



Juha Tolonen

SOVELLUS JÄYKISTÄVÄN LEVYKENTÄN SUUNNITTELUUN

SOVELLUS JÄYKISTÄVÄN LEVYKENTÄN SUUNNITTELUUN

Juha Tolonen
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennetekniikka

Tekijä: Juha Tolonen
Opinnäytetyön nimi: Sovellus jäykistävän levykentän suunnitteluun
Työn ohjaaja: Pekka Kilpinen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013
Sivumäärä: 35 + 22 liitettä

Jäykistävä vaakasuuntainen taso toimii tärkeässä osassa jäykistysjärjestelmässä, koska sen kautta siirretään vaakakuormat jäykistäville pystyrakenteille. Jäykistävän vaakarakenteen mitoitus on monivaiheinen toimenpide, joka joudutaan yleensä toistamaan useita kertoja ennen kuin päästään sopivaan lopputulokseen. Tämän työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa laskentasovellus jäykistävän levyrakenteisen vaakataso mitoittamiseen.

Työssä tutustuttiin jäykistävän vaakataso toimintaan ja mitoitukseen aiheeseen liittyvien julkaisujen avulla. Jäykistävän levykentän suunnittelua ja mitoitusta käytiin läpi tekemällä mitoitus tarkasteluja kuvitteellisille rakennuksille. Työn sisältöä jouduttiin rajaamaan aihepiirin laajuuden takia. Työssä esitetään jäykistysmitoituksen kulku yksiaukkoisena palkkina toimivalle yläpohjalle rakennuksen molemmissa pääsuunnissa. Myös sovelluksen suunnittelu rajattiin yksikerroksiseen suorakaiteen muotoiseen rakennukseen, jonka ulkoseinät toimivat jäykistävinä pystyrakenteina. Sovellus toteutettiin Excel-tilukkolaskentaohjelmalla.

Sovellukseen voidaan syöttää suorakaiteen muotoinen yksikerroksinen rakennus, jonka yläpohjassa ei ole aukkoja tai muita epäjatkuvuuskohtia. Yläpohjan levytys käsitellään sovelluksessa ei-limitettyinä kokonaisina levyinä. Sovellus laskee rakennukseen kohdistuvan vaakakuorman, tarkistaa vetopaarteiden kestävyyden sekä laskee suurimman liitinvoiman ja levykentän siirtymät molemmissa rakennuksen pääsuunnissa.

Kun verrataan työssä esitettyjä laskuesimerkkejä ja sovelluksella saatuja tuloksia keskenään, voidaan todeta, että sovellus laskee oikein kokonaisilla, limittämättömällä levyillä jäykistetyn yläpohjan jäykistysmitoituksen. Jos yläpohja toteutetaan todellisuudessa limitetyillä levyillä, sovelluksen perusteella ei voida olla varmoja, onko tason leikkauskapasiteetti riittävä välittämään levykentältä kuormat jäykistäville seinille. Jatkossa sovelluksen kehittämisessä tulisi ensimmäisenä keskittyä leikattujen levyjen ja aukollisten väli-/yläpohjien käsittelyyn, mikä lisäisi sovelluksen käyttömahdollisuuksia pientalojen suunnittelussa.

Asiasanat: mitoitus, levyjäykistys, laskentasovellus, Excel

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author: Juha Tolonen

Title of thesis: Application Program for Designing Ceiling Diaphragms

Supervisor: Mr. Pekka Kilpinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2013

Pages: 35 + 22 appendices

Horizontal floor and ceiling diaphragms are an important part in transferring horizontal loads to the supporting vertical structures. The dimensioning of a horizontal diaphragm is a multi-step process that usually needs to be repeated multiple times until an appropriate conclusion has been reached. The objective of this thesis was to design and implement an application program for dimensioning ceiling diaphragms.

The thesis was based on reading publications related to the topic and familiarizing with functionality and dimensioning of ceiling diaphragms. The design and implementation was practiced with creating practice models for fictional buildings. Due to the depth of the subject matter, the thesis was required to be limited. Therefore, the thesis presents the ceiling diaphragm functioning as a high I-beam supported by two shear walls. The dimensioning process is introduced at both main dimensioning directions of the building. The implementation of the application was also limited to a one-storeyed rectangular building where the outer walls function as shear walls. The application was implemented using Excel.

Information of a one-storeyed rectangular building structure can be fed into the application. Holes and other discontinuities are not observed and the panels of the ceiling diaphragm will be implemented in the application as whole non-interlaced panels. The application calculates the horizontal load subjecting to the structure of a ceiling diaphragm and the tension forces due to bending. Furthermore, the application calculates the highest shear stress in a fastener and the horizontal deflection at both main directions of the building.

By comparing the calculations and application results, it can be stated that the application is functioning correctly. If a ceiling diaphragm will be implemented with interlaced and cut panels in real life based on the application, it will be unknown whether the shear capacity of the ceiling diaphragm is sufficient. In the future development of the program, floor and ceiling diaphragms with openings and interlaced panels should be the primary focus. Focusing on those features, the application program could become more suitable for dimensioning horizontal diaphragms for apartment buildings.

Keywords: dimensioning, diaphragm, Excel

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 PUURAKENTEIDEN JÄYKISTYS	7
2.1 Levyjäykistyksen periaatteet	7
2.2 Vaakakuormat	8
2.3 Kuormien siirtyminen jäykistysseinille	9
2.4 Jäykistävän seinän rakenne ja mitoitus	9
3 JÄYKISTÄVÄN LEVYKENTÄN TOIMINTA JA MITOITUS	10
3.1 Paarteiden mitoitus	10
3.2 Levytyksen suunnittelu ja mitoitus	13
3.2.1 Suunnittelu	13
3.2.2 Mitoitus	14
3.3 Levykentän siirtymä	20
3.4 Kuormitussuunnan muuttuminen	22
3.4.1 Levytyksen mitoitus	22
3.4.2 Levykentän siirtymä	24
4 LASKENTASOVELLUKSEN ESITTELY	25
4.1 Sovelluksen ulkoasu ja rakenne	25
4.2 Laskenta ja mitoitus	26
5 YLÄPOHJAN MITOITUSESIMERKIT JA TULOSTEN VERTAILU	31
6 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	35
LIITTEET	
Liite 1 Levyn kiinnitystavan mukaiset γ - ja β -kertoimet	
Liite 2 Lomahduskerroin k	
Liite 3 Sovelluksen rakenne	
Liite 4 Laskuesimerkit	

1 JOHDANTO

Puurunkoinen rakennus jäykistetään vaakakuormia vastaan yleensä pystysuuntaisten seinien ja vaakasuuntaisten väli- ja yläpohjatasojen levyjäykistyksellä. Jäykistävinä levyinä käytetään erityyppisiä levyjä, kuten kipsilevyä, lastulevyä ja vaneria, joilla voidaan siirtää vaakakuormia perustuksille. Jäykistävä levykenttä toimii jäykistysjärjestelmässä merkittävässä osassa, koska vaakakuormat siirretään jäykistäville seinille levykentän kautta. Levykentän toimintatapa riippuu jäykistävien seinien määrästä ja sijainnista sekä levykentän epäjatkuvuuskohdista. Tässä työssä keskitytään levyjäykistetyn yläpohjan mitoitukseen sillä oletuksella, että yläpohjan ajatellaan toimivan yksiaukkoisen palkin tavoin, jolloin jäykistäviä väliseiniä ei ole.

Aiemmin työn tilaajalle lin Fasadi Oy:lle on tehty insinööritoimisto, jossa tarkastellaan kattavasti levyjäykistetyn pientalon seinärakenteen toimintaa ja mitoitus. Sen pohjalta yrityksessä on kehitetty Autocad- ja Excel-sovelluksilla laskentaohjelma, jolla pientalon levyjäykistettyjen seinien mitoitus voidaan suorittaa.

Tämän työn tarkoituksena on tuottaa työkalu, Excel-sovellus, jolla voidaan nopeasti tarkistaa yläpohjatasojen ehjän levykentän jäykistyskapasiteetti. Sovelluksen tulisi laskea annettujen mittojen perusteella rakennukseen kohdistuva kokonaistuulikuorma ja se, ovatko käyttäjän tekemät valinnat jäykistävän yläpohjan rakenteeksi riittäviä. Työkalun suunnittelussa keskitytään suorakaiteen muotoiseen yksikerroksiseen rakennukseen, jonka yläpohja jäykistetään kipsilevyllä tai vanerilla. Sovelluksen ulkoasu tulisi olla sellainen, että siitä saatavat tulokset voidaan antaa rakennusvalvontaviranomaisille rakennelaskelmien mukana.

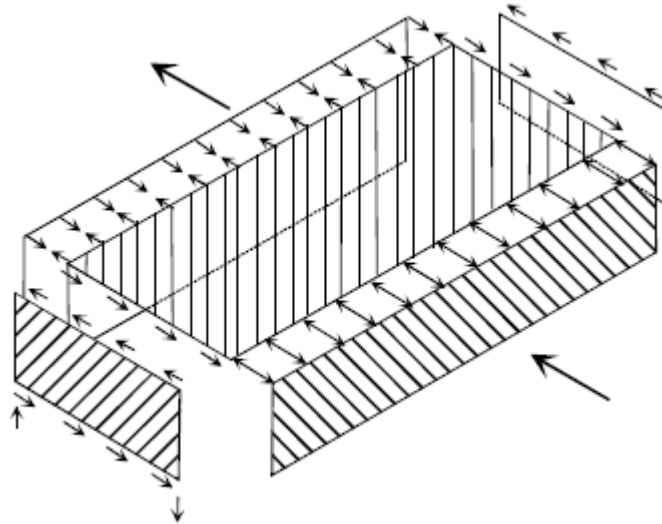
2 PUURAKENTEIDEN JÄYKISTYS

Jäykistäminen käsittää koko rakennuksen jäykistämisen ja yksittäisten komponenttien muodostaman kokonaisuuden sisäisen jäykistämisen. Koko rakennuksen jäykistyksessä pyritään sellaiseen rakennejärjestelmään, joka kestää ulkoisista vaakakuormista syntyvät rasitukset sekä ulkoisista pystykuormista aiheutuvat vaakasuuntaiset rasitukset. Ulkoisia vaakakuormia ovat esimerkiksi tuulikuormat ja rakennuksen sisällä nosturien jarruvoimat. Ulkoiset pystykuormat aiheuttavat vaakavoimia silloin, kun pystyrakenteet poikkeavat ideaalisesta pystysuunnastaan. Rakennejärjestelmä tulee suunnitella siten, että edellä mainitut kuormat siirtyvät aina perustuksille asti. (1, s. 4.)

Yksittäisen komponentin jäykistyksessä rakennusosan tulee kestää rasitukset, jotka syntyvät rakenteen sisäisistä voimista. Tätä mitoitusta kutsutaan myös stabiiliusmitoitukseksi, jossa varmistetaan yksittäisen komponentin vakaus rakennetta vahvistamalla tai käyttämällä hyväksi viereisiä rakenteita. Näin on mahdollista muodostaa riittävän jäykkä rakennekokonaisuus, jossa olevia jäykistäviä voimia ei tarvitse viedä kokonaisuuden ulkopuolelle, kuten perustuksille, vaan ottaa ne vastaan rakennekokonaisuuden sisällä. Kahden ristikon väliin kiinnitetty vaakaristikko ristikon yläpaarteiden kanssa on esimerkiksi tällainen kokonaisuus, joka tasapainottaa sisäiset voimat estäen yläpaarteiden nurjahtamisen. (1, s. 5.)

2.1 Levyjäykistyksen periaatteet

Rakennukseen kohdistuvat ulkoiset vaakakuormat on siis siirrettävä toimivia polkuja pitkin perustuksille. Jäykistämisen tavoite on rakennuksen pystyssä pysyminen myös rakennuspaikan pahimpien tuulenpuuskien aikana ja huolehtia siitä, että vaakasuuntaiset siirtymät eivät ylitä niille asetettuja enimmäisarvoja. Levyjäykistetyssä rakennuksessa vaakavoimat otetaan vastaan levyjäykistetyillä seinillä ja yläpohjalla, mitä kuva 1 periaatteellisesti esittää. Jos kyseessä on useampikerroksinen rakennus, myös välipohjat toimivat jäykistävinä levykenttinä. Yleensä riittää molempien pääsuuntien tarkastelu, ja mitoittavaksi suunnaksi pitkissä rakennuksissa tulee yleensä rakennuksen poikkisuunta. (4, s. 7–8.)



KUVA 1. Vaakakuorman siirtyminen perustuksille jäykistävän vaakasuuntaisen levykentän ja jäykistävien päätyseinien välityksellä (1, s. 4)

2.2 Vaakakuormat

Puurunkoisissa pientaloissa ja hallirakennuksissa pääasiallinen vaakakuorma on tuulikuorma. Asennustoleransseista mahdollisesti aiheutuvat kantavien pystyrakenteiden vinoudet jätetään yleensä huomioimatta, koska niistä aiheutuvat vaakakuormat jäävät kevyiden rakenteiden yhteydessä pieniksi. Myös kuormituslisä, joka syntyy ulkoisten vaakakuormien työntäessä pystyrakenteita pois pystysuorasta aiheuttaen lisää vaakakuormitusta, jätetään pois mitoituksesta. Tätä lisävaakavoiman vaikutusta hallirakennuksissa on Virkkunen tarkastellut diplomityössään tullen siihen tulokseen, että normaalitapauksissa lisävaakavoima voidaan jättää huomioimatta (2, s. 83–94). Muut mahdolliset vaakakuormat, kuten nosturikuormat ja törmäyskuormat käsitellään tapauskohtaisesti.

Rakennukseen kohdistuva kokonaistuulikuorma voidaan määrittää kokonaisvoimakertoimen tai pintapaineiden avulla. Näiden laskemisesta on esitetty eurokoodiin perustuvat ohjeet julkaisun RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat osassa 1.4 (3, s. 117–141).

2.3 Kuormien siirtyminen jäykistysseinille

Ulkoseinät tukeutuvat alareunoistaan perustuksiin ja yläreunoistaan yläpohjatasoon. Tarkasteltaessa rakennuksen poikkisuunnan mitoitusta sivuseinälle tulevasta kuormasta puolet menee seinän alaosan kautta perustuksille ja toinen puoli jäykistävälle yläpohjatasolle. Lisäksi yläpohjatasoa rasittaa sen yläpuolisten rakenteiden eli vesikaton pystyprojektiioon kohdistuva tuulikuorma. (1, s. 5.)

Jäykistävän vaakataason merkitys jäykistysjärjestelmässä on tärkeä, koska sen kautta kuorma siirtyy jäykistäville päätyseinille. Vaakasuuntaisen levyrakenteen ajatellaan toimivan korkeana yksiaukkoisena palkkina, joka tukeutuu jäykistäviin päätyseiniin. Jäykistäville seinille tuleva kuormitus muodostuu näin ollen yläpohjan tukireaktioista. Palkin korkeus on rakennuksen syvyys ja pituus on rakennuksen pituus. Jos päätyseinien jäykistyskapasiteetti ei riitä ja joudutaan käyttämään jäykistäviä väliseiniä, palkin toimintaa tarkastellaan jatkuvan palkin ja yksiaukkoisen palkin yhdistelmän toimintamalliin perustuen. Jäykistystarkastelu toisesta pääsuunnasta kääntää palkin korkeuden ja pituuden vastakkaisiksi. Silloin rakennuksen päätyyn yläpohjatasolle tuleva kuorma siirtyy levykentän kautta sivuseinien jäykistäville osille. (1, s. 5.)

2.4 Jäykistävän seinän rakenne ja mitoitus

Levyjäykistetyt seinät muodostuvat puisista pystytolpista ja vaakajuoksuista ja puu- tai kipsilevyistä, jotka yhdistetään toisiinsa levyjen reunoille sijoitetuilla liittimillä. Seinä mitoitetaan murtorajatilassa ylä- tai välipohjatasolta tulevalle kuorman aiheuttamalle rasitukselle. Mitoituksessa tarkistetaan levyn liittimien leikkauslujuus, levyn lommahdusvarmuus ja seinän ankkurointikestävyys vaak- ja pystysuunnassa. Lisäksi tarkistetaan jäykistävän seinälohkon reunimaisten pystytolppien veto- ja puristuslujuus ja alajuoksun tukipainekestävyys. Käyttöraajatilassa tarkistetaan seinän yläreunan vaakasiirtymä alareunan suhteen. (1, s. 11.)

Lisää levyjäykistettyjen seinien mitoituksesta löytyy kirjallisuudesta. Esimerkiksi Pieviläinen on tutkinut kattavasti insinööriyössään (4, s. 18–33) levyjäykistettyjen seinien toimintaa ja mitoitusta.

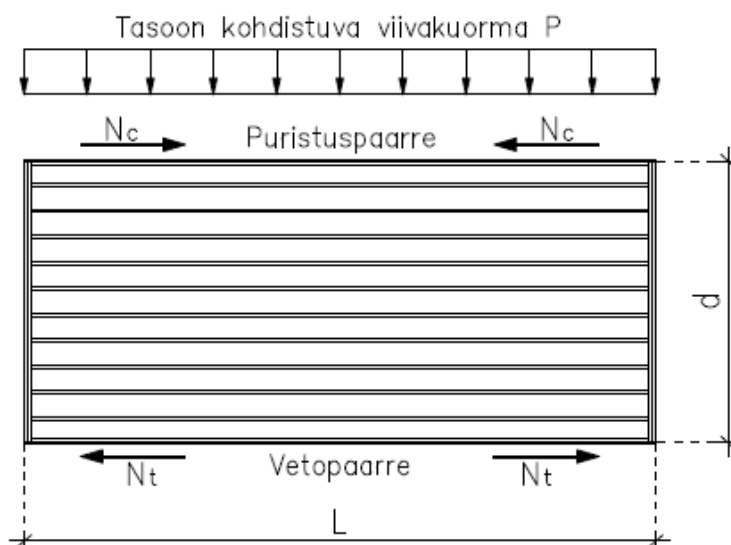
3 JÄYKISTÄVÄN LEVYKENTÄN TOIMINTA JA MITOITUS

Yläpohjatasoon vaikuttaa vaakasuuntainen viivakuorma, joka syntyy tuulen paineen vaikutuksesta seinän yläosaan ja kattoon. Korkeana levypalkkina toimivaan yläpohjaan aiheutuu viivakuormasta taivutus- ja leikkausrasituksia. Taivutusmomentti otetaan vastaan levykentän reunoilla olevilla erillisillä puristus- ja vetosauvoilla ja leikkausvoimat levytyksellä. (5, s. 30.)

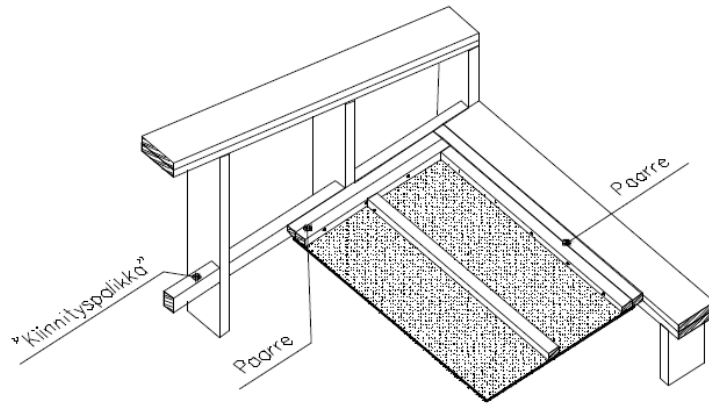
Tässä luvussa esitettävä mitoituksen kulku perustuu lähteisiin 5 ja 6 sillä erotuksella, että Suomen rakennusmääräyskokoelman mukaiset tulkinnat on muutettu eurokoodin mukaisiin tulkintoihin.

3.1 Paarteiden mitoitus

Puristus- ja vetosauvoina voidaan käyttää levykentän reunimmaisista koolauspuista ja seinän yläjuoksista, yhdessä tai erikseen. Koolauspuut mitoitetaan taivutusmomentin aiheuttamalle rasitukselle murtorajatilassa. Tuulen vaikuttaessa kohtisuoraan sivuseinälle aiheutuu levykentän tuulen puoleiselle paarteelle puristusrasitusta ja vastakkaiselle puolelle vetoa. Rasitukset näkyvät kuvassa 2. Puristussauvalla ei ole nurjahdusvaaraa, koska koolaus voidaan kiinnittää sivu- ja päätyseinään esimerkiksi kuvan 3 mukaisesti. Puun puristuslujuus on suurempi kuin vetolujuus, joten vetosauvan kestävyys tarkistetaan. (6, s. 1, 4.)



KUVA 2. Levykentän paarteiden rasitukset (6, s. 4)



KUVA 3. Paarteiden kiinnitys sivu- ja päätyseinällä (6, s. 1)

Tason suurin taivutusmomentti M_{max} saadaan kaavalla 1 ja parteen suurin vetorasitus N_t kaavalla 2.

$$M_{max} = \frac{PL^2}{8}$$

KAAVA 1

$$N_t = \frac{M_{max}}{d}$$

KAAVA 2

Paarrepoikkileikkauksen vaadittu ala $A_{t,vaad}$ saadaan kaavalla 3. Jos kaavan ehto ei toteudu, lisätään vierelle toinen koolaussoiro vahvistukseksi.

$$A_{t,vaad} \geq \frac{N_t}{f_{td}} = \frac{M_{max}}{d \cdot f_{td}} = \frac{PL^2}{8d \cdot f_{td}}$$

KAAVA 3

$A_{t,vaad}$ = parrepoikkileikkauksen vaadittu ala (mm^2)

N_t = parteen suurin vetorasitus (N)

f_{td} = parteen vetolujuuden mitoitusarvo (N/mm^2)

M_{max} = tason suurin taivutusmomentti (Nm)

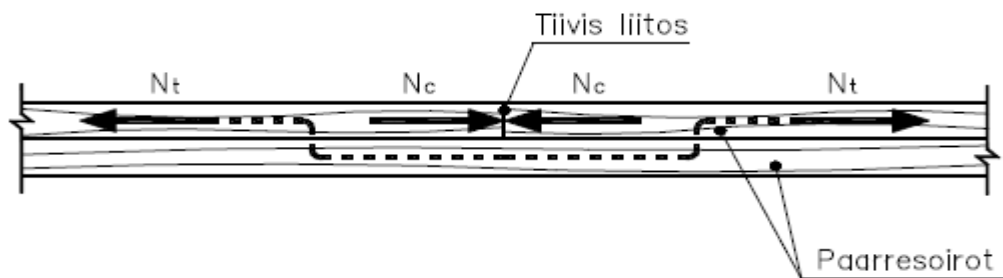
d = paarteiden välinen etäisyys (mm)

P = tasoon kohdistuva viivakuorma (N/mm)

L = levypalkin jänneväli (mm)

Paarrejatkoksen mitoitus

Paarteen jatkoskohta mitoitetaan samalle vetovoimalle N_t kuin paarteet. Jos paarteena käytetään kahta koolaussoiroa, vetovoima siirtyy liitoksen ohi toisen koolauksen kautta. Vetovoima voidaan siirtää myös seinän yläohjauspuun kautta, jos käytetään vain yhtä koolaussoiroa. Puristusvoima N_c siirtyy tiukasti toisiinsa vasten asennettujen paarteiden päiden välityksellä. Kuvassa 4 näkyy voimien kulkeutuminen jatkoskohdassa. Kuvasta näkyy myös liitoksen epäkeskiisyys, jonka vuoksi vetovoima N_t täytyy kertoa kertoimella 1,5. (6, s. 5.)



KUVA 4. Voimien reitit paarteen jatkoksessa (6, s. 5)

Jatkoksen liittimet mitoitetaan kaavalla 4, jos liittimiä on yli kymmenen kappaletta peräkkäin, muussa tapauksessa kaavalla 5. Jatkoksessa olevien liittimien reuna- ja keskinäisetäisyydet tarkistetaan suunnitteluohjeen RIL 205-1-2009 mukaisesti.

$$F = \frac{1,5N_t}{n_y \cdot (10 + (n_x - 10) \cdot 0,66)} \leq F_u$$

KAAVA 4

$$F = \frac{1,5N_t}{n_y \cdot n_x} \leq F_u$$

KAAVA 5

F = yhtä liitintä rasittava leikkausvoima

N_t = paarteen suurin vetorasitus (N)

n_y = päällekkäisten liitinrivien määrä (kpl)

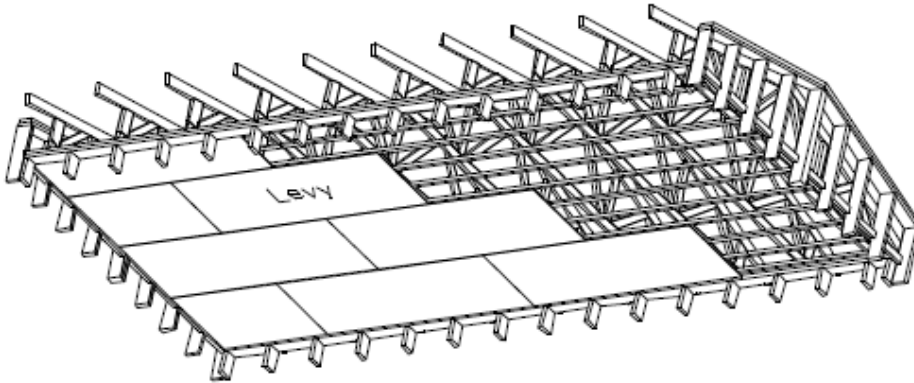
n_x = peräkkäisten liittimien määrä (kpl)

F_u = yhden liittimen leikkauslujuus (N)

3.2 Levytyksen suunnittelu ja mitoitus

3.2.1 Suunnittelu

Levytyksen kiinnitetään ristikköiden alapaarteisiin kohtisuoraan kiinnitettyyn koolaukseen naulaamalla tai ruuvaamalla. Koolaus voi olla yksinkertainen, kuten kuvassa 5, tai ristiinkoolaus.

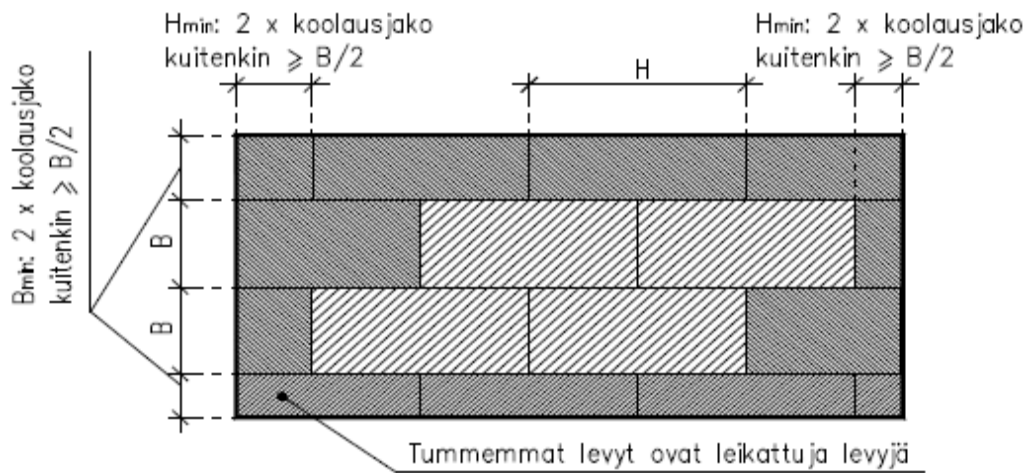


KUVA 5. Yläpohjan jäykistävä levytyksen kiinnitettyä yksinkertaiseen koolaukseen (6, s. 1)

Levyjen saumat pyritään liittämään, jotta rakenteeseen ei tule neljän leveysauaman risteyskohtia. Limityksen tulisi olla vähintään kahden koolausvälin verran. Suositeltava limitus on puolet levyn pituudesta H . Levykenttä voidaan harvoin levyttää täysillä levyillä. Jäykistäväksi levyksi voidaan huomioida kavennettu levy, jonka leveys on kahden koolausvälin verran ja vähintään $H/4$. Kahden koolausvälin vaatimus perustuu siihen, että kavennettu levy saadaan kiinnitetyksi vähintään kolmeen koolaussoiroon, jotta se voidaan huomioida jäykistäväksi levyksi. Tämä voi tarkoittaa sitä, että levytyksen on aloitettava kavennetuilla levyillä, jotta levykentän toiseen reunaan jää levyä vähintään edellä mainitun verran. (6, s. 3.)

Levyn vähimmäispituuden vaatimus on sama kuin leveyden, kaksi kertaa koolausväli ja $H/4$. Pienimmäksi jäykistäväksi levyksi näin ollen huomioidaan $600 \times 600 \text{ mm}^2$:n kokoinen levy, jos kokonainen levy on $B \times H = 1\,200 \times 2\,400 \text{ mm}^2$. Lisäksi koolausväli $600 \times 600 \text{ mm}^2$:n levyille on oltava $k300$ tai pienempi, jotta levy saadaan kiinnitetyksi kolmeen koolaussoiroon. (6, s. 3.)

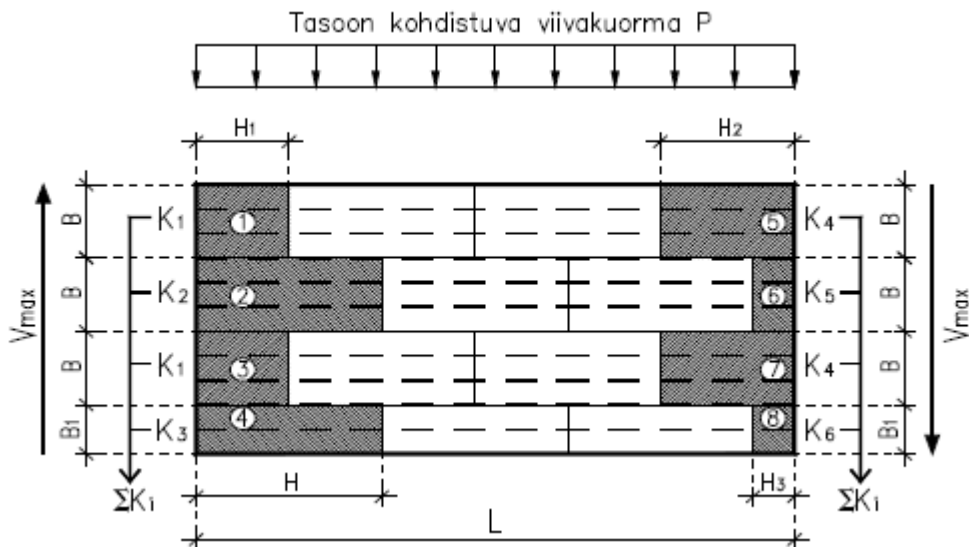
Kuvassa 6 on esitetty jäykistävien levyjen pienimpiä mittoja tapauksessa, jossa levytys on aloitettu kavennetuilla levyillä. Kuvassa näkyy myös limitys, joka on puolet levyn pituudesta. Kuvan $B/2$ -merkinnät luetaan $H/4$ -merkinnöiksi, koska suunnitteluohjeen RIL 205-1-2009 mukaan jäykistävän levyn vähimmäisleveys on $H/4$ (7, s. 148). Käytettäessä levykokoa $1\ 200 \times 2\ 400\ \text{mm}^2$, molemmilla merkinnöillä saadaan sama vähimmäiskoko $600 \times 600\ \text{mm}^2$. Jos käytetään pitempiä levyjä, vähimmäismitat kasvavat tulkittaessa ohjeita eurokoodin mukaan.



KUVA 6. Jäykistyslevyjen pienimmät mitat (6, s. 3)

3.2.2 Mitoitus

Levytys ja kiinnitys mitoitetaan leikkausvoiman aiheuttamalle rasitukselle murto-rajatilassa. Mitoituksessa tarkistetaan levyn lommahdus ja liittimien leikkauslujuus. Leikkausvoima yksiaukkoisena palkkina toimivassa levykentässä on suurimmillaan tason päädyissä. Jäykistyskapasiteetin leikkausvoiman perusteella muodostavat tason päädyissä olevat levyt, jotka ovat rasteroituna kuvassa 7.



KUVA 7. Rasteroidut levyt määräävät tason leikkauskapasiteetin (6, s. 7)

Mitoittava leikkausvoima V_{max} lasketaan kaavalla 6. Täytyy muistaa, että pariteiden ja seinän välinen liitos mitoitetaan tälle samalle leikkausvoimalle, jotta kuormat siirtyvät tasolta jäykistäville seinille.

$$V_{max} = \frac{P \cdot L}{2}$$

KAAVA 6

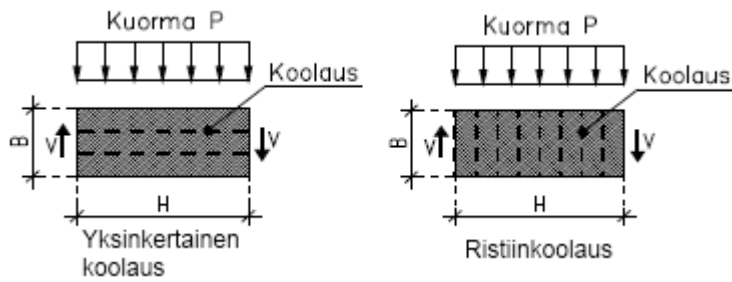
V_{max} = tason suurin leikkausvoima (N)

P = tasoon kohdistuva viivakuorma (N/mm)

L = levypalkin jänneväli (mm)

Kiinnitystapakertoimien määrittäminen

Levy kiinnitetään koolaukseen ruuveilla tai nauloilla. Liittimeen kohdistuvan leikkausrasituksen suuruuteen vaikuttaa levyn kiinnitystapa: koolausjako ja koolauksen suunta levyyn nähden sekä levyn jäykkyys liittimien kanssa. Kiinnityksen mitoituksessa liitteenä 1 olevasta taulukosta valitaan sopiva kiinnitystapa γ - ja β -kertoimien laskemiseksi. γ -kerrointa käytetään liittimen lujuusmitoituksessa ja β -kerrointa levyn jäykkyyskerroimen laskennassa. Levyn kiinnitystapakertoimet määritetään kuvien 7 ja 8 avulla.



KUVA 8. Kiinnitystapakertoimien määrittämisessä huomioidaan kuorman suunta koolaukseen ja levyyn nähden (6, s. 8)

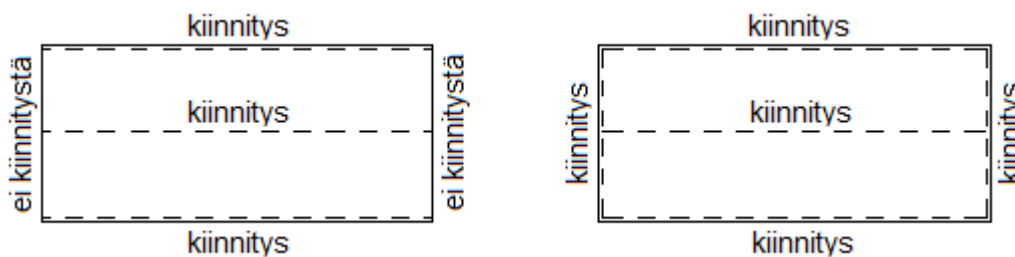
Levykentän tasosta valitaan levy, jolle halutaan määrittää γ - ja β -kertoimet. Kuten liitteen 1 taulukosta voi nähdä, tulee kuorman suunta määrittää levyyn ja koolaukseen nähden. Kuvassa 8 vasemmalla on kuvan 7 tason kokonainen levy, missä levyn pituussuunta ja koolaus ovat kohtisuorassa kuorman suuntaan nähden. Tämä vastaa levyn kiinnitystapaa yksinkertaisen koolauksen yhteydessä. Kuvassa 8 oikealla olevassa kiinnitystavassa kuorma ja koolaus ovat samassa suunnassa, koska levy kiinnitetään ristiinkoolaukseen.

Myös koolauksien määrä yhtä levyä kohden määritetään. Jos taulukoista ei löydy sopivaa koolausjakoa, valitaan kiinnitystapa, jossa on vähemmän koolaussoiroja yhtä levyä kohden. Kuvassa 8 vasemmalla oleva levy on kiinnitetty neljään koolaussoiroon. Jos kyseessä on 1 200 mm leveä jäykistyslevy, koolausjako on k400. Ristiinkoolauksen jako on k300, jos levyn pituus on 2 400 mm.

Kun edellä mainitut asiat on määritetty, valitaan kiinnitystapakertoimien taulukosta sopiva kiinnitystapa ja lasketaan sen tavan mukaisilla kaavoilla γ - ja β -kertoimille arvot. Liitteen 1 taulukon mukaan kuvan 8 vasemman levyn kiinnitys on kiinnitystavan 2 mukainen ja oikea levy kiinnitystavan 10 mukainen. Kun levyjä limitetään ja leikataan, tulee tasoon useita erikokoisia levyjä. Kaikille erikokoisille levyille määritetään edellä mainitulla tavalla omat kertoimet.

Kiinnitystavan mukaiset kertoimet ottavat huomioon myös liittimien sijoittelun. Kuvassa 9 on kaksi kiinnitystapaa, joista oikeanpuolimaisessa liittimet ovat myös levyn päässä. Tällä tavalla saadaan levyn ja liittimien yhdistelmälle enemmän jäykkyyttä. Tämä tapa sopii paremmin seinien kuin yläpohjien levy-

tykseen, koska seinärungossa on tolpat ja vaakajuoksut levyn joka reunalla. Yläpohjan levytyksessä tätä kiinnitystapaa käytettäessä koolausväleihin on asennettava tiukkasovitteiset välikapulat, joihin levyn päät voidaan kiinnittää. Välikapuloiden asentaminen lisää työtä, ja yleensä yläpohjat levytetään kuvan 9 vasemmanpuolimaisella kiinnitystavalla. Liitteen 1 taulukossa on eri kiinnitystapoja vain yläpohjalevytyksen kiinnitykseen, missä levyn päätyihin ei sijoiteta liittimiä. Seinien kiinnitystapakertoimien laskentaan löytyy kirjallisuudesta lisää taulukoita.



KUVA 9. Levyn kiinnitystapoja (6, s. 6)

Jäykkyyskertoimen ja suurimman liitinvoiman laskeminen

Suurin leikkausvoima V_{max} jakautuu tason päädyissä oleville levyille niiden jäykkyyksien suhteessa. Levyn jäykkyyskerroin lasketaan kaavalla 7. Jokaiselle erikokoiselle levyille lasketaan oma jäykkyyskerroin. Koko levyjonon jäykkyyskerroin saadaan laskemalla yhteen yksittäisten levyjen jäykkyyskertoimet. Jos päätyjen levyjonot eivät ole identtisiä, lasketaan molempien päätyjen levyjonon jäykkyyskertoimet erikseen, kuten kuvan 7 tapauksessa levyjonoille 1-4 ja 5-8 tehdään. Levyjonoissa on myös eripituisia levyjä, mikä huomioidaan jäykkyyskertoimen laskennassa tekijällä H_i/H_{max} . Kipsilevyvalmistaja Gyproc arvioi leikatun kipsilevyn jäykkyyden 0,25-kertaiseksi leikkaamattoman levyn jäykkyydestä (8, s. 7). Tämä otetaan huomioon jäykkyyskertoimen laskennassa r-kertoimella.

Levyssä oleva suurin liitinvoima lasketaan jokaiselle eri jäykkyyden omaavalle levyille kaavalla 8. Kuvan 7 tapauksessa jäykkyyskerroin K_i ja suurin liitinvoima f_i lasketaan levyille 1, 2, 4, 5, 6 ja 8. Levyjen reunoilla olevien liittimien leikkauskestävyyksien mitoitusarvoja voidaan suurentaa kertoimella 1,2 (7, s. 146).

$$K_i = \frac{H_i}{H_{\max}} \cdot \frac{1}{\beta_i \cdot \frac{c \cdot H_i^2}{r \cdot k \cdot B_i^3} + \frac{H_i}{B_i \cdot G_i \cdot t_i}} \quad \text{KAAVA 7}$$

$$f_i = \frac{\gamma_i \cdot c \cdot \frac{K_i}{\sum K_i} \cdot V_i}{B_i} \leq F_i \quad \text{KAAVA 8}$$

K_i = levyn jäykkyyskerroin (N/mm)

H_i = levyn korkeus (mm)

H_{\max} = mitoitettavan levyjonon korkeimman levyn korkeus (mm)

β_i = levyille liitteen 1 taulukosta määritettävä kiinnitystapakerroin

c = liittimien k-jako (mm)

k = liittimen siirtymäkerroin (N/mm)

r = 0,25 leikatuilla kipsilevyillä, muussa tapauksessa 1

B_i = levyn leveys (mm)

G_i = levyn liukumoduuli (N/mm²)

t = levyn paksuus

f_i = levyssä oleva suurin liitinvoima (N)

γ_i = levyille taulukosta 1 määritettävä kiinnitystapakerroin

$\sum K_i$ = levyjonon jäykkyyskerroin (N/mm)

V_i = levyjonoa rasittava leikkausvoima (N)

F_i = liittimen leikkauskestävyyden mitoitusarvo (N)

Levyn lommahdus- ja paneelileikkauskestävyyden tarkastus

Levyrakenteiden mitoituksessa tarkistetaan, että yksittäisessä levyssä vaikuttava laskentaleikkausjännitys ei ylitä levyn kriittistä leikkausjännitystä lommahduksen suhteen eikä levyn laskentapaneelileikkauslujuus ylitä. Lommahdustarkastelussa huomioidaan vain levytykseen kohdistuvat leikkausjännitykset.

Yleensä lommahdus voi tapahtua vain ohuilla ja lujilla levyillä. Kipsilevyille ei tarvitse tehdä lommahdus- ja paneelileikkaustarkastelua, kun koolausjako ≤ 600 mm (8, s. 5).

Jäykistävässä tasossa olevan levyn lommahdus on epätodennäköisempää kuin seinälevyn lommahdus. Jäykistävän tason reunimmaista levyriiviä ja päätysei-

nää rasittaa samansuuruinen leikkausvoima V_{max} . Lomahdustarkastelussa huomioitava kiinnitystavan suhde ($a = \text{levyn pituus} / h = \text{koolausjako}$) on seinälevylle epäedullisempi lomahduksen kannalta kuin tasossa olevalle jäykistyslevylle, koska koolausjako on seinissä suurempi. Liitteessä 2 on taulukko, josta lomahduskerroin k määritetään a/h -suhteen ja kertoimen k_2 avulla.

Yksittäisessä levyssä vaikuttavan leikkausjännityksen tulee täyttää kaavan 9 ehto.

$$\tau = 1,5 \frac{V_{max}}{U \cdot t_u} \leq \min(\tau_{cr}; f_{vpd}) \quad \text{KAAVA 9}$$

τ = levyssä vaikuttava laskentaleikkausjännitys (N)

V_{max} = tason suurin leikkausvoima (N)

U = tason leveys (mm)

t_u = levyn paksuus (mm)

τ_{cr} = lomahdamiseen tarvittava kriittinen leikkausjännitys (N/mm²)

f_{vpd} = levyn laskentapaneelileikkauslujuus (N/mm²)

Jos kaavan 9 ehto ei toteudu ja levyssä vaikuttava leikkausjännitysrasitus murtorajatilassa ylittää kestävyden, levy lomahdtaa tai paneelileikkautuu riippuen siitä, kumpi kestävyys ylittyy ensin, levyn kriittinen leikkausjännitys vai paneelileikkauslujuus. Jos ehto toteutuu, levyn lomahdus ja leikkauskapasiteetin ylitys eivät ole mitoittavia tekijöitä yläpohjalevytyksen mitoituksessa. Kriittinen leikkausjännitys lomahduksen suhteen lasketaan kaavalla 10 ja lomahduskäyrästä kerroin k_2 kaavalla 11.

$$\tau_{cr} = 3,3kE_k \left(\frac{t_u}{h_u} \right)^2 \quad \text{KAAVA 10}$$

$$k_2 = \frac{2G_k}{E_k} \quad \text{KAAVA 11}$$

k = liitteen 2 lomahduskäyrästä saatava kerroin

E_k = levyn ominaiskimmomoduuli (N/mm²)

t_u = levyn paksuus (mm)

h_u = koolausväli (mm)

k_2 = lommahduskäyrästä kerroin

G_k = levyn ominaisliukumoduuli (N/mm²)

3.3 Levykentän siirtymä

Levykentän siirtymä muodostuu taivutusmomentin ja leikkausvoiman aiheuttamasta siirtymästä käyttörajatilan kuormitusarvoilla laskettuna. Tason siirtymä taivutusmomentin vaikutuksesta lasketaan kaavalla 12.

$$\delta_M = \frac{5PL^4}{192d^2A_tE_t}$$

KAAVA 12

δ_M = taivutusmomentista aiheutuva siirtymä (mm)

P = tasoon kohdistuva viivakuorma käyttörajatilassa (N/mm)

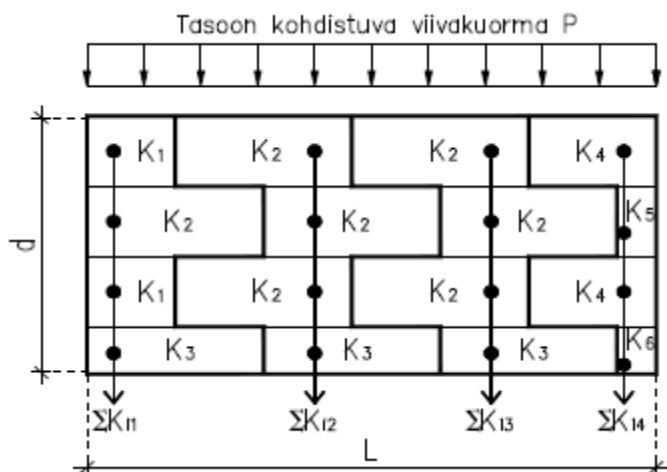
L = levypalkin jänneväli (mm)

d = paarteiden välinen etäisyys (mm)

A_t = parrepoikkileikkauksen ala (mm²)

E_t = parrepuun kimmomoduuli (N/mm²)

Laskettaessa leikkausvoiman osuutta tason siirtymästä käytetään laskelmissa keskimääräistä leikkausvoimaa V_{med} . Tason siirtymä keskimääräisestä leikkausvoimasta on levyjonojen siirtymien summa. Levyjonot muodostuvat kuvan 10 mukaisesti. Jos tason keskialueella on eri levykokoja kuin päätyjonoissa, lasketaan myös niille omat jäykkyykset aiemmin esitetyllä tavalla.



KUVA 10. Tason siirtymä leikkausvoimista lasketaan levyjonojen jäykkyysero-
toimien avulla (6, s. 14)

Leikkausvoimasta aiheutuva siirtymä δ_V lasketaan kaavalla 13.

$$\delta_V = \frac{V_{med}}{\Sigma K_{i1}} + \frac{V_{med}}{\Sigma K_{i2}} + \dots + \frac{V_{med}}{\Sigma K_{ii}} \quad \text{KAAVA 13}$$

δ_V = leikkausvoimasta aiheutuva siirtymä (mm)

V_{med} = keskimääräinen leikkausvoima (N)

ΣK_{i1} = levyjonon jäykkyyseroin (N/mm)

Tason siirtymä δ (tason keskikohdan taipuma) lasketaan kaavalla 14.

$$\delta = \delta_M + \delta_V \leq H/300 \quad \text{KAAVA 14}$$

Suunnitteluohjeen RIL 205-1-2009 (7, s. 90) mukaan rakennuksen vaakasiirtymän enimmäisarvo on $H/300$, jossa H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus. Eli yksiaukkoisen palkin tavoin toimivan tason pituudella ei ole merkitystä vaakasiirtymän enimmäisarvon laskemisessa, vaan tarkastellaan seinän maksimikaltevuutta jäykistävän tason korkeudella. Lisäksi ohjeen mukaan hallirakennuksien vaakasiirtymiä ei tarvitse tarkistaa, koska niistä ei yleensä ole haittaa. On muistettava lisätä tason vaakasiirtymään jäykistävien päätyseinien

vaakasiirtymä ennen kuin yhteenlaskettua kokonaissiirtymää verrataan vaakasiirtymän enimmäisarvoon $H/300$.

3.4 Kuormitussuunnan muuttuminen

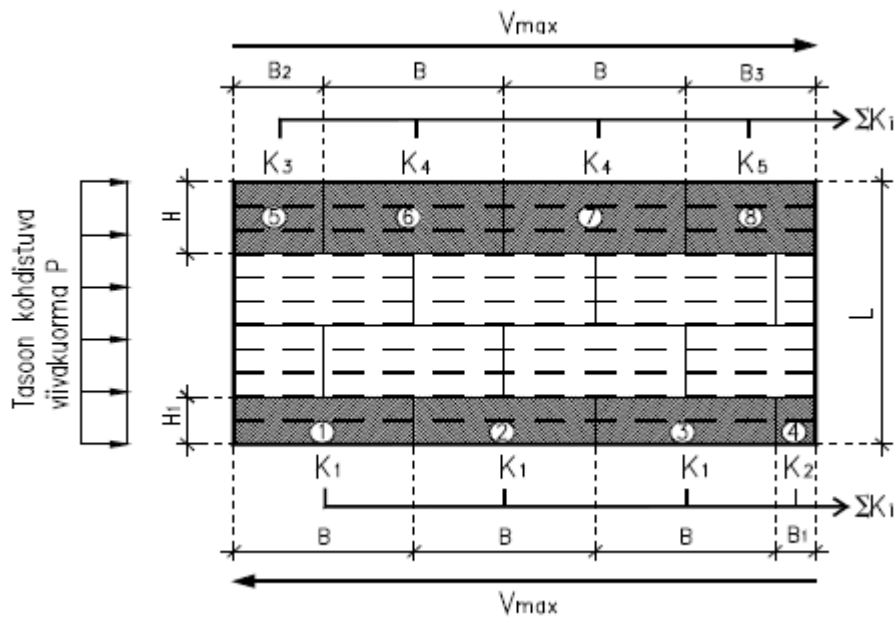
Jäykistävän tason kapasiteetti tarkistetaan myös toisen pääsuunnan, päädyn vaakakuormille. Mitoituksessa käytetään samoja periaatteita ja kaavoja kuin aikaisemmin. Suurin ero on levyjen kiinnitystavassa, koska kuorma on nyt samassa suunnassa kuin levyn pituussuunta ja koolaus.

Tässä kuormitussuunnassa jäykistävälle tasolle tuleva viivakuorma muodostuu päätyseinän puolikkaalle ja päätykolmiolle kohdistuvasta tuulenpaineesta. Kuormaan vaikuttaa päätyseinän rakenne ja kattorakenteiden sivuttaistuentatapa. Jos kattorakenne jäykistetään tukireaktiopukeilla, lasketaan niiden tukireaktiot yhteen tason päätyyn. Tällöin tasoa rasittavat viivakuorma ja samaan suuntaan vaikuttavat tukireaktiopukeilta tulevat pistekuormat.

Paarteina toimivat päätyseinillä olevat reunimmaisiet koolaussoirot, kuten kuvassa 3. Myös seinän yläjuoksua voi käyttää apuna, jos päätyseinärunko ei ole jatkuva vesikatolle saakka. Paarteiden mitoitus tapahtuu luvun 3.1 mukaan.

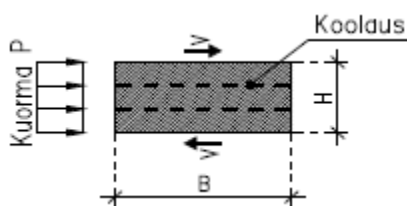
3.4.1 Levytyksen mitoitus

Leikkausvoima otetaan vastaan tason reunimmaisilla levyillä, kuten aikaisemmin on todettu. Kuvassa 11 näkyy rasteroituna tason leikkauskapasiteetin määräävät levyt tässä kuormitussuunnassa. Levyjen jäykkyyskertoimet ja liitinvoimat määritetään aikaisemmin esitetyillä kaavoilla 7 ja 8. Kuvan 11 tasolle jäykkyyskertoimet määritetään levyille 1, 4, 5, 6 ja 8.



KUVA 11. Toisen pääsuunnan leikkauskapasiteetin määräävät levyt rasteroituina (6, s. 16)

Kiinnitystapakertoimien määrityksessä kuorma, levyn pituussuunta ja koolaus ovat nyt samassa suunnassa. Levyn mitat vaihtuvat keskenään, eli kaavoihin sijoitetaan B-mitan tilalle H-mitta ja päinvastoin. Esimerkiksi kuvassa 12 on kuvan 11 tason kokonainen levy, jonka kiinnitystavalle valittaisiin liitteen 1 taulukosta kiinnitystapa 7, levyn mitat keskenään vaihdettuina. Jos sopivaa koolausjako ei löydy, valitaan kiinnitystapa, jossa on vähemmän koolaussoiroja.



KUVA 12. Toisessa pääsuunnassa kuorma, levy ja koolaus ovat samassa suunnassa, kun levy kiinnitetään yksinkertaiseen koolaukseen (6, s. 16)

Jäykkyyskertoimet lasketaan kaavalla 15, jossa kuormitussuunnan muutos huomioidaan laittamalla B-mitan tilalle H-mitta ja päinvastoin. Kaavasta on supistunut pois eripituisten levyjen huomioiva tekijä, koska levyjonon kaikki levyt

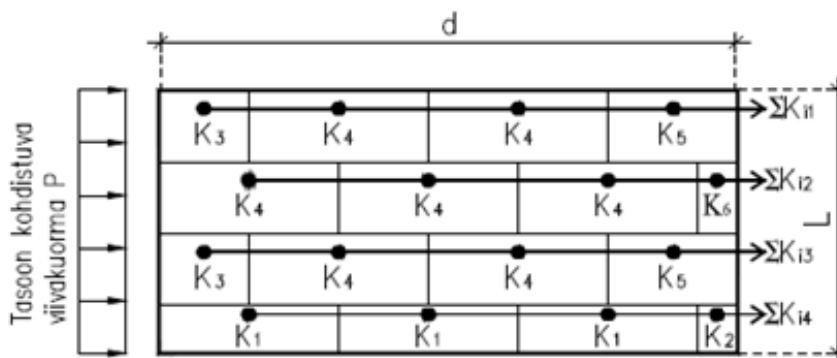
ovat yhtä korkeita. Levyssä oleva suurin liitinvoima lasketaan aikaisemmin esitettyllä kaavalla 8. Levyn lommahdus tutkitaan tarvittaessa samalla tavalla kuin toisessa kuormitus suunnassa.

$$K_i = \frac{1}{\beta_i \cdot \frac{c \cdot H_i^2}{r \cdot k \cdot B_i^3} + \frac{H_i}{B_i \cdot G_i \cdot t_i}}$$

KAAVA 15

3.4.2 Levykentän siirtymä

Keskikohdan siirtymä taivutusmomentista ja leikkausvoimasta lasketaan kuten aiemmin, sivuilla 20–21 olevilla kaavoilla 12 ja 13. Levyjonojen siirtymäkertoimet lasketaan yhteen kuvan 13 mukaisesti. Vaakasiirtymän kokonaisarvo on tason keskikohdan vaakasiirtymä ja sivuseinien yläreunan vaakasiirtymä yhteenlaskettuna. Kokonaisarvoa verrataan enimmäisarvoon $H/300$.



KUVA 13. Levyjonojen jäykkyyksertoimien laskeminen toisessa kuormitus suunnassa (6, s. 17)

4 LASKENTASOVELLUKSEN ESITTELY

Tämän työn tavoitteena on kehittää laskentasovellus, jolla voidaan määrittää vaakarakenteen jäykistyskapasiteetti. Sovelluksen suunnittelussa ominaisuuksia joudutaan yleensä rajaamaan. Tässä työssä kehitettävällä Excel-sovelluksella voidaan tarkastella yksiaukkoisena palkkina toimivaa yläpohjarakennetta, eli perusrakennetta, jossa vaakakuormat siirretään yläpohjan ja ulkoseinien kautta perustuksille. Sovellus laskee rakennukseen kohdistuvat tuulikuormat, tarkistaa paarrepoikkileikkauksen kestävyys, laskee levykentässä olevan suurimman liitinvoiman ja laskee levykentän keskikohdan siirtymän molemmissa pääsuunnissa.

4.1 Sovelluksen ulkoasu ja rakenne

Sovelluksen ulkoasuun on otettu mallia Puuinfon verkkosivuilta ladattavissa olevista Excel-mitoitusohjelmista. Sovelluksen rakenne jakautuu neljälle sivulle, jotka on esitetty liitteessä 3. Ensimmäiselle sivulle syötetään rakennuksen ja rakennuspaikan tiedot sekä jäykistävän levykentän rakenne. Tiedot syötetään violetin värisiin soluihin ja alasvetovalikoista valitaan sopivat ominaisuudet. Ensimmäisellä sivulla on myös linkki kirjastoon, missä on käytössä olevien levyjen ja kiinnikkeiden ominaisuudet, kiinnitystapakertoimet ja koolausmateriaalin ominaisuudet. Sovellus hakee kirjastosta automaattisesti laskennassa tarvittavia tekijöitä. Käyttäjä voi lisätä kirjastoon levy-kiinnike-yhdistelmiä ja kiinnitystapakertoimia sekä koolausmateriaaleja. Kirjastoon tehdyt lisäykset ovat valittavissa ensimmäisen sivun alasvetovalikoista. Käyttäjä voi hakea apua tiedon syöttämiseen viemällä kohdistimen ensimmäisellä sivulla olevien info-tekstien kohdalle.

Kolme jälkimmäistä sivua ovat tulosten lukemista varten. Niistä ensimmäiselle sivulle sovellus laskee rakennukseen kohdistuvan tuulikuorman molemmissa pääsuunnissa. Toisella sivulla tarkistetaan vetopaarteiden ja liittimien kestävyys ja viimeisellä sivulla yläpohjan siirtymä. Tulossivuilla on kunkin osa-alueen alapuolella harmaan kehyksen sisällä tekijät, joita sovellus käyttää laskennassa. Itse laskenta tapahtuu taustalla.

4.2 Laskenta ja mitoitus

Tuulikuormat

Tuulikuormat lasketaan voimakertoimen c_f avulla suunnitteluohjeen RIL 201-1-2011 mukaan matalille rakennuksille (3, s. 136). Kun rakennuksen korkeus on pienempi kuin sen leveys, oletetaan koko rakennukseen kohdistuvalle tuulenpaineelle harjalla vallitsevan tuulenpaineen arvo. Sovellus interpoloi maastoluokan ja harjakorkeuden mukaan laskennassa tarvittavan puuskanopeuspaineen arvon. Myös voimakerroin c_f interpoloidaan tehollisen hoikkuuden λ ja rakennuksen sivusuhteen d/b avulla, vaikka yleensä umpinaiselle rakennukselle saa käyttää arvoa 1,3 (7, s. 196). Kuvassa 14 näkyy taustalla tapahtuvaa laskentaa.

Puuskanopeuspaineen $q_{p(h)}$ laskeminen maastoluokan ja harjakorkeuden mukaan													
ML	Korkeus h(m)												
	0	1	2	5	8	10	15	20	25	30	35	40	
0	0,66	0,66	0,78	0,96	1,05	1,09	1,18	1,24	1,29	1,33	1,37	1,40	
1	0,42	0,42	0,52	0,65	0,73	0,76	0,83	0,88	0,92	0,95	0,98	1,01	
2	0,39	0,39	0,39	0,53	0,61	0,65	0,72	0,77	0,82	0,85	0,88	0,91	
3	0,35	0,35	0,35	0,35	0,43	0,47	0,55	0,60	0,65	0,68	0,72	0,74	
4	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,40	0,45	0,50	0,54	0,57	0,60	

Maastoluokka	Väliarvojen interpolointi												
2	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">korkeus h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>5,5</td> <td>8</td> </tr> <tr> <th colspan="3">Puuskanopeuspaine $q_p(h)$</th> </tr> <tr> <td>0,53</td> <td>0,543</td> <td>0,61</td> </tr> </tbody> </table>	korkeus h			5	5,5	8	Puuskanopeuspaine $q_p(h)$			0,53	0,543	0,61
korkeus h													
5	5,5	8											
Puuskanopeuspaine $q_p(h)$													
0,53	0,543	0,61											

KUVA 14. Sovellus interpoloi puuskanopeuspaineen maastoluokan ja harjakorkeuden mukaan

Paarteet

Vetopaarteet mitoitetaan luvussa 3.1 esitetyllä tavalla. Valitun parrepoikkileikkauksen kestävyys tarkistetaan molemmissa pääsuunnissa. Sovellus ei laske parrejatkoksesta tarvittavaa naulamäärää.

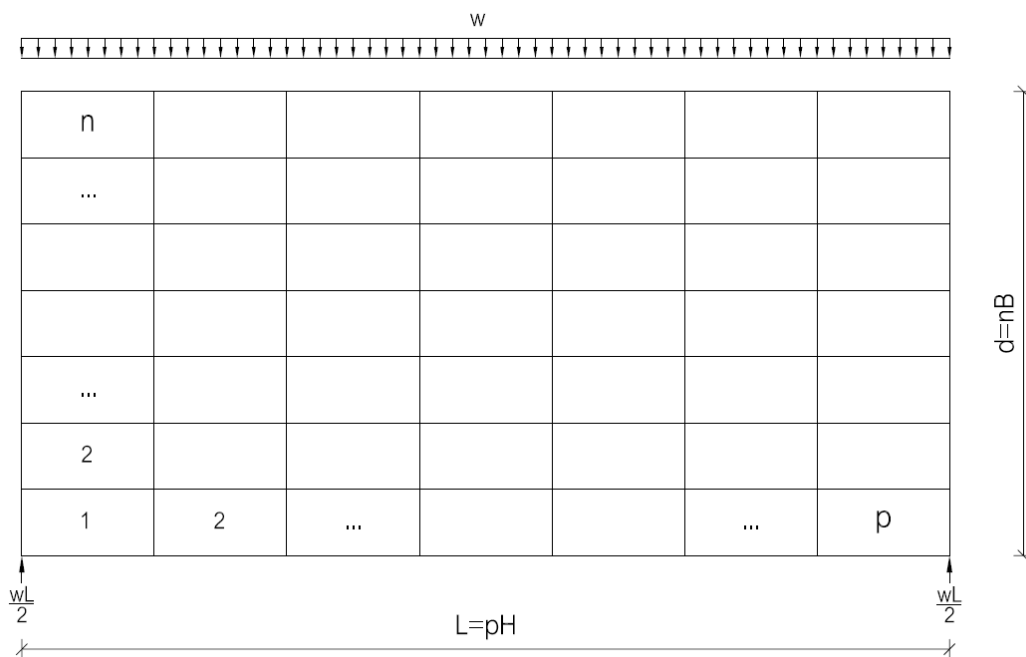
Kiinnitystapakertoimet

Sovelluksen kirjastossa on valmiina käytössä kaksi koolausjakoa yksinkertaiselle koolaukselle. Niille sovellus laskee kiinnitystapakertoimet valitun levykoon mukaan molemmissa pääsuunnissa. Sovellukseen oli tarkoitus tehdä levyn kiinnitykselle kaksi valintamahdollisuutta, jotka on esitetty kuvassa 9, mutta toi-

selle pääsuunnalle ei kirjallisuudesta löytynyt kaavoja kiinnitystapakertoimien laskemiseen. Kertoimet lasketaan kiinnitystavalla, jossa liittimiä ei ole levyn päädyissä.

Levykentän malli sovellukselle

Levykentän levytyks yksinkertaistetaan sovellusta varten kuvan 15 mukaiseksi. Laskenta helpottuu, koska sovelluksen ei tarvitse käsitellä kavennettuja ja limitystä varten katkaistuja levyjä ja niiden sijoittumista tasoon.



KUVA 15. Sovellukseen syötettävän levykentän malli

Levykentän koko lasketaan rakennuksen ulkomittojen ja seinärakenteen paksuuden avulla. Tarkka levykentän koko on ulkoseinien sisälevyjen sisäpintojen rajaama pinta-ala. Sovellus laskee käyttäjän valitseman jäykistävän levykoon mukaan, montako kokonaista levyä tasoon mahtuu peräkkäin ja vierekkäin.

Suurin liitinvoima ja levykentän siirtymät ($\Phi = 0^\circ$)

Levykentässä olevan suurimman liitinvoiman ja siirtymien laskennassa käytetään Leskelän (5, s. 30–35) johtamia kaavoja. Kaavalla 16 lasketaan suurin liitinvoima f_{Ed} . Kaavaan 8 verrattuna siitä on supistunut levyn jäykkyyskerroin pois, koska levykentän reunimmaisessa jonossa kaikilla levyillä on sama jäyk-

kyyskerroin. Lisänä on tullut jakajaan tekijä n , joka on levykentässä olevien levyjen määrä vierekkäin tässä kuormitus suunnassa. Lisäksi kuorma käsitellään sovelluksessa viivakuormana, jolloin kaavassa on mukana palkin jänneväli. Tekijät esitellään samoilla merkinnöillä kuin niitä sovelluksessa käytetään.

$$f_{Ed,0} = \frac{\gamma_{sivu} \cdot c \cdot w_{d,sivu} \cdot L_{kenttä,0}}{2nB}$$

KAAVA 16

$f_{Ed,0}$ = levyssä oleva suurin liitinvoima murtorajatilassa (N)

γ_{sivu} = levyn kiinnitystapakerroin

c = liittimien k-jako (mm)

$w_{d,sivu}$ = tasoon kohdistuva viivakuorma (N/mm)

$L_{kenttä,0}$ = levypalkin jänneväli (mm)

n = levyjen määrä vierekkäin

B = levyn leveys (mm)

Suurinta liitinvoimaa verrataan liittimen leikkauskestävyyteen f_{Rd} , minkä arvon sovellus hakee kirjastosta käytössä olevan levyn kohdalla. Liittimen leikkauskestävyyssarvot saadaan kertoa luvulla 1,2 (3, s. 146). Jos käytetään kipsilevyä pituudeltaan yli 2 400 mm, kapasiteettia pienennetään levyvalmistajan ohjeen mukaisesti.

Kaavalla 17 lasketaan levykentän siirtymä. Kaava on yhdistelmä kaavoista 7, 12, 13 ja 14. Kaavan alkuosa huomioi siirtymän taivutusmomentista, ja loppuosa laskee leikkausvoimasta aiheutuvan siirtymän leikkausvoiman keskimääräisellä arvolla.

$$\delta = \delta_M + \delta_V = \frac{5w_{k,sivu} \cdot L_{kenttä,0}^4}{192d_{kenttä,0}^2 \cdot A_t E_t} + \left(\beta_{sivu} \frac{c}{k} \frac{H^2}{B^3} + \frac{H}{BGt} \right) \frac{p \cdot w_{k,sivu} \cdot L_{kenttä,0}}{8n}$$

KAAVA 17

δ = tason siirtymä (mm)

$w_{k,sivu}$ = tasoon kohdistuva viivakuorma (N/mm)

$L_{kenttä,0}$ = levypalkin jänneväli (mm)

$d_{kenttä,0}$ = paarteiden välinen etäisyys (mm)

A_t = parrepoikkileikkauksen ala (mm²)

E_t = paarrepuun kimmomoduuli (N/mm²)

β_{sivu} = levyn kiinnitystapakerroin

c = liittimien k-jako (mm)

k = liittimen siirtymäkerroin (N/mm)

H = levyn pituus (mm)

B = levyn leveys (mm)

G = levyn liukumoduuli (N/mm²)

t = levyn paksuus

p = levyjen määrä peräkkäin

n = levyjen määrä vierekkäin

Sovellus ei laske seinän vaakasuuntaista siirtymää. Kun seinien jäykistysmitoitus tehdään käsin tai jollakin toisella sovelluksella, voidaan sieltä saatu seinän vaakasuuntaisen siirtymän arvo ilmoittaa sovelluksessa. Sovellus laskee yhteen taivutusmomentin ja leikkausvoiman aiheuttamat siirtymät ja käyttäjän ilmoittaman seinän siirtymän. Siirtymän käyttöaste lasketaan vertaamalla kokonaissiirtymää suunnitteluohjeissa ilmoitettuun vaakasiirtymän enimmäisarvoon $H/300$.

Mitoitus toisessa suunnassa ($\Phi = 90^\circ$)

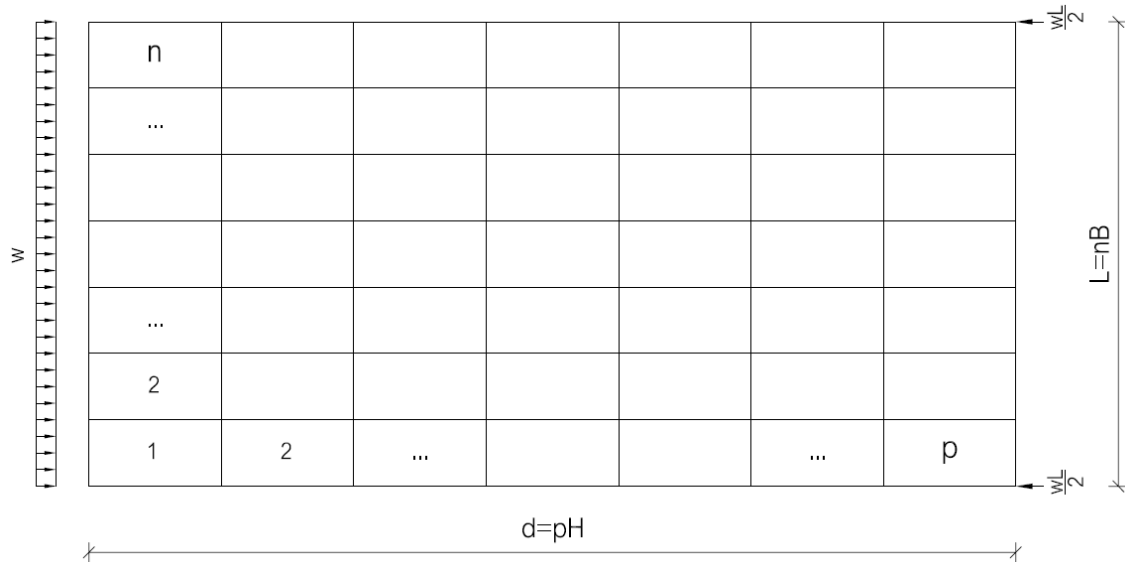
Toisen pääsuunnan mitoituksessa suurimmalle liitinvoimalle ja siirtymille käytetään kaavoja 16 ja 17 muokattuina. Tässä suunnassa viivakuorma kohdistuu tason päätyyn ja tason sivumitat vaihtavat keskenään paikkoja kuvan 16 mukaisesti. Sovellus poimii käyttöönsä kirjastosta toisen kuormitussuunnan mukaiset kiinnitystapakertoimet. Kaavoissa levyjen määrää merkitsevät p ja n sekä levyn mitat B ja H vaihtavat keskenään paikkoja. Kaavalla 18 lasketaan suurin liitinvoima rakennuksen pitkittäissuunnassa.

$$f_{Ed,90} = \frac{\gamma_{pääty} \cdot c \cdot w_{d,pääty} \cdot L_{kenttä,90}}{2pH}$$

KAAVA 18

Sovellus laskee kaavalla 19 yläpohjan siirtymän rakennuksen pitkittäissuunnassa.

$$\delta = \delta_M + \delta_V = \frac{5w_{k,pääty} \cdot L_{kenttä,90}^4}{192d_{kenttä,90}^2 \cdot A_t E_t} + \left(\beta_{pääty} \frac{c B^2}{k H^3} + \frac{B}{HGt} \right) \frac{n \cdot w_{k,pääty} \cdot L_{kenttä,90}}{8p} \quad \text{KAAVA 19}$$



KUVA 16. Levykentän malli toisessa kuormitussuunnassa

Lomahdustarkastelu

Levyn lommahtamista ei tutkita tällä sovelluksella. Seinälevyn lommahtaminen tapahtuu yleensä ennen yläpohjalevyn lommahtamista, joten lomahdustarkastelua ei ole katsottu tarpeelliseksi toteuttaa ohjelmallisesti.

5 YLÄPOHJAN MITOITUSESIMERKIT JA TULOSTEN VERTAILU

Liitteessä 4 on esitetty kaksi laskuesimerkkiä kipsilevyillä jäykistetyn yläpohjan mitoituksesta. Esimerkeillä on tarkoitus osoittaa, että sovellus laskee oikein kokonaisista ei-limitetyistä levyistä muodostuvan levykentän jäykistysmitoituksen. Lisäksi tarkastellaan tilannetta, jossa levytys on asennettu limitetysti. Tarkoituksena on selvittää, riittääkö limitetyn levykentän jäykistyskapasiteetti, kun mukana on kokonaisia ja leikattuja kipsilevyjä, jotka kiinnitetään kokonaisille levyille suunnitellulla liitinvälillä.

Laskuesimerkki 1

Laskuesimerkki 1 on laskettu samoilla lähtöarvoilla kuin liitteenä 3 olevassa sovelluksen rakenteen esittelyssä on nähtävillä. Laskelmat on tehty samoilla kaavoilla, joita sovelluskin käyttää, eli laskuesimerkissä on esitetty sovelluksen taustalla tapahtuvaa laskentaa. Leikkausvoimasta aiheutuva siirtymä lasketaan myös teoriaosassa esitetyllä tavalla, jossa siirtymä saadaan levyjonojen siirtymien summana.

Käsin ja sovelluksella laskettu yläpohjan jäykistysmitoitus samoilla lähtöarvoilla tuottaa samat tulokset. Lisäksi sovelluksen käyttämällä kaavalla ja levyjonojen siirtymien kautta laskettavalle siirtymälle saatiin sama lopputulos. Sen perusteella voidaan todeta, että sovellus laskee oikein, kun yläpohjassa on kokonaisia ei-limitettyjä jäykistyslevyjä asennettuna suunnitelmien mukaisesti.

Laskuesimerkki 2

Laskuesimerkki 2:ssa on mitoiltaan ja kuormitukseltaan samanlainen jäykistävä yläpohja kuin ensimmäisessä esimerkissä. Esimerkit eroavat toisistaan vain levyjen limityksessä, sillä tässä esimerkissä mitoitettu yläpohja on levytetty puolen levyn limityksellä. Tällä esimerkillä on tarkoitus tarkistaa, onko tason jäykistyskapasiteetti riittävä, jos levytys asennetaan yleisen rakennustavan mukaisesti limitettynä, vaikka todellisuudessa taso on mitoitettu kokonaisille, ei-limitetyille levyille.

Laskuesimerkki paljastaa, että määrääväksi tekijäksi nousee liittimien leikkauskapasiteetin ylittyminen tason päätyjonoissa. Kapasiteetti ylittyy selvästi 120

mm:n liitinvälillä, kun tason päätyyn asennetaan limityksen takia leikattuja kipsilevyjä. Laskuesimerkki 1:ssä saatiin 120 mm:n liitinvälillä 96 prosentin käyttöaste liittimen kestävyydelle. Tässä käyttöaste on 167 prosenttia. Liitinväliä tihentämällä 70 mm:iin käyttöaste laskee 94 prosenttiin.

Tällä liitinjaolla limitetyn levykentän siirtymäksi saadaan käsin laskemalla

$$\delta = \delta_M + \delta_V = (2,50 + 2,09) \text{ mm} = 4,59 \text{ mm.} \quad c = 70 \text{ mm}$$

Sovelluksella laskettuna samankokoinen levykenttä ei-limitettynä ja 70 mm:n liitinvälillä tuottaa tulokseksi siirtymän

$$\delta = \delta_M + \delta_V = (2,50 + 1,90) \text{ mm} = 4,40 \text{ mm.} \quad c = 70 \text{ mm}$$

Tällä liitinjaolla liittimien leikkauskapasiteetista on vain 56 prosenttia käytössä sovelluksen mukaan. Siirtymät kasvavat vain vähän, koska tasossa on limitettynäkin levyjonoja, joissa on pelkästään kokonaisia levyjä. Leikkausvoimasta aiheutuva siirtymä on 10 % suurempi levyt limitettynä.

Tulosten perusteella voidaan sanoa, että sovelluksella kestäväksi mitoitettun ei-limitetyistä levyistä muodostuvan yläpohjan reunimmaisat levyjonot liittimiseen eivät voi välittää maksimileikkausvoimaa jäykistäville päätyseinille. Tämä on mahdollista tilanteessa, jossa levytys asennetaan todellisuudessa limitettynä ja kiinnitetään ei-limitetyille levyille suunnitellulla liitinvälillä, jolla on jo valmiiksi suuri käyttöaste. Tässä laskuesimerkissä liittimet saatiin kestävästi tihentämällä liitinväliä kipsilevyvalmistajan ilmoittamaan pienimpään liitinväliin 70 mm:iin. Jos liittimien lisääminen ei olisi riittänyt, seuraava askel olisi ollut levytyypin vaihtaminen jäykkyysominaisuuksiltaan parempaan materiaaliin.

6 YHTEENVETO

Yläpohjan jäykistyskapasiteetin määrittäminen on käsin laskemalla hidas työvaihe rakennesuunnittelussa. Mitoituksessa ei yleensä riitä yksi laskentakerta, vaan lopputulosta haarukoidaan iteratiivisella laskennalla lähimmäksi toteutettavissa olevaa rakennetta. Käsinlaskenta ei ole tehokasta ja järkevää tällaisessa tilanteessa, koska tietokonesovelluksella sopivia ratkaisuja voidaan hakea helposti ja nopeasti jo suunnittelun alkuvaiheessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä jäykistävän vaakarakenteen mitoittava laskentasovellus pientaloja ja hallirakennuksia valmistavan yrityksen käyttöön. Sovellus tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Sen suunnittelussa keskityttiin yksikerroksiseen suorakaiteen muotoiseen rakennukseen, jonka jäykistys on toteutettu yläpohjan ja ulkoseinien levyjäykistyksellä. Suunnittelun tueksi työssä esitettiin jäykistävän levykentän toiminta ja mitoitus yksiaukkoisena palkkina toimivalle yläpohjatasolle. Sovelluksen oikeinlaskua kokonaisille ei-limitetyille levykentille tarkasteltiin laskuesimerkkien avulla.

Työ aloitettiin tutustumalla rakennuksen jäykistystä käsittelevään kirjallisuuteen, yleisiin suunnitteluohjeisiin, insinööritöihin ja levyvalmistajan ohjeisiin. Alustavaa suunnittelua sovelluksen ulkoasusta, rakenteesta ja sisällöstä tehtiin paperille. Mitoituksessa tarvittaviin kaavoihin ja jäykistysmitoituksen kulkuun tutustuttiin laskemalla yläpohjan jäykistys kuvitteellisille rakennuksille. Käsin laskettuja tuloksia verrattiin sovelluksella laskettuihin arvoihin. Sovelluksen rakenne pyrittiin pitämään selkeänä ja helppokäyttöisenä esittämällä asioita ja ominaisuuksia taulukoissa. Sovellus poimii laskentaan tekijöitä taulukoista funktioiden avulla. Näin työssä päästiin tutustumaan Excelin tarjoamiin funktioihin ja myös vba-ohjelmointiin.

Työssä tehdyllä Excel-sovelluksella voidaan laskea rakennukseen kohdistuva kokonaistuulikuorma, jäykistävässä yläpohjassa oleva suurin liitinvoima, tarkistaa levykentän reunoilla olevien paarteiden vetokestävyys ja laskea yläpohjan vaakasuuntainen siirtymä rakennuksen molemmissa pääsuunnissa. Laskuesi-

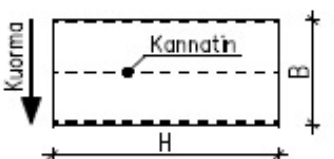
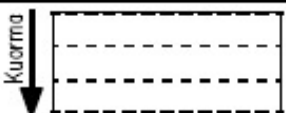

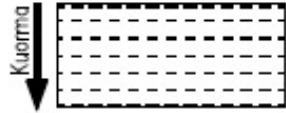


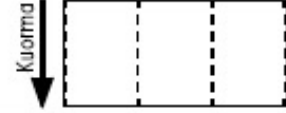
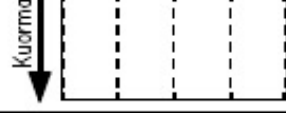


merkkien perusteella sovellus laskee oikein kokonaisista ei-limitetyistä jäykistyslevyistä muodostuvan yläpohjan jäykistysmitoituksen.

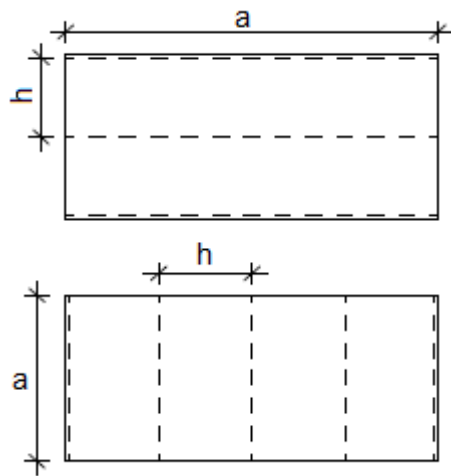
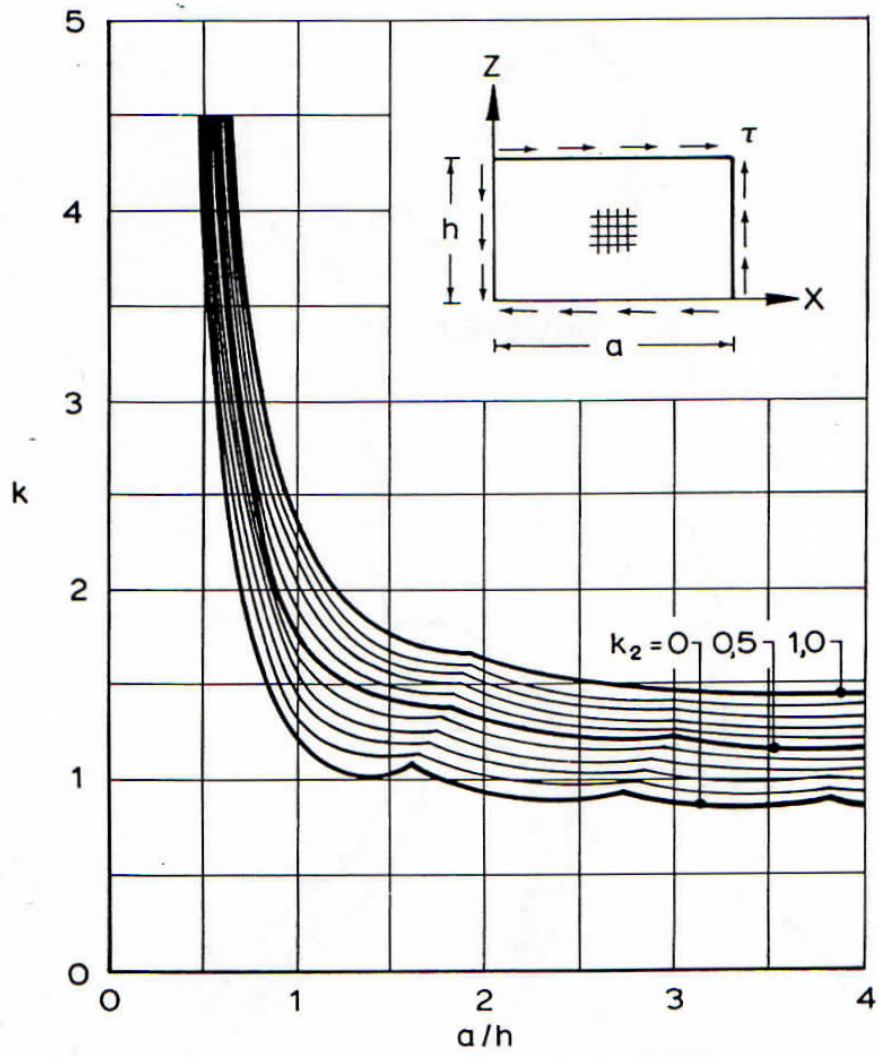
Sovellukseen on mahdollista syöttää vain ehjiä levykenttiä, mikä selkeästi rajaa sen käytettävyyttä. Pientaloissa on yläpohjalevytyksessä yleensä epäjatkuvuuskohtia väliseinien kohdilla, joten työssä tehty sovellus sopii paremmin hallirakennusten yläpohjien tarkasteluun.


Laskentasovelluksen ominaisuuksia tullaan luultavasti kehittämään pientalojen suunnittelua varten. Rakennusten mitat ovat harvoin sopivia kokonaisille levyille, joten levyjä joudutaan usein leikkaamaan asennuksen yhteydessä. Sen vuoksi sovellusta tulisi kehittää siten, että se huomioi jäykistyksessä myös levykenttien reunoilla olevat leikatut levyt. Nykyajan pientalot ovat usein kahdessa kerroksessa ja välipohjassa voi olla isoja aukkoja. Päällekkäisten tasojen käyttö jäykistyksessä ja mahdollisuus syöttää sovellukseen aukollisia tasoja ovat myös kehitettäviä asioita. Lisäksi jatkuvan palkin toimintamalliin perustuva jäykistystason mitoitus olisi tarpeellinen jäykistävien sisäseinien yhteydessä. Mitoitus monipuolistuisi vielä lisää, jos sovelluksella voisi tarkastella ulokkeellisena palkkina toimivaa jäykistävää tasoa.


LÄHTEET

1. Puurakenteiden jäykistysuunnittelu, ohje. 2006. VTT. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=74099&lan=FI>. Hakupäivä 15.3.2011.
2. Virkkunen, Teppo 2001. Puurakenteisen hallin levyjäykistys. Oulu: Oulun yliopisto, rakentamistekniikan osasto, rakennetekniikan laboratorio. Diplomityö.
3. RIL 201–1–2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suunnitteluohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
4. Pieviläinen, Mikko 2005. Levyjäykisteisen pientalon seinärakenteen toiminta ja mitoitus. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö. Insinöörityö.
5. Leskelä, Jarmo 1994. Puulevyjäykisteisen seinä- ja yläpohjarakenteen staattinen toiminta ja mitoitus. Oulu: Oulun yliopisto, rakentamistekniikan osasto, rakennetekniikan laboratorio. Diplomityö.
6. Asuinrakennuksen rakennesuunnitteluohje. 2002. Alakaton levyjäykistys. Saatavissa: http://www.puuelementtiteollisuus.fi/fi/?_EVIW_WYSIWYG_FILE=6475&name=file. Hakupäivä 29.2.2012.
7. RIL 205–1–2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Suunnitteluohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
8. Gyproc rakennuslevyjien GN13, GEK13 ym. käyttö rankarakenteisten rakennusten jäykistämiseen. 2011. Suunnittelu-arvot ja taulukkomitoitusohjeet. Saatavissa: http://www.gyproc.fi/Download/21903/Levyt%20ja%20Glasroc%20ja%20Rigidur%20ja%20tuplalevytyks%20Eurocode%20%20Ruuvit%20RIL%20205-1-2009%2025.11.2011_secure.pdf. Hakupäivä 24.2.2012.

Levyn kiinnitystapa	γ - kerroin	β - kerroin
<p>1</p> 	$\sqrt{\frac{4}{\left(\frac{H}{B}\right)^2} + 1}$	$\frac{4}{\left(\frac{H}{B}\right)^3} + \frac{2}{\left(\frac{H}{B}\right)}$
<p>2</p> 	$\sqrt{\frac{9}{4\left(\frac{H}{B}\right)^2} + \frac{81}{100}}$	$\frac{3}{\left(\frac{H}{B}\right)^3} + \frac{9}{5\left(\frac{H}{B}\right)}$
<p>3</p> 	$\sqrt{\frac{36}{25\left(\frac{H}{B}\right)^2} + \frac{16}{25}}$	$\frac{12}{5\left(\frac{H}{B}\right)^3} + \frac{8}{5\left(\frac{H}{B}\right)}$
<p>4</p> 	$\sqrt{\frac{36}{49\left(\frac{H}{B}\right)^2} + \frac{81}{196}}$	$\frac{12}{7\left(\frac{H}{B}\right)^3} + \frac{9}{7\left(\frac{H}{B}\right)}$
<p>5</p> 	$\sqrt{\frac{4}{9\left(\frac{H}{B}\right)^2} + \frac{64}{225}}$	$\frac{4}{3\left(\frac{H}{B}\right)^3} + \frac{16}{15\left(\frac{H}{B}\right)}$
<p>6</p> 	$\sqrt{1 + \frac{4}{\left(\frac{B}{H}\right)^2}}$	$\frac{2}{5\left(\frac{H}{B}\right)^2} + 4$
<p>7</p> 	$\sqrt{\frac{81}{100} + \frac{9}{4\left(\frac{B}{H}\right)^2}}$	$\frac{18}{10\left(\frac{H}{B}\right)^2} + 3$
<p>8</p> 	$\sqrt{\frac{16}{25} + \frac{36}{25\left(\frac{B}{H}\right)^2}}$	$\frac{8}{5\left(\frac{H}{B}\right)^2} + \frac{12}{5}$
<p>9</p> 	$\sqrt{\frac{81}{196} + \frac{36}{49\left(\frac{B}{H}\right)^2}}$	$\frac{9}{7\left(\frac{H}{B}\right)^2} + \frac{12}{7}$
<p>10</p> 	$\sqrt{\frac{64}{225} + \frac{4}{9\left(\frac{B}{H}\right)^2}}$	$\frac{16}{15\left(\frac{H}{B}\right)^2} + \frac{4}{3}$



 FASADI Iin Fasadi Oy, Karpalotie 15, 91100 Ii 0207 400 900 www.iinfasadi.fi		Sisältö Yläpohjan jäykistysmitoitus (EC5)	Sivun numero 1/4
Päiväys 2.2.2013		Suunnittelija Juha Tolonen	Työn numero F2765
RAKENNUKSEN MITAT JA MAASTOLUOKKA		Info	
Sivuseinän pituus	$L_{\text{sivu}} =$	<input type="text" value="17,4"/>	m
Päätyseinän pituus	$L_{\text{pääty}} =$	<input type="text" value="7,8"/>	m
Seinän korkeus		<input type="text" value="2,6"/>	m
Seinärakenteen paksuus		<input type="text" value="300"/>	mm
Maanpinnan ja perustuksen välinen etäisyys		<input type="text" value="0,5"/>	m
Katon pituus		<input type="text" value="18,5"/>	m
Katon korkeus		<input type="text" value="2"/>	m
Maastoluokka		<input type="text" value="3"/>	
JÄYKISTÄVÄ VAAKARAKENNE		Info	
Yläpohja jäykistetään kipsilevyillä tai havuvanerilla, jotka kiinnitetään ruuveilla tai nauloilla ristikon alapaarteisiin kohtisuoraan kiinnitettyihin ruoteisiin. Veto- ja puristuspaarteina käytetään yläpohjan reunimmaisia koolauspuita. Kapasiteetin ylittyessä lisätään vierelle toinen koolaus.			
Jäykistävä levy + liitin		<input type="text" value="Kipsilevy GN13 + QT29 / QM-ST32"/>	<input type="button" value="KIRJASTO"/>
Lewyn koko	pituus leveys paksuus	$H =$ $B =$ $t =$	<input type="text" value="2400"/> <input type="text" value="1200"/> <input type="text" value="12,5"/> mm
Liitinväli		$c =$	<input type="text" value="120"/> mm
Jäykistävän levykentän koko	pituus leveys	$L_{\text{kenttä}} =$ $d_{\text{kenttä}} =$	<input type="text" value="16800"/> <input type="text" value="7200"/> mm
Kokonaiset levyt	peräkkäin vierekkäin	$p =$ $n =$	<input type="text" value="7"/> <input type="text" value="6"/> kpl
Koolausmateriaali	lujuusluokka koko määrä koolausväli	<input type="text" value="C14"/> $x*y =$ <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="k300"/>	<input type="text" value="32"/> <input type="text" value="60"/> mm ² <input type="text" value="2"/> kpl

 FASADI Iin Fasadi Oy, Karpalotie 15, 91100 Ii 0207 400 900 www.iinfasadi.fi		Sisältö Yläpohjan jäykistysmitoitus (EC5)	Sivu 2/4
Päiväys 2.2.2013		Suunnittelija Juha Tolonen	Rakennuskohde Esimerkkikohde Työn numero F2765

RAKENNUKSEEN KOHDISTUVAT TUULIKUORMAT

Tuulikuormat lasketaan ohjeen RIL 201-1-2011 Osa 1.4 mukaan. Tässä sovelluksessa kokonaistuulikuorma lasketaan voimakertoimen c_f avulla.

Tuuli kohdistuu sivuseinälle ($\Phi = 0^\circ$), jolloin tuulikuorman vaikutusala on sivuseinän yläosan ja vesikatkon pystyprojektion muodostama pinta-ala.

Kokonaistuulikuorma $F_{w,k,sivu} = 28,2$ kN KRT


Yläpohjatasolle tasainen tuulikuorma $w_{k,sivu} = 1,68$ kN/m KRT
 $w_{d,sivu} = 2,52$ kN/m MRT

Tuuli kohdistuu päätyseinälle ($\Phi = 90^\circ$), jolloin tuulikuorman vaikutusala on päätyseinän yläosan ja päätykolmion muodostama pinta-ala.

Kokonaistuulikuorma $F_{w,k,pääty} = 6,57$ kN KRT

Yläpohjatasolle tasainen tuulikuorma $w_{k,pääty} = 0,91$ kN/m KRT
 $w_{d,pääty} = 1,37$ kN/m MRT

$c_s c_d$	1	<i>Rakennekerroin</i>
$c_{f,sivu}$	1,341	<i>Voimakerroin ($\Phi = 0$)</i>
$c_{f,pääty}$	1,038	<i>Voimakerroin ($\Phi = 90$)</i>
$q_p(h)$	0,353 kN/m ²	<i>Nopeuspaineen arvo harjan korkeudella</i>
$A_{ref,sivu}$	59,62 m ²	<i>Tuulikuorman vaikutusala</i>
$A_{ref,pääty}$	17,94 m ²	<i>Tuulikuorman vaikutusala</i>

 FASADI Iin Fasadi Oy, Karpalotie 15, 91100 Ii 0207 400 900 www.iinfasadi.fi		Sisältö	Sivu
		Yläpohjan jäykistysmitoitus (EC5)	3/4
		Rakennuskohde	Työn numero
		Esimerkkikohde	F2765
Päiväys	Suunnittelija		
2.2.2013	Juha Tolonen		

VETOPAARTEIDEN MITOITUS

Paarteena toimivalla levykentän reunimmaisella seinään kiinnitetyllä koolauspuulla ei ole lommahdusvaaraa poikkileikkauksen molemmissa suunnissa. Mitoitavaksi tekijäksi tulee paarteen vetokestävyys, joka on puristuskestävyyttä pienempi.

Paarrepoikkileikkauksen ala $A_t = 3840$ mm²
 Vaadittu poikkipinta-ala sivuseinällä $A_{t,sivu} = 1962$ mm² **OK!**
 Vaadittu poikkipinta-ala päätyseinällä $A_{t,päätty} = 84$ mm² **OK!**


$w_{d,sivu}$	2,52	N/mm	Yläpohjatasolle tasainen tuulikuorma murtorajatilassa
$w_{d,päätty}$	1,37	N/mm	Yläpohjatasolle tasainen tuulikuorma murtorajatilassa
$L_{kenttä,0}$	16800	mm	Sivuseinän pituus
$L_{kenttä,90}$	7200	mm	Päätyseinän pituus
$d_{kenttä,0}$	7200	mm	Levykentän leveys ($\Phi = 0$)
$d_{kenttä,90}$	16800	mm	Levykentän leveys ($\Phi = 90$)
f_{td}	6,3	N/mm ²	Koolausmateriaalin vetolujuus

LIITTIMIEN MITOITUS

Suurin liitosvoima ($\Phi = 0$) $f_{Ed,0} = 352$ N MRT
 Suurin liitosvoima ($\Phi = 90$) $f_{Ed,90} = 35$ N MRT
 Liittimen kestävyys $f_{Rd} = 368$ N MRT

Käyttöaste 96 % **OK!**

Y_{sivu}	1,000		Levyn kiinnitystapaa vastaava kerroin ($\Phi = 0$)
$Y_{päätty}$	1,000		Levyn kiinnitystapaa vastaava kerroin ($\Phi = 90$)
c	120	mm	Liitinväli
$w_{d,sivu}$	2,52	N/mm	Yläpohjatasolle tasainen tuulikuorma ($\Phi = 0$)
$w_{d,päätty}$	1,37	N/mm	Yläpohjatasolle tasainen tuulikuorma ($\Phi = 90$)
$L_{kenttä,0}$	16800	mm	Levykentän pituus ($\Phi = 0$)
$L_{kenttä,90}$	7200	mm	Levykentän pituus ($\Phi = 90$)
n	6	kpl	Levyjen määrä vierekkäin ($\Phi = 0$)
p	7	kpl	Levyjen määrä peräkkäin ($\Phi = 90$)
B	1200	mm	Levyn leveys ($\Phi = 0$)
H	2400	mm	Levyn pituus ($\Phi = 90$)
r	1,00		Kapasiteetin pienennyskerroin >2400mm pitkille kipsilevyille

 FASADI Iin Fasadi Oy, Karpalotie 15, 91100 Ii 0207 400 900 www.iinfasadi.fi		Sisältö	Sivu
		Yläpohjan jäykistysmitoitus (EC5)	4/4
Päiväys 2.2.2013		Suunnittelija Juha Tolonen	Työn numero F2765
		Rakennuskohde Esimerkkikohde	

YLÄPOHJAN SIIRTYMÄ

Tässä laskentamallissa yläpohja toimii taivutusmomentin ja leikkausvoiman rasittamana korkeana yksiaukkoisena levypalkkina. Yläpohjan vaakasuora kokonaissiirtymä on palkin keskikohtan siirtymän (taipuman) ja seinän yläreunan siirtymän summa. Tämä sovellus ei laske seinän siirtymää. Seinän vaakasiirtymän arvo yläpohjan korkeudella syötetään kohtaan $\delta_{SEINÄ}$.

Tuuli kohdistuu sivuseinälle ($\Phi = 0^\circ$)

Siirtymä momentista	$\delta_M =$	2,50	mm
Siirtymä leikkausvoimasta	$\delta_V =$	2,85	mm
Seinän siirtymä	$\delta_{SEINÄ} =$	2,00	mm
Kokonaissiirtymä	$\Sigma \delta =$	7,34	mm

Siirtymän enimmäisarvo	8,67	mm
Siirtymän käyttöaste	85	%

OK!

Tuuli kohdistuu päätyseinälle ($\Phi = 90^\circ$)

Siirtymä momentista	$\delta_M =$	0,01	mm
Siirtymä leikkausvoimasta	$\delta_V =$	0,12	mm
Seinän siirtymä	$\delta_{SEINÄ} =$	0,50	mm
Kokonaissiirtymä	$\Sigma \delta =$	0,63	mm

Siirtymän enimmäisarvo	8,67	mm
Siirtymän käyttöaste	7	%

OK!

$w_{k,sivu}$	1,68	N/mm	Yläpohjatasolle tasainen tuulikuorma käyttörajatilassa
$w_{k,pääty}$	0,91	N/mm	Yläpohjatasolle tasainen tuulikuorma käyttörajatilassa
$L_{kenttä,0}$	16800	mm	Levyk entän pituus ($\Phi = 0$)
$L_{kenttä,90}$	7200	mm	Levyk entän pituus ($\Phi = 90$)
$d_{kenttä,0}$	7200	mm	Levyk entän leveys ($\Phi = 0$)
$d_{kenttä,90}$	16800	mm	Levyk entän leveys ($\Phi = 90$)
A_t	3840	mm ²	Paarteena toimivan koolausmateriaalin poikkipinta-ala
E_t	7000	N/mm ²	Paarteena toimivan koolausmateriaalin kimmokerroin
β_{sivu}	1,100		Levyn kiinnitystapaa vastaava kerroin ($\Phi = 0$)
$\beta_{pääty}$	8,800		Levyn kiinnitystapaa vastaava kerroin ($\Phi = 90$)
c	120	mm	Kiinnikeväli
k	800	N/mm	Kiinnikkeen siirtymäkerroin
H	2400	mm	Levyn pituus (kuormitus suunnan mukaan)
B	1200	mm	Levyn leveys (kuormitus suunnan mukaan)
t	12,5	mm	Levyn paksuus
G	1125	N/mm ²	Levyn liukumoduuli
p	7	kpl	Levyjen määrä peräkk äin
n	6	kpl	Levyjen määrä vierekk äin

SISÄLLYS

LASKUESIMERKKI 1: LEVYKENTTÄ KOKONAISILLA LEVYILLÄ ILMAN LIMITYSTÄ	2
1.1 Lähtötiedot.....	2
1.2 Rakennuksen mitat ja tuulen vaikutusalat molemmissa pääsuunnissa	3
1.3 Mitoitus tuulen kohdistuessa kohtisuoraan rakennuksen sivuseinälle	3
1.3.1 Tuulikuormat voimakertoimen c_f avulla	4
1.3.2 Vetopaarteiden mitoitus	5
1.3.3 Kiinnitystapakertoimet.....	5
1.3.4 Liittimien mitoitus	5
1.3.5 Yläpohjan siirtymä.....	6
1.4 Mitoitus tuulen kohdistuessa kohtisuoraan rakennuksen päätyseinälle.....	8
1.4.1 Kiinnitystapakertoimet.....	8
1.4.2 Tuulikuormat voimakertoimen c_f avulla	8
1.4.3 Vetopaarteiden mitoitus	9
1.4.4 Liittimien mitoitus	10
1.4.5 Yläpohjan siirtymä.....	10
LASKUESIMERKKI 2: LEVYKENTTÄ LIMITETYILLÄ LEVYILLÄ	12
2.1 Lähtötiedot.....	12
2.2 Kiinnitystapakertoimet	12
2.3 Liittimien mitoitus.....	13
2.4 Yläpohjan siirtymä	15

LASKUESIMERKKI 1: LEVYKENTTÄ KOKONAISILLA LEVYILLÄ ILMAN LIMITYSTÄ

1.1 Lähtötiedot

Esitetään lähtötiedot sovelluksen ensimmäisen sivun avulla:

RAKENNUKSEN MITAT JA MAASTOLUOKKA

[Info](#)

Sivuseinän pituus	$L_{\text{sivu}} =$	<input type="text" value="17,4"/>	m
Päätyseinän pituus	$L_{\text{pääty}} =$	<input type="text" value="7,8"/>	m
Seinän korkeus		<input type="text" value="2,6"/>	m
Seinärakenteen paksuus		<input type="text" value="300"/>	mm
Maanpinnan ja perustuksen välinen etäisyys		<input type="text" value="0,5"/>	m
Katon pituus		<input type="text" value="18,5"/>	m
Katon korkeus		<input type="text" value="2"/>	m
Maastoluokka		<input type="text" value="3"/>	

JÄYKISTÄVÄ VAAKARAKENNE

[Info](#)

Yläpohja jäykistetään kipsilevyillä tai havuvanerilla, jotka kiinnitetään ruuveilla tai nautoilla ristikon alapaarteisiin kohtisuoraan kiinnitettyihin ruoteisiin.

Veto- ja puristuspaarteina käytetään yläpohjan reunimmaisista koolauspuista. Kapasiteetin ylittyessä lisätään vierelle toinen koolaus.

Jäykistävä levy + liitin

Lewyn koko	pituus	$H =$	<input type="text" value="2400"/>	mm
	leveys	$B =$	<input type="text" value="1200"/>	mm
	paksuus	$t =$	<input type="text" value="12,5"/>	mm
Liitinväli		$c =$	<input type="text" value="120"/>	mm

Jäykistävän levykentän koko

pituus	$L_{\text{kenttä}} =$	<input type="text" value="16800"/>	mm
leveys	$d_{\text{kenttä}} =$	<input type="text" value="7200"/>	mm

Kokonaiset levyt	peräkkäin	$p =$	<input type="text" value="7"/>	kpl
	vierekkäin	$n =$	<input type="text" value="6"/>	kpl

Koolausmateriaali lujuusluokka

koko $x*y =$ mm²

määrä kpl

koolausväli

1.3.1 Tuulikuormat voimakertoimen c_f avulla

Kun rakennuksen korkeus on pienempi kuin sen leveys, oletetaan koko rakennuksen tuulenpaineelle harjan korkeudella vaikuttavan tuulenpaineen arvo (3, s. 133).

Rakennukseen kohdistuva kokonaisvoima lasketaan kaavalla

$$F_{w, sivu} = c_s c_d * c_{f, sivu} * q_p(h) * A_{ref, sivu}$$

$c_s c_d$	rakennekerroin, käytetään varmalla puolella olevaa arvoa 1
$c_{f, sivu}$	voimakerroin
$q_p(h)$	harjan korkeudella vaikuttava tuulen nopeuspaine
$A_{ref, sivu}$	tuulikuorman vaikutusala sivuseinällä

Voimakertoimen määrittämisessä huomioidaan rakennuksen mittasuhteet (d/b) ja hoikkuus (λ).

$$\text{Sivusuhte} \quad \frac{d}{b} = \frac{7800}{17400} = 0,448$$

$$\text{Hoikkuus} \quad \lambda = 2 * \frac{h}{b} = 2 * \frac{5100}{17400} = 0,586 \quad \text{voimassa, kun } h < 15m$$

Voimakerroin interpoloidaan d/b :n ja λ :n avulla

$$c_{f, sivu} = 1,2 + (0,448 - 0,2) * \frac{1,37 - 1,20}{0,5 - 0,2} = 1,341$$

Tuulen nopeuspaineen arvo $q_p(h)$ interpoloidaan harjan korkeuden ja maastoluokan mukaan.

$$h = 5,1 \text{ m}$$

Maastoluokka 3

$$q_p(5,1) = 0,35 + 5,1 - 5,0 * \frac{0,43 - 0,35}{8,0 - 5,0} = 0,353 \frac{kN}{m^2}$$

Tuulen vaikutusalaan lasketaan kohdan 1.2 kuvassa näkyvät rasteroidut pinta-alat

$$A_{ref, sivu} = 0,5 * 2,6m * 17,4m + 2m * 18,5m = 59,62 \text{ m}^2$$

Rakennukseen kohdistuva kokonaisvoima, kun tuulee kohtisuoraan sivuseinälle

$$F_{w, k, sivu} = c_s c_d * c_{f, sivu} * q_p(h) * A_{ref, sivu} = 1 * 1,341 * 0,353 \frac{kN}{m^2} * 59,62 \text{ m}^2 = 28,2 \text{ kN}$$

Yläpohjatasoon kohdistuva vaakasuuntainen viivakuorma käyttörajatilassa

$$w_{k, sivu} = 28,2 \text{ kN} / 16,8 \text{ m} = 1,68 \text{ kN/m}$$

Yläpohjatasoon kohdistuva vaakasuuntainen viivakuorma murtorajatilassa

$$w_{d, sivu} = 1,5 * 1,68 \text{ kN/m} = 2,52 \text{ kN/m}$$

1.3.2 Vetopaarteiden mitoitus

Tarkistetaan valitun poikkileikkauksen vetokestävyys murtorajatilassa. Tason suurimman taivutusmomentin perusteella parrepoikkileikkauksen ala on oltava vähintään

$$A_{t,sivu} \geq \frac{N_t}{f_{td}} = \frac{M_{max}}{d * f_{td}} = \frac{w_{d,sivu} * L_{kenttä,0}^2}{8d * f_{td}} = \frac{2,52N/mm * (16800mm)^2}{8 * 7200mm * 6,29N/mm^2} \geq 1963mm^2$$

Koolausmateriaalin C14 32x60 mm² käyttöaste:

$$\frac{A_{t,sivu}}{A_t} = \frac{1963}{32 * 60} = 1,02 \geq 1,00 \Rightarrow \text{KESTÄVYYS YLITTYY!}$$

Yksi koolaussoiro ei aivan riitä, joten lisätään vierelle toinen. Silloin käyttöaste on

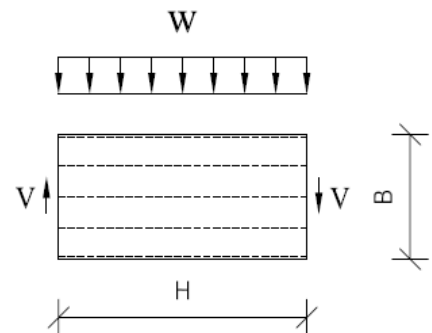
$$\frac{A_{t,sivu}}{A_t} = \frac{1963}{2 * 32 * 60} = 0,51 \leq 1,00 \Rightarrow \text{OK!}$$

1.3.3 Kiinnitystapakertoimet

Lasketaan kiinnitystapaa vastaavat γ - ja β -kertoimet. Koolausjako on k300, kuorma on kohtisuorassa suunnassa koolaukseen ja levyn pituussuuntaan nähden, joten liitteen 1 taulukosta valitaan kiinnitystapa 3.

$$\gamma_{sivu} = \sqrt{\frac{36}{25\left(\frac{H}{B}\right)^2} + \frac{16}{25}} = \sqrt{\frac{36}{25\left(\frac{2400}{1200}\right)^2} + \frac{16}{25}} = 1,000$$

$$\beta_{sivu} = \frac{12}{5\left(\frac{H}{B}\right)^3} + \frac{8}{5\left(\frac{H}{B}\right)} = \frac{12}{5\left(\frac{2400}{1200}\right)^3} + \frac{8}{5\left(\frac{2400}{1200}\right)} = 1,100$$



1.3.4 Liittimien mitoitus

Levykentässä olevilla levyillä on sama jäykkyyserroin, jolloin suurin liitinvoima murtorajatilassa lasketaan kaavalla

$$f_{Ed,0} = \frac{\gamma_{sivu} * c * w_{d,sivu} * L_{kenttä,0}}{2nB} = \frac{1,000 * 120mm * 2,52N/mm * 16800mm}{2 * 6 * 1200mm} = 352,8N$$

Kipsilevyruuvien QT29 / QMST32 ominaislujuus $f_{RK} = 400N$ ja osavarmuusluku on 1,3.

Liittimen käyttöaste, kun kestävyyttä saadaan korottaa kertoimella 1,2 (3, s. 146)

$$\frac{f_{Ed,0}}{f_{Rd}} = \frac{f_{Ed,0}}{1,2 * \frac{f_{RK}}{\gamma}} = \frac{352,8 N}{1,2 * \frac{400 N}{1,3}} = \frac{352,8 N}{369,2 N} = 0,96 \leq 1,00 \Rightarrow \text{OK!}$$

1.3.5 Yläpohjan siirtymä

Lasketaan yläpohjan siirtymä taivutusmomentista käyttörajatilassa kaavalla

$$\delta_M = \frac{5w_{k,sivu} * L_{kenttä,0}^4}{192d_{kenttä,0}^2 * A_t E_t} = \frac{5 * 1,68 \text{ N/mm} * 16800^4 \text{ mm}^4}{192 * 7200^2 \text{ mm}^2 * 3840 \text{ mm}^2 * 7000 \text{ N/mm}^2} = 2,50 \text{ mm}$$

Lasketaan yläpohjan siirtymä leikkausvoimasta käyttörajatilassa ensin sovelluksen käyttämällä kaavalla (5, s. 34–35), koska levykentässä kaikki levyt ovat kooltaan ja jäykkyydeltään samanlaisia. Lähteessä 5 levykentän pituutta on merkitty $L = 2pH$, jolloin kaavaan muuttujan p paikalle sijoitetaan levyjen määrä peräkkäin kahdella jaettuna. Tässä työssä $L = pH$, jolloin voidaan suoraan sijoittaa kaavaan muuttujan p paikalle peräkkäisten levyjen määrä. Jotta saadaan sama lopputulos, täytyy kaavassa peräkkäisten levyjen määrä p jakaa kahdella.

$$\delta_V = \left(\beta_{sivu} \frac{c H^2}{k B^3} + \frac{H}{BGt} \right) \frac{p}{2} * \frac{w_{k,sivu} L_{kenttä,0}}{4n}$$

$$= \left(1,100 * \frac{120 \text{ mm} \cdot 2400^2 \text{ mm}^2}{800 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 1200^3 \text{ mm}^3} + \frac{2400 \text{ mm}}{1200 \text{ mm} * 1125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 12,5 \text{ mm}} \right) *$$

$$\frac{7}{2} * \frac{1,68 \text{ N/mm} * 16800 \text{ mm}}{4 * 6} = 2,85 \text{ mm}$$

Lasketaan leikkausvoiman vaikutus siirtymään myös alla olevalla kohdassa 3.3 esitetyllä kaavalla, jotta voidaan päätellä laskeeko sovellus oikein. Tällä kaavalla lasketaan yksittäisten levyjonojen siirtymät yhteen, minkä tuloksena pitäisi tulla sama siirtymän arvo $\delta_V = 2,85 \text{ mm}$.

$$\delta_V = \frac{V_{med}}{\sum K_{i1}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i2}} + \dots + \frac{V_{med}}{\sum K_{ii}}$$

Leikkausvoiman keskimääräisenä arvona käytetään puolta leikkausvoiman maksimiarvosta.

$$V_{med} = \frac{V_{max}}{2} = \frac{\frac{w_{k,sivu} L_{kenttä,0}}{2}}{2} = \frac{1,68 \text{ N/mm} * 16800 \text{ mm}}{4} = 7056 \text{ N}$$

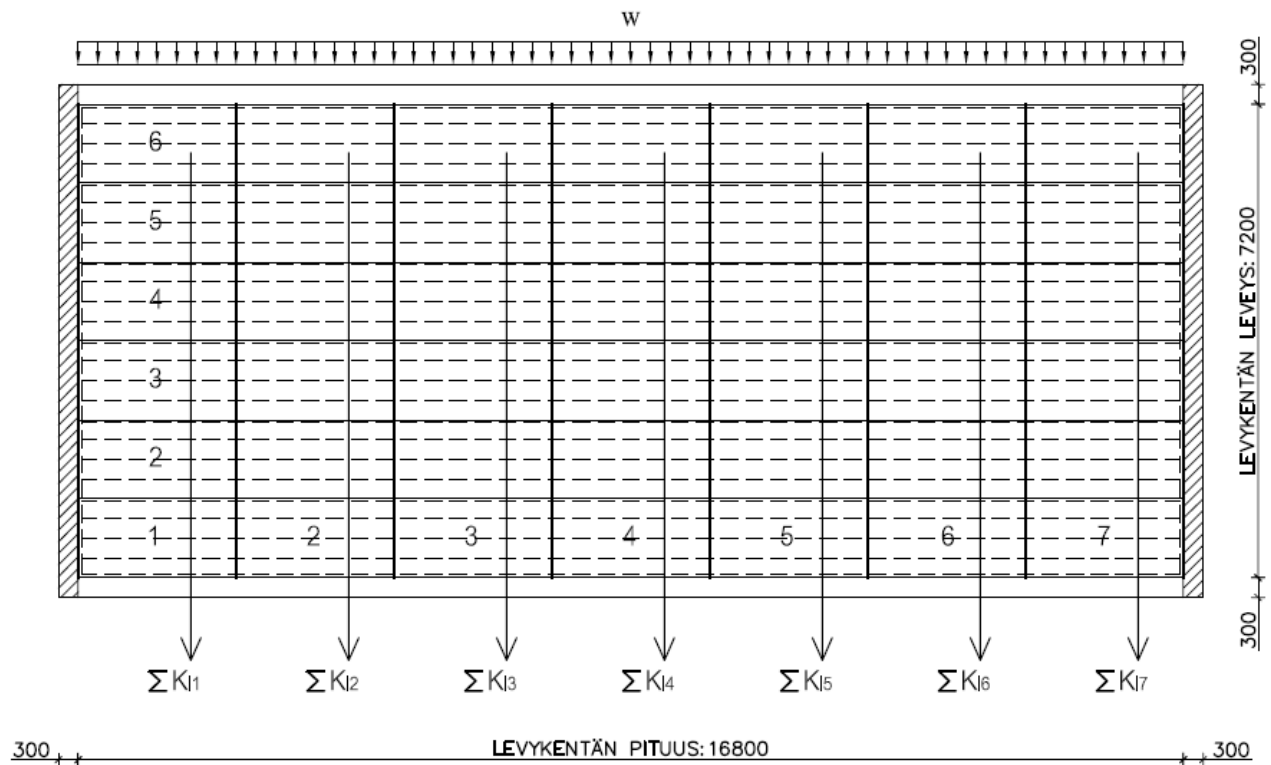
Levyn jäykkyyserroin

$$K = \frac{H}{H_{max}} * \frac{1}{\beta_{sivu} \frac{c * H^2}{r * k * B^3} + \frac{H}{B * G * t}}$$

$$= \frac{2400\text{mm}}{2400\text{mm}} * \frac{1}{1,100} \frac{120\text{mm} * 2400^2\text{mm}^2}{1 * 800 \frac{N}{\text{mm}} * 1200^3\text{mm}^3} + \frac{2400\text{mm}}{1200\text{mm} * 1125 \frac{N}{\text{mm}^2} * 12,5\text{mm}}$$

$$= 1444,6 \frac{N}{\text{mm}}$$

Levyjonot muodostuvat alla olevan kuvan mukaisesti.



Yhden levyjonon jäykkyysskerroin

$$\Sigma K_{i1} = nK = 6 * 1444,6 \frac{N}{\text{mm}} = 8667,6 \frac{N}{\text{mm}}$$

Tasossa on vain kokonaisia levyjä, joten jokaisella levyjonolla on sama jäykkyysskerroin

$$\Sigma K_{jono} = \Sigma K_{i1} = \Sigma K_{i2} = \Sigma K_{i3} = \Sigma K_{i4} = \Sigma K_{i5} = \Sigma K_{i6} = \Sigma K_{i7} = 8667,6 \frac{N}{\text{mm}}$$

Koska levyjonoilla on sama jäykkyysskerroin, saadaan siirtymä tason keskellä kaavalla

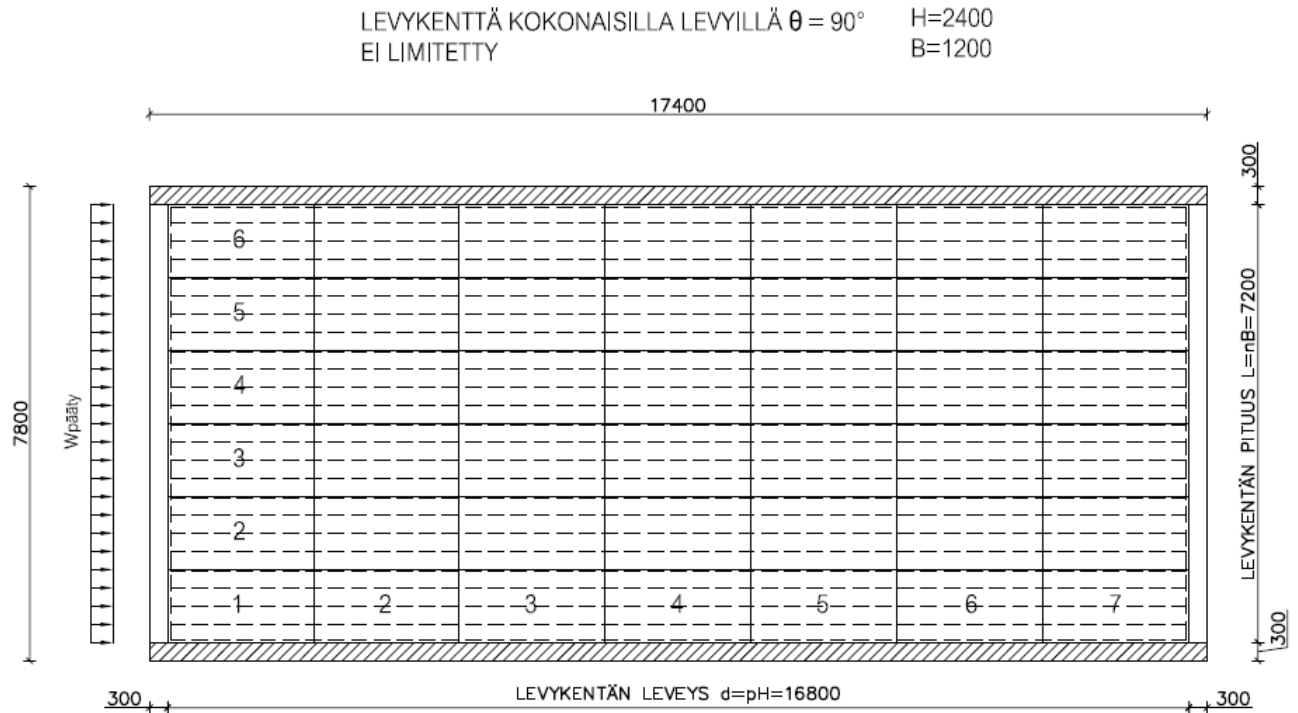
$$\delta_v = \frac{p}{2} * \frac{V_{med}}{\Sigma K_{jono}} = \frac{7}{2} * \frac{7056 N}{8667,6 \frac{N}{\text{mm}}} = 2,85 \text{ mm}$$

Molemmilla kaavoilla saatiin sama siirtymä leikkausvoimasta, $\delta_v = 2,85 \text{ mm}$.

Siirtymä taivutusmomentista ja leikkausvoimasta on yhteensä

$$\delta_M + \delta_v = (2,50 + 2,85) \text{ mm} = 5,35 \text{ mm}.$$

1.4 Mitoitus tuulen kohdistuessa kohtisuoraan rakennuksen päätyseinälle

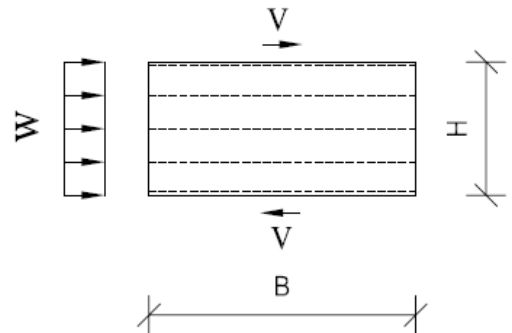


1.4.1 Kiinnitystapakertoimet

Lasketaan kiinnitystapaa vastaavat γ - ja β -kertoimet. Koolausjako on k300, ja kuorma, koolaus ja levyn pituussuunta ovat samassa suunnassa, joten liitteen 1 taulukosta valitaan levytykselle kiinnitystapa 8, B- ja H-mitat keskenään vaihdettuina.

$$\gamma_{p\text{ääty}} = \sqrt{\frac{36}{25\left(\frac{H}{B}\right)^2} + \frac{16}{25}} = \sqrt{\frac{36}{25\left(\frac{2400}{1200}\right)^2} + \frac{16}{25}} = 1,000$$

$$\beta_{p\text{ääty}} = \frac{8}{5\left(\frac{B}{H}\right)^2} + \frac{12}{5} = \frac{8}{5\left(\frac{1200}{2400}\right)^2} + \frac{12}{5} = 8,800$$



1.4.2 Tuulikuormat voimakertoimen c_f avulla

Rakennukseen kohdistuva kokonaisvoima lasketaan kaavalla

$$F_{w, \text{pääty}} = c_s c_d * c_{f, \text{pääty}} * q_p(h) * A_{\text{ref, pääty}}$$

$c_s c_d$	rakennekerroin, käytetään varmalla puolella olevaa arvoa 1
$c_{f, \text{pääty}}$	voimakerroin
$q_p(h)$	harjan korkeudella vaikuttava tuulen nopeuspaine
$A_{\text{ref, pääty}}$	tuulikuorman vaikutusala päätyseinällä

Voimakertoimen määrittämisessä huomioidaan rakennuksen mittasuhteet (d/b) ja hoikkuus (λ).

$$\text{Sivusuhte} \quad \frac{d}{b} = \frac{17400}{7800} = 2,231$$

$$\text{Hoikkuus} \quad \lambda = 2 * \frac{h}{b} = 2 * \frac{5100}{7800} = 1,308$$

Voimakerroin interpoloidaan d/b :n ja λ :n avulla

$$c_{f,pääty} = 1,07 - (2,231 - 2) * \frac{1,07 - 0,65}{5 - 2} = 1,038$$

Tuulen nopeuspaineen arvo $q_p(h)$ interpoloidaan harjan korkeuden ja maastoluokan mukaan. Nopeuspaineen arvo on molemmissa pääsuunnissa sama.

$$q_p(5,1) = 0,353 \frac{kN}{m^2}$$

Tuulen vaikutusalaan lasketaan puolet päätyseinän pinta-alasta ja päätykolmion pinta-ala

$$A_{ref, pääty} = 0,5 * 2,6m * 7,8m + 0,5 * 2m * 7,8m = 17,94 m^2$$

Rakennukseen kohdistuva kokonaisvoima, kun tuulee kohtisuoraan päätyseinälle

$$F_{w, k, pääty} = c_s c_d * c_{f, pääty} * q_p(h) * A_{ref, pääty} = 1 * 1,038 * 0,353 \frac{kN}{m^2} * 17,94m^2 = 6,57 kN$$

Yläpohjatasoon kohdistuva vaakasuuntainen viivakuorma käyttörajatilassa

$$w_{k, pääty} = 6,57 kN / 7,2 m = 0,91 kN/m$$

Yläpohjatasoon kohdistuva vaakasuuntainen viivakuorma murtorajatilassa

$$w_{d, pääty} = 1,5 * 0,91 kN/m = 1,37 kN/m$$

1.4.3 Vetopaarteiden mitoitus

$$A_{t,pääty} \geq \frac{N_t}{f_{td}} = \frac{M_{max}}{d * f_{td}} = \frac{w_{d,pääty} * L_{kenttä,90}^2}{8d * f_{td}} = \frac{1,37N/mm * (7200mm)^2}{8 * 16800mm * 6,29N/mm^2} \geq 84mm^2$$

Koolausmateriaalin C14 32x60 mm² käyttöaste

$$\frac{A_{t,pääty}}{A_t} = \frac{84}{32 * 60} = 0,06 \leq 1,00 \Rightarrow OK!$$

Päätyseinällä riittää yksi 32x60 mm² koolaussoiro paarteeksi. Lasketaan taivutusmomentista aiheutuva siirtymä kohdassa 1.4.5 kahdella koolaussoirolla, kuten toisessa kuormitus suunnassa laskettiin.

1.4.4 Liittimien mitoitus

$$f_{Ed,90} = \frac{\gamma_{pääty} * c * w_{d,pääty} * L_{kenttä,90}}{2pH} = \frac{1,000 * 120\text{mm} * 1,37\text{N/mm} * 7200\text{mm}}{2 * 7 * 2400\text{mm}} = 35,2\text{N}$$

$$\frac{f_{Ed,90}}{1,2 * f_{Rd}} = \frac{f_{Ed,90}}{1,2 * \frac{f_{Rk}}{\gamma}} = \frac{35,2}{1,2 * \frac{400}{1,3}} = 0,10 \leq 1,00 \Rightarrow OK!$$

1.4.5 Yläpohjan siirtymä

Lasketaan yläpohjan siirtymä taivutusmomentista käyttörajatilassa kaavalla

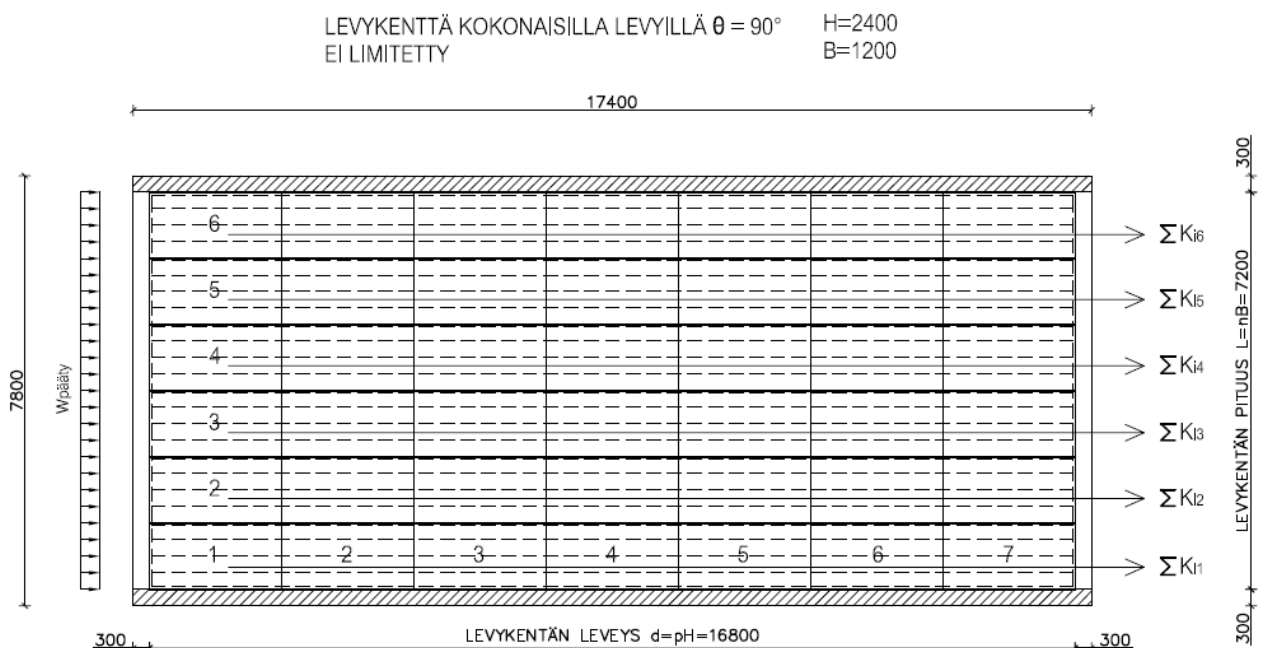
$$\delta_M = \frac{5w_{k,pääty} * L_{kenttä,90}^4}{192d_{kenttä,90}^2 * A_t E_t} = \frac{5 * 0,91\text{ N/mm} * 7200^4\text{ mm}^4}{192 * 16800^2\text{ mm}^2 * 3840\text{ mm}^2 * 7000\text{ N/mm}^2} = 0,01\text{ mm}$$

Lasketaan ensin leikkausvoimasta aiheutuva siirtymä sovelluksen käyttämällä kaavalla. Tässä kuormitus suunnassa $L = nB$, joten muuttujan n paikalle voidaan sijoittaa vierekkäisten levyjen määrä. Jotta saadaan oikea lopputulos, täytyy kaavassa vierekkäisten levyjen määrä n jakaa kahdella.

$$\delta_V = \left(\beta_{pääty} \frac{c B^2}{k H^3} + \frac{B}{HGt} \right) \frac{n}{2} * \frac{w_{k,pääty} L_{kenttä,90}}{4p}$$

$$= \left(8,800 * \frac{120\text{mm}}{800 \frac{\text{N}}{\text{mm}}} \frac{1200^2\text{mm}^2}{2400^3\text{mm}^3} + \frac{1200\text{mm}}{2400\text{mm} * 1125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 12,5\text{mm}} \right) * \frac{6}{2} * \frac{0,91\text{N/mm} * 7200\text{ mm}}{4 * 7} = 0,12\text{ mm}$$

Lasketaan vielä siirtymä leikkausvoimasta levyjonojen siirtymien avulla. Levyjonot muodostuvat alla olevan kuvan mukaisesti.



$$V_{med} = \frac{V_{max}}{2} = \frac{\frac{w_{k,pääty} L_{kenttä,90}}{2}}{2} = \frac{0,91 N/mm * 7200 mm}{4} = 1638 N$$

Levyn jäykkyyserroin

$$K = \frac{1}{\beta_{pääty} \frac{c * B^2}{r * k * H^3} + \frac{B}{H * G * t}}$$

$$= \frac{1}{8,800 \frac{120 mm * 1200^2 mm^2}{1 * 800 \frac{N}{mm} * 2400^3 mm^3} + \frac{1200 mm}{2400 mm * 1125 \frac{N}{mm^2} * 12,5 mm}}$$

$$= 5778,5 \frac{N}{mm}$$

Jokaisella levyjonolla on sama jäykkyyserroin

$$\sum K_{jono} = \sum K_{i1} = \sum K_{i2} = \sum K_{i3} = \sum K_{i4} = \sum K_{i5} = \sum K_{i6} = pK = 7 * 5778,5 \frac{N}{mm} = 40449,5 \frac{N}{mm}$$

Koska levyjonoilla on sama jäykkyyserroin, saadaan siirtymä tason keskellä kaavalla:

$$\delta_v = \frac{n}{2} * \frac{V_{med}}{\sum K_{jono}} = \frac{6}{2} * \frac{1638 N}{40449,5 \frac{N}{mm}} = 0,12 mm$$

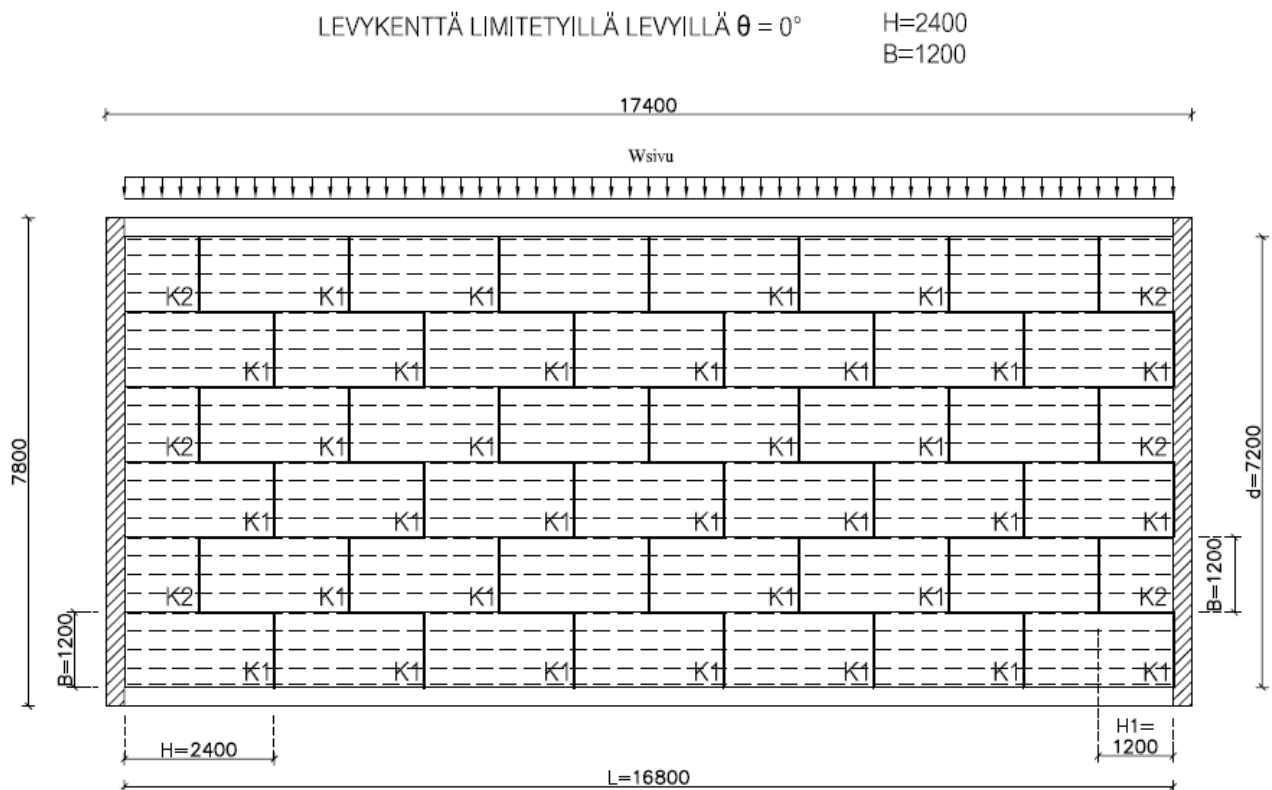
Siirtymä taivutusmomentista ja leikkausvoimasta on yhteensä

$$\delta_M + \delta_v = (0,01 + 0,12) mm = 0,13 mm.$$

LASKUESIMERKKI 2: LEVYKENTTÄ LIMITETYILLÄ LEVYILLÄ

2.1 Lähtötiedot

Tämän esimerkin rakennus on mitoiltaan samanlainen kuin laskuesimerkki 1:ssä. Tässä levytys on tehty puolen levyn limityksellä. Levykentässä on kahden kokoisia levyjä, kokonaisia ja limityksen takia puolikkaita levyjä. Mitoitetaan levykenttä rakennuksen poikkisuunnassa alla olevan kuvan mukaan.



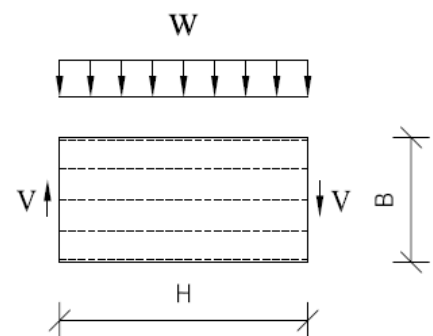
2.2 Kiinnitystapakertoimet

Lasketaan kiinnitystapaa vastaavat γ - ja β -kertoimet. Koolausjako on k300, kuorma on kohtisuorassa suunnassa koolaukseen ja levyn pituussuuntaan nähden, joten liitteen 1 taulukosta valitaan kiinnitystapa 3.

Kokonaiselle levyille aikaisemman mukaan

$$\gamma_{sivu} = \sqrt{\frac{36}{25\left(\frac{H}{B}\right)^2} + \frac{16}{25}} = \sqrt{\frac{36}{25\left(\frac{2400}{1200}\right)^2} + \frac{16}{25}} = 1,000$$

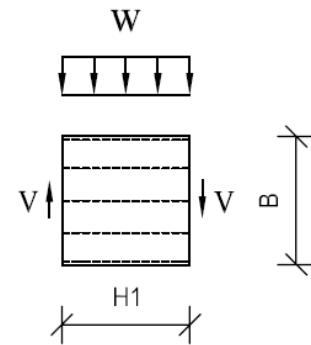
$$\beta_{sivu} = \frac{12}{5\left(\frac{H}{B}\right)^3} + \frac{8}{5\left(\frac{H}{B}\right)} = \frac{12}{5\left(\frac{2400}{1200}\right)^3} + \frac{8}{5\left(\frac{2400}{1200}\right)} = 1,100$$



Puolikkaalle levylle

$$\gamma_{sivu} = \sqrt{\frac{36}{25\left(\frac{H1}{B}\right)^2} + \frac{16}{25}} = \sqrt{\frac{36}{25\left(\frac{1200}{1200}\right)^2} + \frac{16}{25}} = 1,442$$

$$\beta_{sivu} = \frac{12}{5\left(\frac{H1}{B}\right)^3} + \frac{8}{5\left(\frac{H1}{B}\right)} = \frac{12}{5\left(\frac{1200}{1200}\right)^3} + \frac{8}{5\left(\frac{1200}{1200}\right)} = 4$$

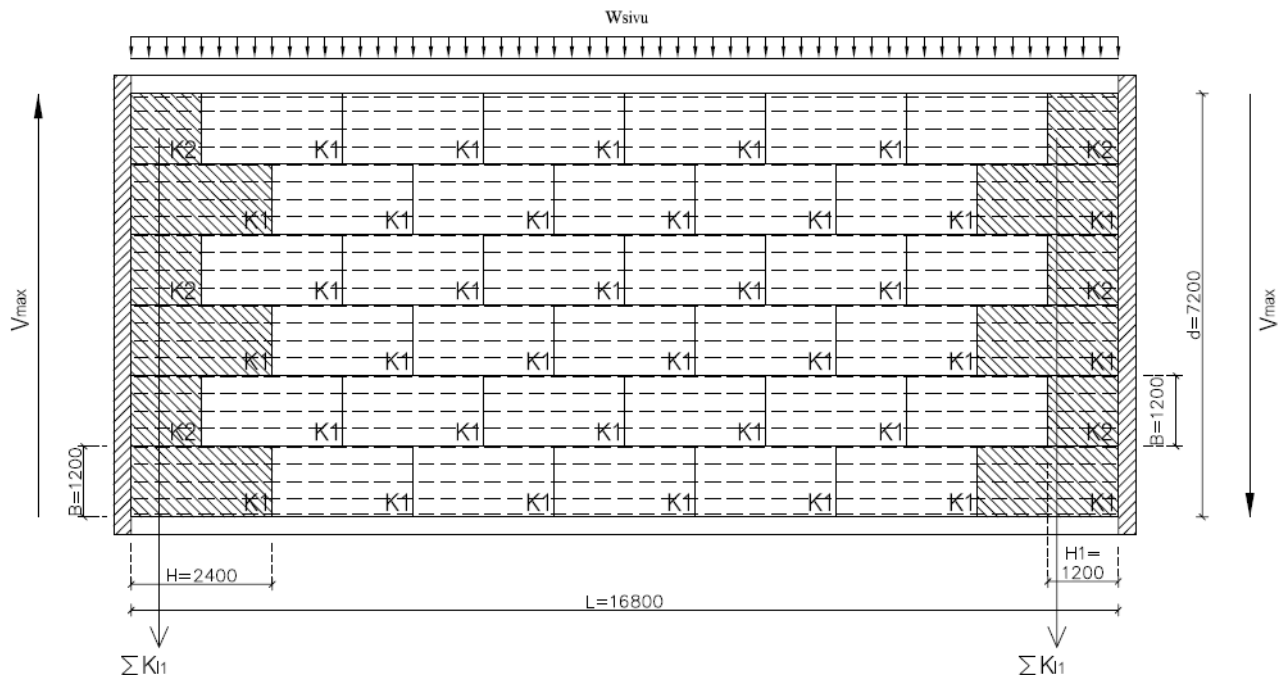


2.3 Liittimien mitoitus

Liitinvoimat lasketaan jokaiselle päätyjonon erikokoiselle levylle. Tässä esimerkissä päädyissä olevat suurimman leikkausvoiman vastaanottavat levyjonot ovat identtisiä ja niissä on kahta erikokoista levyä. Levyjonot ovat rasteroituna alla olevassa kuvassa.

LEVYKENTTÄ LIMITETYILLÄ LEVYILLÄ $\theta = 0^\circ$

H=2400
B=1200



Kokonaisen levyn jäykkyyskerroin

$$K_1 = 1444,6 \frac{N}{mm}$$

Kipsilevyvalmistajan ohjeen mukaan leikatun kipsilevyn kapasiteetti on 0,25-kertainen leikkaamattomaan kipsilevyyn verrattuna. Kaavassa tämä huomioidaan kertoimella $r = 0,25$.

Puolikkaan levyn jäykkyyskerroin

$$K_2 = \frac{1200}{2400} * \frac{1}{4 * \frac{120 * 1200^2}{0,25 * 800 * 1200^3} + \frac{1200}{1200 * 1125 * 12,5}} = 241,4 \frac{N}{mm}$$

Tason päädyissä olevien levyjonojen jäykkyyserroin

$$\sum K_{i1} = 3K_1 + 3K_2 = 3(1444,6 + 241,4) \frac{N}{mm} = 5058 \frac{N}{mm}$$

Liitinvoima kokonaisessa levyssä liitinvälillä $c = 120 \text{ mm}$

$$f_{Ed,0,1} = \frac{\gamma_{sivu} * c * \frac{K_1}{\sum K_{i1}} * \frac{w_{d,sivu} * L_{kenttä,0}}{2}}{B}$$

$$= \frac{1,000 * 120mm * \frac{1444,6}{5058} * 2,52 \frac{N}{mm} * 16800mm}{2 * 1200mm} = 604,6 N \geq f_{Rd} = 369,2 \Rightarrow \text{EI KESTÄ!}$$

Liitinjaolla $c = 120 \text{ mm}$ liittimien kapasiteetti ylittyy. Kokeillaan ensin pienempää liitinjakoa. Liitinvälin muutos muuttaa levyjen jäykkyyserkertoimia, mikä on huomioitu laskennassa.

Kokeillaan tiheimmällä sallitulla liitinjaolla $c = 70 \text{ mm}$

$$K_1 = 2159,6 \frac{N}{mm}$$

$$K_2 = 404,0 \frac{N}{mm}$$

$$\sum K_{i1} = 3K_1 + 3K_2 = 3(2159,6 + 404,0) \frac{N}{mm} = 7690,8 \frac{N}{mm}$$

$$f_{Ed,0,1} = \frac{1,000 * 70mm * \frac{2159,6}{7690,8} * 2,52 N/mm * 16800mm}{2 * 1200mm}$$

$$= 346,7 N \leq f_{Rd} = 369,2 N \Rightarrow \text{OK!}$$

Liitinvoima puolikkaassa levyssä

$$f_{Ed,0,2} = \frac{\gamma_{sivu} * c * \frac{K_2}{\sum K_{i1}} * \frac{w_{d,sivu} * L_{kenttä,0}}{2}}{B}$$

$$= \frac{1,442 * 70mm * \frac{404,0}{7690,8} * 2,52 N/mm * 16800mm}{2 * 1200mm} = 93,5 N \leq f_{Rd} = 369,2 N \Rightarrow \text{OK!}$$

Käyttöaste

$$\frac{f_{Ed,0,1}}{f_{Rd}} = \frac{346,7 N}{369,2 N} = 0,94 \leq 1,00 \Rightarrow \text{OK!}$$

2.4 Yläpohjan siirtymä

Taivutusmomentista aiheutuva siirtymä on sama kuin ei-limitetyillä levyillä

$$\delta_M = \frac{5w_{k,sivu} * L_{kenttä,0}^4}{192d_{kenttä,0}^2 * A_t E_t} = \frac{5 * 1,68 \text{ N/mm} * 16800^4 \text{ mm}^4}{192 * 7200^2 \text{ mm}^2 * 3840 \text{ mm}^2 * 7000 \text{ N/mm}^2} = 2,50 \text{ mm}$$

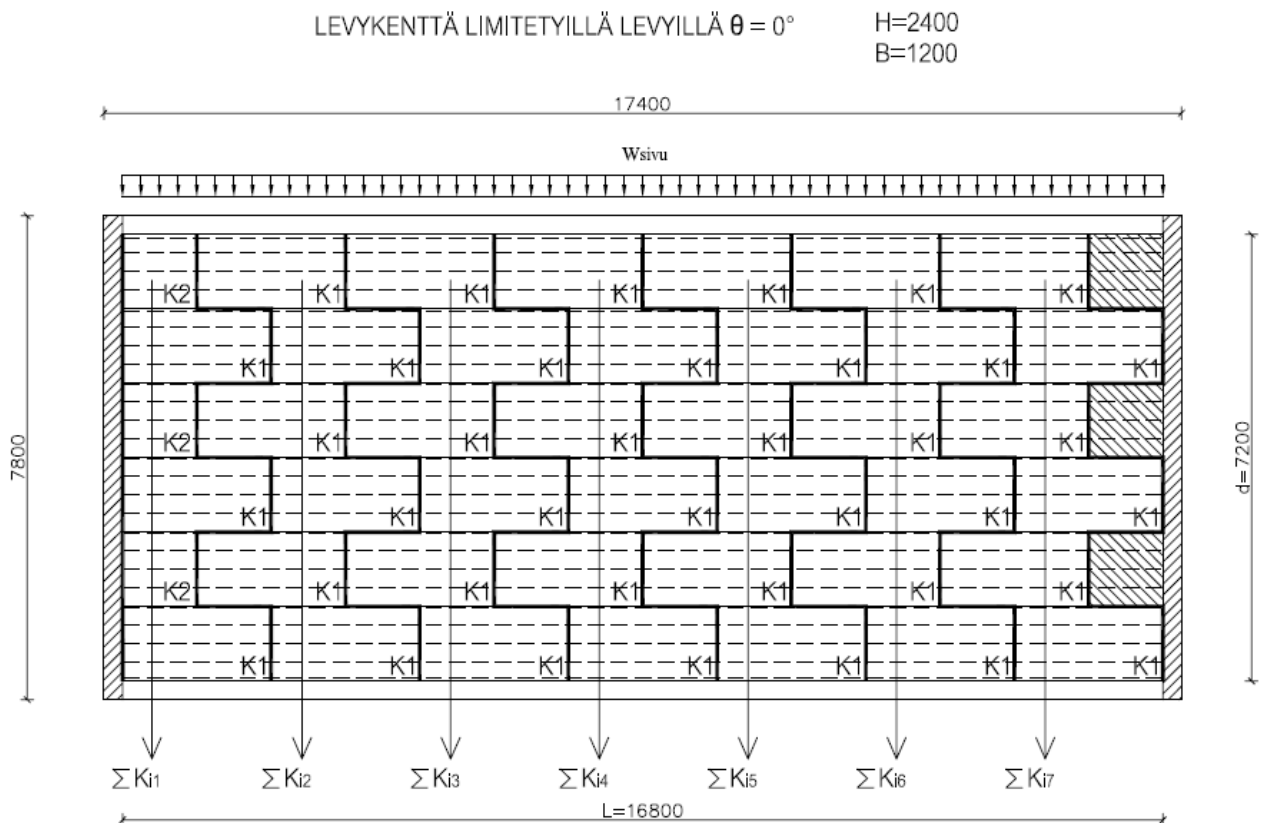
Lasketaan leikkausvoimasta aiheutuva siirtymä levyjen siirtymien summana

$$\delta_V = \frac{V_{med}}{\sum K_{i1}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i2}} + \dots + \frac{V_{med}}{\sum K_{ii}}$$

Leikkausvoiman keskimääräisenä arvona käytetään puolta leikkausvoiman maksimiarvosta.

$$V_{med} = \frac{V_{max}}{2} = \frac{\frac{w_{k,sivu} L_{kenttä,0}}{2}}{2} = \frac{1,68 \text{ N/mm} * 16800 \text{ mm}}{4} = 7056 \text{ N}$$

Leikkausvoiman aiheuttaman siirtymän laskennassa ei voida huomioida alla olevassa kuvassa olevia rasteroituja levyjä.



Levyjen jäykkyyskertoimet

$$\sum K_{i1} = 3K_1 + 3K_2 = 3(2159,6 + 404,0) \frac{N}{mm} = 7690,8 \frac{N}{mm}$$

$$\sum K_{i2} = \sum K_{i3} = \sum K_{i4} = \sum K_{i5} = \sum K_{i6} = \sum K_{i7} = 6K_1 = 6 * 2159,6 \frac{N}{mm} = 12957,6 \frac{N}{mm}$$

Leikkausvoimasta aiheutuva siirtymä tason keskellä lasketaan kaavalla

$$\delta_V = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{med}}{\sum K_{i1}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i2}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i3}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i4}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i5}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i6}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i7}} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{7056}{7690,8} + 6 \frac{7056}{12957,6} \right)$$

$$= 2,09 \text{ mm}$$

Siirtymä taivutusmomentista ja leikkausvoimasta on käsin laskettuna yhteensä

$$\delta = \delta_M + \delta_V = (2,50 + 2,09) \text{ mm} = 4,59 \text{ mm.}$$

Sovellus laskee samankokoisen levykentän siirtymiksi ei-limitettynä ja liitinvälillä $c = 70$ mm

$$\delta = \delta_M + \delta_V = (2,50 + 1,90) \text{ mm} = 4,40 \text{ mm.}$$

Tällöin liittimien käyttöaste on 56 %. Siirtymä leikkausvoimasta on 10 % suurempi limitetyillä levyillä.

Lasketaan vielä limitetyn levykentän siirtymä leikkausvoimasta, kun $c = 120$ mm, vaikka tällä liitinvälillä liittimien kestävyys ylittyy päätyjonoissa. Verrataan tästä saatavaa tulosta pelkästään siirtymien, ei tason kokonaisjäykistyskapasiteetin kannalta.

$$\delta_V = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{med}}{\sum K_{i1}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i2}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i3}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i4}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i5}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i6}} + \frac{V_{med}}{\sum K_{i7}} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{7056}{5058} + 6 \frac{7056}{8667,6} \right)$$

$$= 3,14 \text{ mm}$$

Laskuesimerkki 1:ssä saatiin $\delta_V = 2,85$ mm, joten siirtymä leikkausvoimasta kasvaa noin 10 %, kun levytys asennetaan limitettynä.