

Lari Lehto

Excel-sovellus jäykistysseinän mitoitukseen

Excel-sovellus jäykistysseinän mitoitukseen

Lari Lehto
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Rakennetekniikka

Tekijä(t): Lari Lehto

Opinnäytetyön nimi: Excel-sovellus jäykistysseinän mitoitukseen

Title of thesis: Stiffening Wall Excel Design Software

Työn ohjaaja(t): Pekka Kilpinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 19 + 2 liitettä

Pientalon jäykistys toteutetaan yhä useammin levyjäykisteisillä ulkoseinä- ja yläpohjarakenteilla. Jäykistävinä levyinä toimivat rakenteesta riippuen tuulensuoja- ja sisäverhouslevyt. Voimassa olevat suunnitteluohjeet puurakenteille eivät kuitenkaan käsittele jäykistyksen mitoitusta riittävän tarkasti.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Excel-sovellus pientalon jäykistävien seinien mitoitukseen yrityksen käyttämillä levytyypeillä ja kiinnikkeillä. Tarkoituksena oli suunnitella helppokäyttöinen, helposti päivitettävä ja jäykistysseinien tehokkaaseen tarkasteluun sopiva ohjelma, jolla suunnittelija näkee tarvittavat jäykistyslevyt, kiinnittimet ja kiinnitinjat syöttämällä ohjelmaan tarvittavat lähtötiedot.

Työssä lähdettiin liikkeelle tutustumalla aihetta käsitteleviin artikkeleihin, määräyksiin, standardeihin sekä ohjeisiin. Excel-sovellusta varten tulevilta käyttäjiltä kysyttiin mielipiteitä ohjelman rakenteesta ja käytötavasta. Työ tehtiin suurimaksi osaksi RIL 205-1-2017 -julkaisun, levyvalmistajien suunnitteluohjeiden ja tyyppihyväksyntöjen mukaista ohjeistusta noudattaen.

Opinnäytetyöstä saatiin suunniteltua toimiva, käyttökelpoinen ja tehokas sovellus jäykistysseinien mitoitukseen. Sovelluksesta saatavat jäykistysseinän kapasiteetit ja jäykistyslevyjen kiinnitykseen tarvittavat kiinnikejaot nopeuttavat suunnittelijan työskentelyä kohteen jäykistystarkastelussa. Excel-sovellus vähentää virheen mahdollisuutta ja tuo kustannussäästöjä yritykselle suunnittelun tehokkuuden lisääntyessä.

Asiasanat: jäykistys, levyjäykistys, Excel

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author(s): Lari Lehto

Title of thesis: Stiffening Wall Excel Design Software

Supervisor(s): Pekka Kilpinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Pages: 19 + 2 appendices

Increasingly, the stiffening of a detached houses is carried out with platerreinforced exterior wall and top floor constructions. Existing wood structure design guidelines do not handle stiffening dimensioning with enough precision.

The objective of this thesis was to design an Excel program for measuring the stiffening walls of detached houses with the panel types and fasteners used by a company. The purpose of this work was to design an easy-to-use, easily updatable, and a suitable program for effective surveying of stiffening walls with which the designer might find the needed stiffening panels, fasteners and fastening dividers by inputting the needed data.

The work was begun by becoming acquainted with texts, regulations, standards, and instructions of this field. For the Excel program, the upcoming users were asked for their opinions on the programs structure and use. Most of this work was done in accordance with the guidelines of the RIL 205-1-2017 publication and panel manufacturers design guidelines and type approvals.

In the thesis, serviceable and effective program for the measurement of stiffening walls was designed. The information provided by the program on the capacity of the stiffening walls and the needed fastening dividers for the fastening of stiffening panels, speeds up the designers planning and reduces the possibility of mistakes.

Keywords: stiffening, panel stiffening, Excel

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 PIENTALON JÄYKISTYS	7
2.1 Rakennuksen jäykistys	7
2.1.1 Jäykistyksen kuvaus	7
2.1.2 Levyjäykistyksen toiminta	8
2.2 Kuormat	9
2.2.1 Vaakakuormat	9
2.2.2 Lisävaakakuormat	9
3 JÄYKISTÄVÄN SEINÄLINJAN TOIMINTA JA MITOITUS	11
3.1 Suunnittelun lähtökohdat	11
3.2 Vaakakuormien laskenta	11
3.3 Levyjäykistyksen mitoitus	12
3.3.1 Levyjäykistys vanerilevyllä	13
3.3.2 Levyjäykistys Gyproc GTS 9 -levyllä	15
4 JÄYKISTYSSOVELLUKSEN ANALYSOINTI	17
4.1 Tulosten vertailu esimerkkilaskuilla	17
4.2 Excel-sovelluksen rakenne	18
5 YHTEENVETO	19
LÄHTEET	20
LIITTEET	
Liite 1 Jäykistyslohkon esimerkkilaskelma 1	
Liite 2 Jäykistyslohkon esimerkkilaskelma 2	

1 JOHDANTO

Vuosien saatossa kysyntä monimuotoisille ja tilavammille pientaloille on kasvanut. Sisätilan valoisuuden ja näyttävyyden takaamiseksi ovat ajan muotiin tulleet suurehkot ikkunakoot. Mitä monimuotoisempi ja -aukkoisempi pientalon vaippa on, sitä tärkeämpää on tarkastella rakennesuunnittelussa rakennusrungon jäykistämistä vaakakuormia vastaan. Yleisimmin pientalon jäykistys toteutetaan levyjäykisteisillä ulkoseinä- ja yläpohjarakenteilla. Jäykistävinä levyinä toimivat rakenteesta riippuen tuulensuojalevyt ja sisäverhouslevyt. Jäykistyksessä voidaan huomioida myös palo- tai ääniteknisistä vaatimuksista laitettavat lisälevykerrokset. Rungon jäykistämiseen soveltuvia levyjä ovat vaneri-, lastu-, kuitu- ja yleisesti käytetyt kipsilevyt.

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella helppokäyttöinen, helposti päivitettävä ja jäykistysseinien tehokkaaseen tarkasteluun sopiva sovellus, jolla suunnittelija näkee tarvittavat jäykistyslevyt, kiinnittimet ja kiinnitinjat syöttämällä ohjelmaan tarvittavat alkutiedot. Nähdessään ohjelman avulla tarvittavat jäykistyslevyjen leveydet ja lukumäärät suunnittelija pystyy kommentoimaan arkkitehdin suunnittelemissa isoja aukotuksia ja ikkunasijainteja jo alkuvaiheessa. Excel-sovelluksen tuoma tehokkuus ja virheen minimointi vähentävät kustannuksia ja epävarmuutta suunnittelussa.

Työn aluksi kerätään tietoa käytettävien levytyyppien ja liittimien ominaisuuksista. Lisäksi koostetaan laskentakaavat kiinnitystavoille ja seinien jäykistysmitoitukselle. Laskentavaiheessa määritetään jäykistysseinien kestävyys jäykistysseinää kuormittavaa vaakavoimaa vastaan RIL 205-1-2017 ja levyvalmistajien ohjeiden mukaisesti. Lopuksi todennetaan Excel-sovelluksen oikeellisuus esimerkiksi vertailemalla.

Työn tilaajana toiminut Siklatalot Oy on yksi Suomen suurimmista pientalotoimittajista. Sikla-konserni on myös erikoistunut asunto- ja toimitilatutuotannon lisäksi koulujen sekä hoiva- ja päiväkotien rakentamiseen. Konserniin kuuluu myös muita tytäryhtiöitä palveleva taloelementtitehdas, Siklaelementit Oy.

2 PIENTALON JÄYKISTYS

Jäykistysuunnittelu toteutetaan usein puutteellisesti ja epätarkasti nykyisten yksipuolisten ja vaikeaselkoisten suunnitteluohjeiden vuoksi. Kokonaiskuvan hahmottamiseksi luvussa 2.1 käydään asiaa läpi tarkemmin.

2.1 Rakennuksen jäykistys

Rakennuksen jäykistys käsittää koko rakennuksen jäykistyksen ja yksittäisten komponenttien muodostaman kokonaisuuden sisäisen jäykistyksen. Rakennejärjestelmän tulee kestää ulkoisten vaakakuormien rasitukset ja ulkoisista pystykuormista aiheutuvien vaakakuormien aiheuttamat rasitukset. (RIL 244-2007. 2007, 10.)

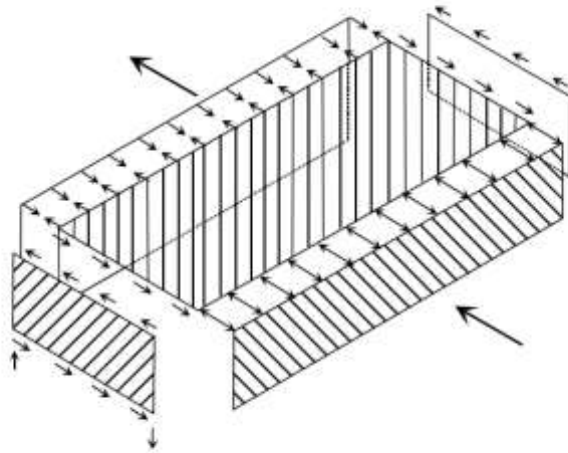
Yksittäisten rakennusosien tulee kestää rakenteen sisäisistä voimista syntyvät rasitukset. Tällaisia rasituksia voi aiheutua pystyrakenteen epäkeskisyydestä tai rakenteen poikkeamisesta ihannemallistaan. Näitä voimia ei tarvitse siirtää perustuksille, vaan riittää, että ne on huomioitu rakenteen stabiiliusmitoituksessa. (RIL 244-2007. 2007, 10.)

2.1.1 Jäykistyksen kuvaus

Koko rakennuksen jäykistyksessä siirretään vaakavoimat rakenteiden kautta perustuksille. Rakennuksen sivuseinään vaikuttavasta tuulikuormasta ajatellaan siirrettävän puolet perustuksille ja puolet yläpohjatason vaakarakenteelle. Puolet sivuseinästä ja koko kattoon vaikuttava voima siirretään vaakatasorakenteen kautta päätyseinien yläreunoille. Päätyseinän yläreunasta voimat siirtyvät päädyn jäykistysrakenteiden kautta perustuksille. Vaakatasorakenne toimii palkkirakenteena, jonka korkeus on rungon syvyys ja pituus lappeen pituus. Päädyt toimivat jäykistysseininä. Päätyjäykiste kiertyy jäykkänä levynä kulmansa ympäri, ellei sitä ole ankkuroitu perustukseen tai pystykuorma jää niin pieneksi, ettei se estä kiertymistä. (RIL 244-2007. 2007, 11.)

Rakennuksen päätyyn vaikuttavasta vaakakuormasta ajatellaan siirrettävän puolet perustuksille ja puolet yläpohjatason vaakarakenteelle. Kaikki vaakarakenteen

yläpuolelle jäävästä kuormasta siirretään jäykistävän vaakarakenteen kautta sivuseinien yläreunaan. Yläreunasta kuormat siirretään kummankin sivuseinän päihin sijoitettavan jäykistävän rakenteen kautta perustuksille. (RIL 244-2007. 2007, 12.) (Kuva 1.)



KUVA 1. Periaate vaakakuormien siirtämisestä (Puurakenteiden jäykistysuunnitteluohje. 2006, 1)

2.1.2 Levyjäykistyksen toiminta

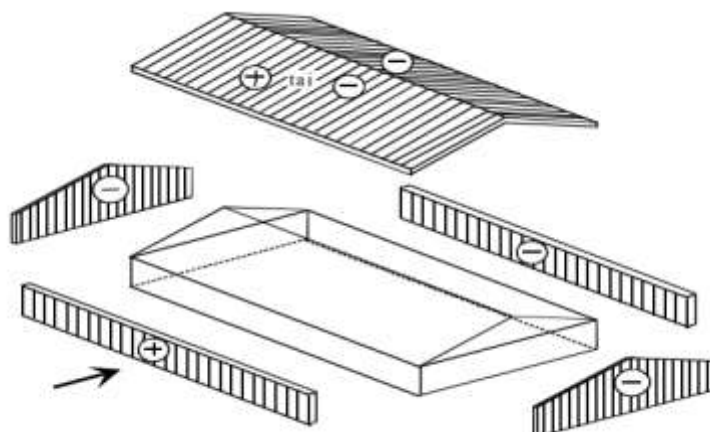
Levyjäykistys koostuu pystyssä olevista runkotolpista, ala- ja yläjuoksuista sekä puu- tai kartonkipintaisista puu- tai kipsilevyistä. Rakenteeseen muodostuvat leikkausvoimat siirretään levyn reunoihin sijoitettujen naula- tai ruuviliittimien avulla. Rakenteen nouseminen irti perustuksista estetään ankkuroimalla rakenne suuremman kapasiteetin omaavalla kiinnikkeellä kuin ankkurointivoiman suuruus on. Tavallisimmin käytettyjä levy materiaaleja ovat hyvän lujuutensa ja jäykkyytensä vuoksi kuitulevyt, OSB-levyt, vanerit ja kipsilevyt. (RIL 244-2007. 2007, 20.)

2.2 Kuormat

2.2.1 Vaakakuormat

Vaakakuormat koostuvat ulkoisista vaakakuormista ja pystykuormista aiheutuvista vaakakuormista. Ulkoisia vaakakuormia pientaloissa on tuulikuorma ja lumesta sekä katon rakenteiden painosta aiheutuvat vaakakuormat. (RIL 244-2007. 2007, 13.)

Vakavuustarkastelussa huomioon otettavia tuulikuormia ovat seiniin ja vesikattoon kohdistuvat tuulikuormat. Tuulenpuoleiselle seinälle ja katon lappeelle tulee painetta ja vastakkaiselle suojan puoleiselle seinälle imua ja lappeelle kattokaltevuudesta riippuen joko imua tai painetta. Kokonaistuulikuorma on paineen ja imun summa. (RIL 244-2007. 2007, 13.) (Kuva 2.)



KUVA 2. Rakennukseen kohdistuvat tuulikuormat (Puurakenteiden jäykistys-suunnitteluohje. 2006, 6)

2.2.2 Lisävaakakuormat

Pystyrakenteiden oletetusta vinoudesta tai kuormituksen epäedullisemmasta vaikutussuunnasta aiheutuvat lisävaakavoimat voidaan laskea kaavalla 1 (RIL 144-2002. 2002, 135.).

$$H_L = \frac{B}{L} \frac{P_d}{150} \geq \frac{P_d}{250}$$

KAAVA 1

H_L = lisävaakavoima rakennuksen pitemmässä suunnassa

P_d = pystykuorman laskenta-arvo

B = rakennuksen leveys

L = rakennuksen pituus

3 JÄYKISTÄVÄN SEINÄLINJAN TOIMINTA JA MITOITUS

3.1 Suunnittelun lähtökohdat

Vaakasuuntainen tuulikuorma q jakaantuu kuormina w jäykistäville ylä- ja välipohjille sekä perustuksille. Yläpohjan kuorma w jakaantuu kuormina F alapuolisille tuulen suuntaisille jäykistäville seinille ja niiden kautta edelleen perustukselle. Yksinkertaisesti ilmaistuna tuulensuuntaiset jäykistävät seinät mitoitetaan yläpohjan tukireaktioille, kun yläpohja toimii yksiaukkoisen palkin tavoin. Vaakuormat siirtyvät jäykistäviltä seiniltä toisille ankkuroinnin kautta. Jäykistävien seinien yläreunoihin kohdistuvista voimista F aiheutuu seinien alareunoihin vaakasuuntaiset ankkurointivoimat F sekä sivureunoihin kohdistuvat pystysuuntaiset ankkurointivoimat N . (Leskelä 2017, 3.)

Murtorajatilassa tarkistetaan levyn liittimien leikkauslujuus, levyn lommahduskestävyys, seinän ankkurointikestävyys ja vaakakuormien aiheuttamat pystytolppien lisäpuristusvoimat. Käyttörajatilassa tarkastellaan seinän yläpään vaakasiirtymää seinän alareunan suhteen. (Pieviläinen 2005, 18.)

3.2 Vaakakuormien laskenta

Pientalon jäykistykseen mitoituksessa jäykistävät seinät mitoitetaan niihin kohdistuvia vaakakuormia vastaan. Vaakakuormat määräytyvät yksittäiselle seinälle jäykistysseinien jäykkyyden ja sijainnin mukaan. Pientaloon vaikuttavat vaakakuormat ovat pääsääntöisesti tuulikuormia. Kokonaistuulikuorma lasketaan kokonaisvoimakertoimen tai pintapaineiden avulla Eurokoodiin ja kansallisiin liitteisiin perustuvien ohjeiden RIL 144-2002 Rakenteiden kuormitusohjeet ja RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohjeen mukaan. (RIL 205-1-2017. 2017, 41-45.)

Rakennukseen kohdistuvaa tuulta vastaan jäykistävien rakenteiden mitoituksessa voidaan Suomessa tavanomaisissa rakennuksissa käyttää yksinkertaistettua menettelyä. Tuulikuorman ominaisarvon suuruuteen vaikuttavat maastoluokan mukaan määritetty rakenteen korkeutta vastaava tuulen nopeuspaine, rakenteen voimakkeroin sekä tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala.

Rakennuksen vaakasuuntainen kokonaistuulikuorma voidaan laskea kaavalla 2, kun rakennuksen korkeus on enintään 50 metriä ja pienempi kuin sen leveys ($h < b$). (RIL 205-1-2017. 2017, 41-43.)

$$F_{w,k} = c_f * q_k(h) * A_{ref} \quad \text{KAAVA 2}$$

$F_{w,k}$ = kokonaistuulikuorman ominaisarvo

c_f = rakenteen voimakerroin RIL 205-1-2017 taulukosta 2.9S

$q_k(h)$ = rakennuksen korkeutta vastaava nopeuspaine RIL 205-1-2017 kuvasta 2.6S

A_{ref} = rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala ($b * h$)

Vaakasuuntainen kokonaistuulikuorma jakaantuu jäykistäville ylä- ja välipohjille kuormana w , joka lasketaan kaavalla 3.

$$W_k = c_f * q_k(h) * (a + h_1/2) \quad \text{KAAVA 3}$$

a = yläpohjatason yläpuolisen osan korkeus

h_1 = yläpohjatason alapuolisen osan korkeus

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo $F_{w,k}$ ja ylä- ja välipohjalle jakautuva viiva-kuorma W_k saadaan muutettua mitoitusarvoiksi kertomalla ominaisarvot luvuilla $1,5 * K_{FI}$, missä 1,5 on muuttuvan kuorman varmuuskerroin ja K_{FI} on RIL 205-1-2017:n taulukon 2.1 mukainen seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin.

3.3 Levyjäykistykseen mitoitus

Käytettäessä jäykistelevyinä vaneria voidaan vanerilevyt mitoittaa RIL 205-1-2017:n mukaan. Jos käytetään jäykistämiseen huokoisia kuitulevyjä, kipsilevyjä tai muita kuin puulevyjä, mitoitetaan jäykisteseinät kyseisen levyn tyyppihyväksynnässä ilmaistujen ohjeiden mukaisesti. Tässä opinnäytetyössä käytetään jäykistelevyinä vanerilevyä sekä Gyproc Oy:n tuulensuojakipsilevyä. (RIL 205-1-2017. 2017, 156.)

3.3.1 Levyjäykistys vanerilevyillä

Vanerilevyillä jäykistäessä voidaan mitoitus tehdä RIL 205-1-2017 -ohjeiden mukaan. Ohjeissa mainitun yksinkertaistetun analyysin sijaan voi käyttää yleistä mitoitusmenetelmää, jossa huomioidaan jäykistävän levyn kiinnitystapa. Tätä menetelmää voidaan käyttää, jos jäykistysseinät on ankkuroitu perustuksiin kunkin osaseinän päästä tai vähintään kunkin seinälohkon kohdalta. Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo voidaan määrittää yleisellä mitoitusmenetelmällä, kun jäykisteseinässä käytetään yhtä tai useampaa jäykistelohkoa, joissa oleva levy on kiinnitetty toiselle puolelle runkoa. Liitinjaon on oltava vakio levyn reunoilla ja jokaisen levyn leveys vähintään $h/4$. (RIL 205-1-2017. 2017, 156-159.)

Yksittäisen levyn jäykkyyserroin määritetään kaavalla 4.

$$C_{i,v} = 1/(\beta_i \cdot (s_i \cdot h^2) / (K_{ser} \cdot b_i^3) + h_i / (b_i \cdot G_{mean} \cdot t_i)) \quad \text{KAAVA 4}$$

β_i = RIL 205-1-2017 kuvasta 9.13S saatava kerroin

s_i = liitinjako

h_i = levyn korkeus

b_i = levyn leveys

t_i = levyn paksuus

$G_{mean,i}$ = levyn liukumoduuli (paneelileikkaus)

$K_{ser,i}$ = liittimen siirtymäkerroin

Yksittäisen levyn vaakavoima määritetään kaavalla 5 (RIL 205-1-2017. 2017, 160).

$$F_{i,v,Ed} = (C_{i,v} \sqrt{\sum C_{i,v}}) \cdot F_{v,Ed} \quad \text{KAAVA 5}$$

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

$C_{i,v}$ = yksittäisen levyn jäykkyyserroin

$\sum C_{i,v}$ = levyjonossa olevien levyjen jäykkyykskertoimien summa

Yksittäistä levyä rasittavaa vaakavoimaa $F_{i,v,Ed}$ vastaava leikkausvoimakestävyys määritetään kaavalla 6.

$$F_{i,v,Rd} = (F_{f,Rd,i} * b_i) / (\gamma_i * s_i) \quad \text{KAAVA 6}$$

$F_{f,Rd,i}$ = levyn liittimen leikkausvoimakestävyden mitoitusarvo kaavasta 8

b_i = levyn leveys

γ_i = RIL 205-1-2017 kuvasta 9.13S saatava kerroin

s_i = liitinjako

Vanerilevyä kiinnitettäessä käytetään tässä opinnäytetyössä liittiminä nauvoja. Naulan leikkausvoimakestävyden ominaisarvo kiinnitettäessä havuvaneria saadaan kaavalla 7, kun naulan tartuntapituus puutavaraan on vähintään $12 * d$, jossa d on naulan halkaisija. (RIL 205-1-2017. 2017, 112.)

$$F_{f,Rk} = 120 * d^{1,7} \quad \text{KAAVA 7}$$

Liittimen leikkausvoimakestävyden ominaisarvosta saadaan mitoitusarvo kaavalla 8.

$$F_{f,Rd} = k_{mod} / \gamma_M * k_p * F_{f,Rk} * k_t \text{ tai } k_e \quad \text{KAAVA 8}$$

k_{mod} = liitospuun aikavaikutuskerroin RIL-205-1-2017 taulukosta 3.1

γ_M = liitospuun materiaaliosavarmuusluku RIL 205-1-2017 taulukosta 2.12-FI

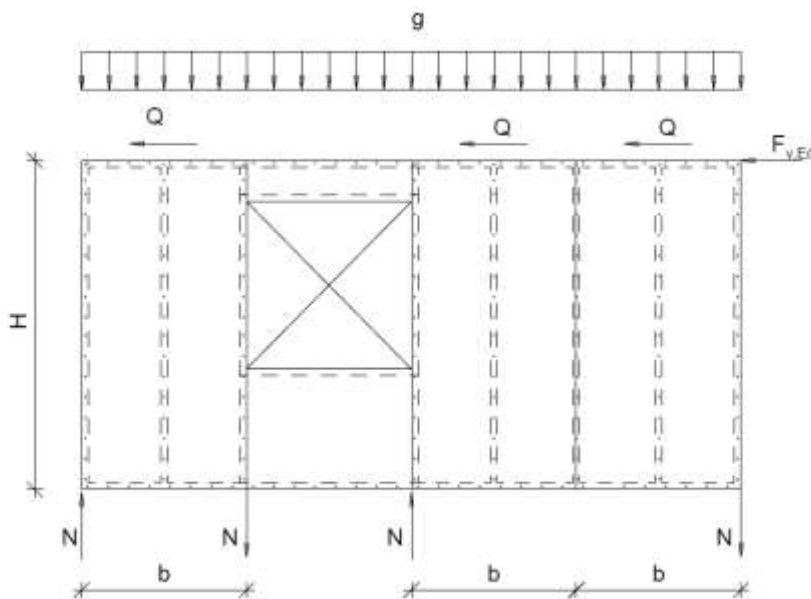
k_p = naulan leikkauskestävyyden korotus kerroin, mikäli puutavaran ominaistiheys ρ_k on suurempi kuin 350 kg/m^3 ($\sqrt{\rho_k / 350}$)

k_t = $\max(1 + 0,3 * (t_1 - 8 * d) / 8 * d)$ tai $(1 + 0,3 * (t_2 - 12 * d) / 6 * d)$

k_e = naulan leikkauskestävyyden pienennys kerroin, jos $t_1 < 8d$ tai $t_2 < 12d$, silloin $\min(t_1 / 8d)$ tai $(t_2 / 12d)$

3.3.2 Levyjäykistys Gyproc GTS 9 -levyllä

Kuvan 3 mukaisella ovi- tai ikkuna-aukkoja sisältävällä seinälohkolla voidaan siirtää ulkoisia voimia siten, että aukkoinen lohko ei lisää seinän jäykistyskapasiteettia, mutta sillä voidaan kytkeä yhteen kaksi eri jäykistävää osaseinää. Leikatut levyt saa huomioida täysimittaisten levyjen tapaan, mutta leikatun levyn leveys ja korkeus huomioidaan RIL 205-1-2017 mukaisesti. (Leskelä 2017, 9.)



KUVA 3. Jäykistävät levyt (RIL 205-1-2017. 2017, 162)

Molemmiin puolisessa levytyksessä saa seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden laskea molempien levytysten summana, mikäli liittimet ovat tyypiltään ja mitoiltaan samanlaiset. Jos käytetään erityyppisiä levyjä mutta siirtymäkertoimeltaan samanlaisia liittimiä, voidaan yleensä ottaa huomioon 75 % heikomman puolen vaakaleikkausvoimakestävyydestä. Muissa tapauksissa heikomman puolen vaakaleikkausvoimakestävyydestä saadaan lisätä puolet vahvemman puolen vaakaleikkausvoimakestävyyteen. (Leskelä 2017, 10.)

Levyt tulee kiinnittää kaikilta reunoiltaan tasavälein. Seinän keskitolpissa suurin liitinväli on kaksi kertaa reunojen liitinväli, mutta kuitenkin enintään 300 mm. Seinissä suurin naulaväli levyn reunoilla on enintään 150 mm tai ruuviväli enintään 200 mm. (Leskelä 2017, 10.)

Kipsilevyjen lommahdusta ja seinän yläreunan siirtymää ei tarvitse erikseen tarkistaa, jos seinän rankajako on $k < 600$ mm ja mitoitus tehdään tässä ohjeessa annettujen suunnitteluarvojen ja asennusohjeiden mukaan (Leskelä 2017, 10).

Kipsilevyjäykisteen kuormituskestävyys lasketaan kaavalla 9.

$$R_D = (n \cdot R_{vd}) / (\gamma \cdot H) \quad \text{KAAVA 9}$$

n = levyjen lukumäärä kuorman suunnassa

R_{vd} = levyn ja runkopuun välisen liitoksen laskentaleikkauskestävyys

γ = ruuvauskaavion huomioon ottava kerroin (voidaan käyttää RIL-205-1-2017 γ - ja β -kertoimia)

H = levyn korkeus

Kiinnikkeen laskentaleikkauskestävyyden arvon saamiseksi ominaisleikkauskestävyys arvot jaetaan materiaalin osavarmuusluvulla 1,3. Kuorman kesto- ja kosteusvaikutuksen muunnoskertoimena käytetään RIL 205-1-2017:n hetkellistä arvoa K_{mod} 1,1 käyttöluokissa 1 ja 2. kaavalla 10. (Leskelä 2017, 9.)

$$F_{f,Rd} = k_{mod} / \gamma_M \cdot F_{f,Rk} \quad \text{KAAVA 10}$$

4 JÄYKISTYSSOVELLUKSEN ANALYSOINTI

Opinnäytetyön tuloksena suunnitellun Excel-sovelluksen mitoitusta verrattiin D.O.F tech Oy:n ja Saint-Gobain Finland Oy:n tarjoaman laskentapalvelun kanssa. Laskentapalvelun ja opinnäytetyössä luodun sovelluksen välillä verrattiin jäykistelohkojen mitoituksessa saatuja kestävyysarvoja samoilla kiinnikkeillä, kiinnikejaoilla ja levytyypeillä.

4.1 Tulosten vertailu esimerkkilaskuilla

Esimerkkilaskujen avulla havaittiin, että opinnäytetyön tuloksena saadun Excel-sovelluksen antamat kestävyysarvot jäykistelohkoille täsmäävät laskentapalvelun antamien arvojen kanssa. Mitoitettaessa yhden levyn jäykistelohkoa seinän yläreunaan kohdistuvalle vaakakuormalle 8kN, saadaan laskentapalvelusta jäykistyskapasiteetiksi 4,2kN käytettäessä 2400 mm korkeaa GTS 9 -tuulensuojalevyä ja hakanen 155/38 VZHZ kiinnikkeitä 70 mm:n jaolla. Kapasiteetti vastaa Excel-sovelluksesta saatua arvoa. (Liite 1.) (Kuva 4.)

PÄÄTY 1		KAPASITEETTI	4,20 kN	190,7 %
	LEVYN KORKEUS mm	LIITINVÄLI, k mm		
GTS	2400	70		
GEK				
Vaneri si				
Vaneri ul				
Täydet GTS-levyt		1	kpl	Rd (kN)
Leikatut GTS-levyt			mm	4,20

KUVA 4. Mitoitus yhden levyn jäykistelohkolla

Seinälohkon jäykistykseen kannalta tarvittiin kahden täyden levyn lohko. Kun suhde $2 \cdot B/H$, jossa B on lohkon leveys ja H korkeus, on yli yksi, voidaan levyn kapasiteettia heikentävä korkeuserroin C jättää huomioimatta. Tällöin jäykistyskapasiteetiksi saatiin 8,4 kN. (Liite 2.) (Kuva 5.)

PÄÄTY 1		KAPASITEETTI	8,39 kN	95,34 %
	LEVYN KORKEUS mm	LIITINVÄLI, k mm		
GTS	2400	70		
GEK				
Vaneri si				
Vaneri ul				
Täydet GTS-levyt		2	kpl	8,39
Leikatut GTS-levyt		0	mm	

KUVA 5. Mitoitus kahden levyn jäykistyslohkolla

4.2 Excel-sovelluksen rakenne

Excel-sovellus jäykistyslohkon mitoitukseen rakennettiin niin, että suunnittelija antaa jäykistyslohkolle tulevan ulkoisen vaakakuorman arvon, jäykistelevyn korkeuden millimetreinä, kokonaisten levyjen määrän kappaleina, leikattujen levyjen leveydet millimetreinä ja liittimien jakovälin millimetreinä. Sovellus antaa suunnittelijalle jäykistyskapasiteetin määriteltujen liitinvälien, levyjen kappalemäärän ja korkeuksien mukaan. Jäykistyslohkon kapasiteetti esitetään sekä voimana (kN), että käyttöasteena (%) suhteessa ulkoiseen vaakakuormaan. (Kuva 5.)

Excel-sovelluksessa voidaan käyttää jäykistävinä levyinä GTS 9 -tuulensuojalevyä ulkopuolella, havuvaneria ulko- ja sisäpuolella ja GEK 13 -kipsilevyä sisäpuolella. GTS 9 -tuulensuojat kiinnitetään hakasilla, havuvanarit konenauloilla ja GEK 13 -kipsilevy ruuveilla.

Käytettäessä seinärungon molemmin puolista levytystä jäykistykseen sovellus olettaa, että sisäpuolen koolaustilassa on levyjen pystysaumot ja ylä- sekä alasaumat kapuloitu. Näin ollen voidaan molemmin puolinen levytys ottaa huomioon jäykistyksessä RIL 205-1-2017 sivun 158 ohjeiden mukaan.

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Excel-sovellus pientalon jäykistysseinien mitoitukseen levyjäykistyksellä. Sovellusta voidaan käyttää apuna nopeuttamassa ja virheen minimoimisessa pientalon jäykistysseiniä suunniteltaessa. Suunnittelijan saama käsitys jäykistyksestä ja kustannussäästö suunnittelun ajankäytössä ovat merkittävä osa jo suunnittelutyön alkuvaiheessa saaduilla hyödyillä.

Excel-sovelluksesta saatiin suunniteltua tavoitteena ollut tehokas ja helppokäyttöinen kokonaisuus jäykistysseinien tarkasteluun. Sovellus antaa suunnittelijalle tiedot jäykistysseinän kapasiteetista, levyjen korkeudesta ja määrästä, kiinnitinjakoista ja kiinnitintyypistä. Suunnittelijan valitessa kiinnitinjakoa ja levymääriä nähdään samalla sivulla käyttöaste ja kapasiteetti, jossa suunnittelija voi nopeasti verrata kestävyyttä vaihtelemalla tietoja.

Sovelluksessa voidaan käyttää jäykistävinä levyinä GTS 9 -tuulensuojaa, havu- vaneria ja GEK 13 -kipsilevyä. Kiinnikkeinä käytetään hakasia 155/38 VZHZ, kokenauloja 50x2,5 ja ruuveja. Sovelluksessa voi tarvittaessa huomioida molemmin puolisen levytyksen. Molemmin puolista levytystä käytettäessä tulee kapuloida sisäpuolella vaakakoolaustilassa myös levyjen pystysaumamat.

Sovellusta voidaan kehittää tarvittaessa kattamaan useampia levy- ja liitinyhdistelmiä. Ankkurointivoiman huomioimiseksi voidaan helpohkosti lisätä sovellukseen kaavat jokaisen seinälohkon pään ankkuroinnin suuruuden saamiseksi.

LÄHTEET

Hyttinen, Arto – Nyholm, Mikael – Rissanen, Jarkko – Lindroos, Petri – Kemppainen, Harri – Raad, Hassan – Jokinen, Jussi 2018. Gyproc käsikirja. Kirkkonummi: Saint-Gobain Oy/ Gyproc.

Leskelä, Jarmo 2017. Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje. Saatavissa: <http://www.gyproc.fi/tilaa-ja-lataa/hyvaksynnat/rakennusten-jaykistys>. Hakupäivä 9.3.2019.

Pieviläinen, Mikko 2005. Levyjäykisteisen pientalon seinärakenteen toiminta ja mitoitus. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö. Insinöörityö.

RIL 201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suunnitteluohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 205-1-2017. 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Suunnitteluohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 244-2007. 2007. Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta. Suunnitteluohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

LASKENNAN SYÖTTÖARVOJA:**Kuormitukset:**

Vaakakuorma F_v, E_d (kN):	8
Pystykuorma F_1, E_d (kN):	0
Pystykuorma F_2, E_d (kN):	0
Viivakuorma Q_1, E_d (kN/m):	0
Kuorman aikaluokka:	Hetkellinen

Seinän tiedot:

Seinän tyyppi:	Ulkoseinä
Seinän leveys, L (mm):	1200
Seinän korkeus, H (mm):	2400
Runkosyvyys, B (mm):	197
Runkotolpan leveys, b1 (mm):	42
Yläjuoksun korkeus, h1 (mm):	48
Alajuoksun korkeus, h2 (mm):	48

Levytyksen tiedot:**1. puolen levytys ja liitin:**

Levytyks:	Levy GTS 9, kiinnike hakanen 155/38 VZHZ, k.I. 2
Levyn leveys (mm):	1200
Levyn korkeus (mm):	2400
Kiinnikejako (mm):	70

2. puolen levytys ja liitin:

Levytyks:	
Levyn leveys (mm):	1200
Levyn korkeus (mm):	2400
Kiinnikejako (mm):	150

TULOKSET:**Laskennan lähtöarvoja:****Kiinnikkeen 1 ominaislujuus: 287 N****Levytyksen 1 siirtymäkerroin: 219 N/mm****Levytyksen 1 liukumoduli: 600 N/mm²****Levytyksen 1 kmod: 1.10****Levytyksen 1 materiaalin varmuuskerroin: 1.30****TULOKSET:****Levytysten kapasiteetit:****Levytyksen 1 jäykistyskapasiteetti on: $F_{v,Rd,1}=4.2$ kN****Seinän jäykistyskapasiteetti $F_{v,Rd}=4.2$ kN****Levytyksistä huomioon otettavat osakapasiteetit:****Levytyks1:****Levytyksen 1 kapasiteetista voidaan ottaa huomioon 100 % 4.2 kN / 4.2 kN,****Leikkausvoimakapasiteetin riittävyys:****Seinän leikkausvoimakapasiteetti $F_{v,Rd}=4.2$ kN on pienempi****kuin seinään vaikuttava voima $F_{v,Ed}=8.0$ kN****Kaatumisvarmuus:****Seinän kaatumisvarmuus ei ole riittävä,****koska pystykuormien stabiloiva momentti: $E_{d,stb}=0.0$ kNm****on pienempi kuin vaakavoiman aiheuttama kaatava momentti: $E_{d,stb}=19.2$ kNm****Tarvitaan ankkurointivoima 16.00 kN stabiloimaan rakenne.****Seinän leikkausjäykkyys ja siirtymä:****Seinän jäykkyys on $k_s=636$ N/mm****Seinän siirtymä on: $w=8.383$ mm**

LASKENNAN SYÖTTÖARVOJA:

Kuormitukset:

Vaakakuorma F_v, E_d (kN):	8
Pystykuorma F_1, E_d (kN):	
Pystykuorma F_2, E_d (kN):	
Viivakuorma Q_1, E_d (kN/m):	
Kuorman aikaluokka:	Hetkellinen

Seinän tiedot:

Seinän tyyppi:	Ulkoseinä
Seinän leveys, L (mm):	2400
Seinän korkeus, H (mm):	2400
Runkosyvyyys, B (mm):	197
Runkotolpan leveys, b_1 (mm):	42
Yläjuoksun korkeus, h_1 (mm):	48
Alajuoksun korkeus, h_2 (mm):	48

Levytyksen tiedot:

1. puolen levytys ja liitin:

Levytys:	Levy GTS 9, kiinnike hakanen 155/38 VZHZ, k.l. 2
Levyn leveys (mm):	1200
Levyn korkeus (mm):	2400
Kiinnikejako (mm):	70

2. puolen levytys ja liitin:

Levytys:	
Levyn leveys (mm):	1200
Levyn korkeus (mm):	2400
Kiinnikejako (mm):	150

TULOKSET:

Laskennan lähtöarvoja:

Kiinnikkeen 1 ominaislujuus: 287 N**Levytyksen 1 siirtymäkerroin: 219 N/mm****Levytyksen 1 liukumoduli: 600 N/mm²****Levytyksen 1 k_{mod}: 1.10****Levytyksen 1 materiaalin varmuuskerroin: 1.30****TULOKSET:**

Levytysten kapasiteetit:

Levytyksen 1 jäykistyskapasiteetti on: F_{v,Rd,1}=8.4 kN**Seinän jäykistyskapasiteetti F_{v,Rd}=8.4 kN**

Levytyksistä huomioon otettavat osakapasiteetit:

Levytys1:

Levytyksen 1 kapasiteetista voidaan ottaa huomioon 100 % 8.4 kN / 8.4 kN,

Leikkausvoimakapasiteetin riittävyys:

Seinän leikkausvoimakapasiteetti F_{v,Rd}=8.4 kN on suurempi (tai yhtä suuri)**kuin seinään vaikuttava voima F_{v,Ed}=8.0 kN**

Kaatumisvarmuus:

Seinän kaatumisvarmuus ei ole riittävä,**koska pystykuormien stabiloiva momentti: E_{d,stab}=NaN kNm****on pienempi kuin vaakavoiman aiheuttama kaatava momentti: E_{d,stab}=19.2 kNm****Tarvitaan ankkurointivoima NaN kN stabiloimaan rakenne.**

Seinän leikkausjäykkyys ja siirtymä:

Seinän jäykkyys on k_s=1272 N/mm**Seinän siirtymä on: w=4.191 mm**