoimat levyn reunalla siirretään runkotolpalle koolausten väliin asennettavilla kapuloilla, ja vaakavoimat siirretään ylä- ja alaohjauspuille.

## 5 ESIMERKKILASKU HYÖDYNTÄEN LASKENTAPOHJAA

### 5.1 Esimerkkikohte

Toimeksiantaja antoi kohteen, johon jäykistyksen mitoittaminen suoritettiin. Talon muoto on haastavampi voimien laskennan kannalta, joten kohde sopi hyvin esimerkkikohteeksi. Jäykistävien seinien rakenne koostuu kahdesta Knauf:n kipsilevystä. Käytettävät levyt ovat normaali 13 mm kipsilevy sisäpuolella ja tuulensuojalevynä 9 mm tuulensuojakipsilevy. Molemmat levyt kiinnitetään ruuveilla.

### 5.2 Tuulikuorma

Excel-laskentapohjassa ensimmäisellä sivulla syötetään tuulikuorman laskentaan vaadittavat arvot. Laskentapohja ei laske tuulen nopeuspaineen arvoa, joten se täytyy laskea itse. Muut syötettävät arvot ovat helposti suoraan mitattavissa kuvasta.

Syötettävät arvot ovat tuulen nopeuspaine, rakennuksen korkeus, rakennuksen leveys, rakennuksen syvyys, seinän korkeus, käytettävän levyn korkeus, kuormitusala sekä voimien etäisyydet akselista. Näiden tietojen perusteella sivulle saadaan tuulikuorman arvot molempiin suuntiin sekä jäykistyslaskennassa huomioon otettava vähimmäisleveys. Kuvassa 11 on esitettyä laskentapohjan ensimmäinen taulukko.

Nopeuspaine (kn/m <sup>2</sup> )	0,55				
Rakennuksen korkeus metreinä	5,17	Seinän korkeus (m)	2,58		
rakennuksen leveys metreinä	14,015	kokonaisen levyn korkeus (mm) SS.	2600		
Rakennuksen syvyys metreinä	9,526	kokonaisen levyn korkeus (mm) PS.	2600		
Hoikkuus sivuseinä (y-akseli)	0,7377809	Sivusuhte d/b	0,6797	kuormitusalue SS.	46,5
Hoikkuus päätyseinä (x-akseli)	1,0854503	Sivusuhte d/b	1,47124	kuormitusalue PS.	25
Voimakerroin cf sivus.	1,4328951				
Voimakerroin cf päätys.	1,2339166				
tuulikuorma sivus.(kn/m <sup>2</sup> )	0,7880923				
tuulikuorma päätys. (kn/m <sup>2</sup> )	0,6786542				
kokonaistuulivoima y-akselin suuntaan (kn) krt. Sivus.	36,646292	mrt.	54,9694		
kokonaistuulivoima x-akselin suuntaan (kn) krt. Päätys.	16,966354	mrt.	25,4495		
Y suuntaisen voiman etäisyys akselista (mm)	6849,5				
X suuntaisen voiman etäisyys akselista (mm)	4605				
Alin jäykistystä lisäävä leveysmitta levyille (mm) SS.	650				
Alin jäykistystä lisäävä leveysmitta levyille (mm) PS.	650				

Kuva 11. Laskentapohjan ensimmäinen taulukko.

Kohteeseen laskettiin maastoluokka 2 mukaan tuulen nopeuspaine. Arvoksi saatiin 0.55 kN/m<sup>2</sup>. Kuormitusalat mitataan arkkitehtikuvista tai lasketaan käsin. Seinän korkeuden ollessa lähellä 2600 mm käytetään sitä levyn korkeutena.

### 5.3 Kiertokeskiön sijainti

Seuraavana tuulikuorman määrittämisen jälkeen syötetään "kiertokeskiön sijainti" -nimiseen taulukkoon, joka on esitetty kuvissa 12 ja 13, käytettävät levyt ja liittinyhdistelmät, jäykistävän lohkon leveys, liitinjako ja jäykistävän lohkon painopisteen sijainti akselistosta. Seinän korkeuden laskentapohja hakee edellisestä taulukosta. Tiedot syötetään seinäkohtaisesti omiin osioihinsa. Levy ja liittinyhdistelmät valitaan alavetovalikosta, eikä niitä tarvitse itse määrittää. Laskentapohja laskee automaattisesti tietojen perusteella lohkon hyötyleveyden, seinäkokonaisuuden vajaan levyn leveyden, jäykkyyskertoimet, kiertokeskiön sijainnin ja tuulikuorman etäisyyden kiertokeskiöstä.

Seinät jaetaan jäykistäviin seinälohkoihin siten, että ne ovat umpinaisia ja täyttävät vaaditun vähimmäisleveyden. Seinien painopisteen etäisyys mitataan vaakaan menevästä seinästä Y-akselistosta, ja vastaavasti pystyseiniä painopisteen etäisyys mitataan X-akselistosta. Talon sijoittamisella koordinaatistoon ei ole laskennan kannalta väliä, mutta laskentapohjassa olevan termistön kannalta rakennus on sijoitettava siten, että sivuseinät menevät vaakasuuntaan ja päätyseinät pystysuuntaan. Tällöin myös tuulikuorma menee oikeaa seinää kohti.

Tulokset jäykkyyskertoimista ja kiertokeskiöstä ovat nähtävillä helposti suunnittelijalle, jolloin arvojen tarkistus on helppoa. Tällöin pystytään laskentapohjassa ilmeneviä vikoja korjaamaan ja huomaamaan helposti, vaikka juuri näitä arvoja ei tarvitsekaan tarkastella tarkemmin mitoituksen kannalta ohjelmaa käytettäessä.

SS. Lohkotunnus	TSL	Liitinjako	Sisälevy	Liitinjako	korkeus	Leveys	Tehollinen Leveys	NS. Vajaan levyn leveys	Seinän pp. Y-koord.	Cv
SS1	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	750	750	750	1807	635,977
SS2	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	740	740	740	0	624,771
SS3	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	1869	1869	669	0	1737,09
SS4	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	742	742	742	0	627,011
SS5	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	885	885	885	0	796,198
SS6	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	975	975	975	9216	908,003
SS7	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	3722	3600	0	9216	3574,53
SS8	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	1367	1200	0	9216	1191,51
SS9	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	3059	3059	659	9216	2917,51
SS10	TYHJÄ		TYHJÄ		2600		0	0		0

Kuva 12. Sivuseinien tiedot.

PS. Lohkotunnus	TSL	Liitinjako	Sisälevy	Liitinjako	korkeus	Leveys	Tehollinen Leveys	NS. Vajaan levyn leveys	Seinän pp x-koord.	Cv	Kiertokeskiö
PS1	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	7726	7200	0	0	7149,0597	Y
PS2	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	2116	2116	916	2242	2014,3672	6173,1686
PS3	R(3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R(3,9x32) + Knauf KN 13	150	2600	8285	8285	1085	13699	8173,4198	X
PS4	TYHJÄ		TYHJÄ		2600		0	0		0	6718,8625
PS5	TYHJÄ		TYHJÄ		2600		0	0		0	eY
PS6	TYHJÄ		TYHJÄ		2600		0	0		0	1568,1686
PS7	TYHJÄ		TYHJÄ		2600		0	0		0	eX
PS8	TYHJÄ		TYHJÄ		2600		0	0		0	130,63752
PS9	TYHJÄ		TYHJÄ		2600		0	0		0	

Kuva 13. Päätyseinien tiedot.

## 5.4 Tulokset

Kun ”kiertokeskiön sijainti” -taulukoon on syötetty arvot ja valittu levy ja liitinyhdistelmä, saa laskentapohjasta tulokset sivuseinän ja päätyseinän lohkoille. Laskentapohja ilmoittaa kuvassa 14 esitettävän sivuseinän ja kuvassa 15 esitettävän päätyseinän lohkojen tulokset omiin taulukoihinsa, koska niiden tarkastelu on tällä tavoin helpompaa. Tulossivuille ei tarvitse tehdä mitään, vaan niihin tiedot haetaan muista taulukoista.

Tulostaulukot ilmoittavat lohkolle tulevan kuormituksen, tuulensuojalevyn kestävyys, sisäpuolen levytyksen kestävyys, levyjen yhteenlasketun kestävyys ja kuormituskapasiteetin. Laskentapohja ilmoittaa kapasiteettisoluun käyttöasteen, ja sen ylittyessä solu muuttuu punaiseksi.

Vertailun vuoksi luotiin kaksi muuten samanlaista laskentapohjaa, mutta toisessa pohjassa laskennassa käytetään kiinnitystapakertoimia liittimien sijaintiin perustuen, ja toinen ohjelma laskee täysin Suomen Rakennusinsinöörien liiton RIL-kaavoihin perustuen. Molemmat pohjat antavat tuloksiksi, että jäykistyskapasiteetti on riittävä 150 mm liitinjaoilla. RIL:n kaavoilla ja ohjeilla käyttöasteen prosenttiluvusta tuli pienempi.

SS. Lohkotunnus	TSL	Liitinjako	Sisälevy	Liitinjako	Voimat N	Kestävyys TSL	Kestävyys Sisäl.	Kestävyys	Kapasiteetti
SS 1	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	1305,3244	1995,957658	1761,13911	2876,527213	45 %
SS 2	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	1307,3304	1973,116814	1740,985424	2843,609526	46 %
SS 3	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	3634,8454	3620,93788	4524,790332	6335,259272	57 %
SS 4	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	1312,0184	1977,699495	1745,028966	2850,213979	46 %
SS 5	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	1666,0403	2364,629938	2086,438181	3407,849029	49 %
SS 6	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	1714,6405	2638,109306	2327,743506	3801,981059	45 %
SS 7	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	6750,0127	5445,556486	8794,438213	11517,21646	59 %
SS 8	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	2250,0042	1815,185495	2931,479404	3839,072152	59 %
SS 9	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	5509,3146	5411,824763	7434,829785	10140,74217	54 %

Kuva 14. Sivuseinien tulokset.

PS. Lohkotunnus	TSL	Liitinjako	Sisälevy	Liitinjako	Voimat N	Kestävyys TSL	Kestävyys Sisäl.	Kestävyys	Kapasiteetti
PS 1	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	22475,9	19934,05995	17588,87643	28728,49816	78 %
PS 2	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	6350,95	5666,209439	4999,596563	8166,00772	78 %
PS 3	R (3,9x32) + Knauf KXT 9	150	R (3,9x32) + Knauf KN 13	150	26310,4	22693,1025	20023,32574	32704,76537	80 %
PS 4	TYHJÄ	0	TYHJÄ	0	0	0	0	0	0 %
PS 5	TYHJÄ	0	TYHJÄ	0	0	0	0	0	0 %
PS 6	TYHJÄ	0	TYHJÄ	0	0	0	0	0	0 %
PS 7	TYHJÄ	0	TYHJÄ	0	0	0	0	0	0 %

Kuva 15. Päätöseinien tulokset.

Laskentapohjassa ei ole puulevyjä, koska toimeksiantaja käyttää yleensä kohteissaan kipsilevyjä tai huokoisia puukuitulevyjä rakennellevyinä. Laskentapohja mitoittaa jäykistyksen perustuen yleiseen menetelmään.

## 6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli perehtyä levyjäykistyksen laskentaan ja laatia toimeksiantajalle Excel-pohjainen laskentapohja levyjäykistyksen laskennan nopeuttamiseksi. Työssä esiteltiin tuulikuorman laskentaa ja levyjäykistyksen mitoitusmenetelmät.

Aihe oli opinnäytetyöntekijälle ennestään vieras, ja sen myötä kiinnostava. Opinnäytetyöntekijä oppi työn myötä mitoittamaan seinien vaadittavan jäykistyskapasiteetin levyjäykisteisessä rakenteessa. Työn tuloksena syntyi toimeksiantajalle laskentapohja, joka on helppokäyttöinen ja soveltuu jokaiseen kohteeseen. Laskentapohja nopeuttaa huomattavasti jäykistyksen laskentaa käsinlaskentaan verrattuna. Laskentapohjaa voidaan kehittää sitä mukaa, kun tulee esiin puuttuvia levy- ja liitinyhdistelmiä, tai siitä halutaan saada helppokäyttöisempi. Laskentapohja on kehitetty siten, että sillä voi laskea tarvittavan jäykistyskapasiteetin symmetrisille ja epäsymmetrisille rakennuksille.

Opinnäytetyöntekijän mielestä jäykistyksen voi toteuttaa kantavilla ulkoseinillä monissa yksikerroksisissa puupientaloissa, kun käytetään kipsilevyjä rakennelevyinä ja aukkopinta-ala on kohtuullinen. Tuulesta syntyvät kuormat eivät ole suuria pienemmissä taloissa, mutta kipsilevyillä toteutetuissa rakenteissa on siitä huolimatta syytä tarkastaa liitinjon riittävyys. Kapasiteetti on syytä tarkastaa, kun käytetään muita rakennelevyjä kipsilevyjen sijasta. Rakennuksen muunneltavuuden säilyttämisen vuoksi on opinnäytetyöntekijän mielestä parempi pyrkiä toteuttamaan jäykistys ulkoseinillä.

## LÄHTEET

- Berger, L., & Bööck, N. (28.6.2023). *Ainoastaan puuta – Suomalaisen puurakentamisen historiaa*. Archinfo. <https://www.archinfo.fi/artikkelit/ainoastaan-puuta-suomalaisen-puurakentamisen-historiaa>
- Gyproc. (29.8.2022). *Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje*. <https://www.gyproc.fi/documents/sertifikaatti/gyproc-levyjaykistys-suunnitteluohje-082022.pdf>
- Knauf Oy. (26.10.2020). *Laskentaohje Knauf Oy:n kipsilevyjen levyjäykistykselle Eurokoodi 5 mukaan*. <https://knauf.com/api/download-center/v1/assets/d413e449-9d21-4072-ad86-5a5219f15f5f?download=true>
- Pentti, P. (2025). *Levyseinän jäykistyslaskenta FEM-ohjelmalla* [ylempi AMK-opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2025052817219>
- Puuinfo. (14.7.2020c). *Seinien jäykistys*. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/seinien-jaykistys/>
- Puuinfo. (2020a). *Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje: Eurokoodi 5* (5. p.). <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje/>
- Puuinfo. (9.7.2020b). *Rakennuksen jäykistys*. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/rakennuksen-jaykistys/>
- Rakennustieto. (2020). *Arkkitehtisuunnittelun tehtäväluettelo ARK18* (RT 103253).
- Suomen rakennusinsinöörin liitto (RIL). (2017b). *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat*. (RIL 201-1-2017)
- Suomen rakennusinsinöörin RIL. (2017a). *Puurakenteiden suunnitteluohje*. (RIL 205-1-2017)
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2012). *Timber structures. Test methods. Racking strength and stiffness of timber frame wall panels* (SFS-EN 594).
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2014). *Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu: Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt* (3. p.); *Eurocode 5: Design of timber structures: Part 1-1: General – common rules and rules for buildings* (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC).

Teknologian tutkimuskeskus VTT. 2006. *Puurakenteiden jäykistyssuunnittelun ohje*.  
[https://sarjaweb.vtt.fi/julkaisut/muut/2006/jaykistys\\_2006.pdf](https://sarjaweb.vtt.fi/julkaisut/muut/2006/jaykistys_2006.pdf)