



# **PIENTALON KUORMITUKSET JA JÄYKISTYS**

Matti Julku

Opinnäytetyö  
20.5.2015  
Rakennustekniikan  
koulutusohjelma  
Talonrakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Talonrakennustekniikka

JULKU, MATTI:  
Pientalon kuormitukset ja jäykistys

Opinnäytetyö 106 sivua, joista liitteitä 49 sivua  
Toukokuu 2015

---

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin pientalon kuormitusten määrittämiseen ja jäykistykseen suunnitteluun. Tavoitteena oli tuottaa opintomateriaali laskuesimerkkeineen rakenteiden mitoitusten kursseille.

Työn alussa tutustuttiin suomalaisen pientalorakentamisen historiaan ja nykytilanteeseen. Tämän jälkeen käytiin läpi pientaloihin kohdistuvat pysty- ja vaakasuuntaiset kuormat ja niiden määrittäminen. Pientaloihin kohdistuvia pystykuormia ovat rakenteiden omasta painosta aiheutuvat kuormat, rakennuksen tilojen käyttötarkoituksen mukaan määräytyvät hyötykuormat ja rakennuksen kattotasoilla vaikuttava lumikuorma. Vaakasuuntaisista kuormista merkittävin on tuulikuorma. Muita vaakakuormia ovat rakenteiden vinoudesta aiheutuvat lisävaakavoimat ja maapaine.

Kuormien määrittämisen jälkeen tutustuttiin rakennusten yleisimpiin jäykistysmenetelmiin, joita ovat mastojäykistys, kehäjäykistys, ristikkojäykistys sekä levyjäykistys. Näistä pientaloissa käytetään lähinnä vain levy- ja ristikkojäykistystä, joten niiden mitoittaminen on käyty periaatetasolla läpi tässä työssä.

Työn tuloksena saatiin kaksi esimerkkikohdetta, joista on laskettu pientalon suunnittelun kannalta oleelliset kuormitukset. Ensimmäisestä kohteesta on laskettu rakennukseen kohdistuvat pystysuuntaiset kuormat. Toisesta kohteesta on laskettu tuulikuormat kahdella eri menetelmällä ja tämän lisäksi on laskettu rakennuksen jäykistys kyseisiä tuulikuormia vastaan. Kaikki laskut ja niissä tarvittavat taulukot, kaavat ja muu materiaali on esitetty opinnäytetyön liitteissä.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Civil engineering  
Structural engineering

JULKU, MATTI:

The loads and bracing of a detached house

Bachelor's thesis 106 pages, appendices 49 pages  
May 2015

---

The purpose of this study was to show how to determine the loads and how to design the bracing of a detached house. The goal was to create an educational material which could be used in the basic courses of the structural designs.

The loads are divided into two groups: vertical loads and horizontal loads. Vertical loads of a detached house are the dead weight of the structures, the payload which depends on the use of the house and the snow load. Only horizontal load that is significant is the wind load.

Because of the horizontal loads, buildings must be braced so that they do not collapse. Bracing of a detached house can be made with stiffening sheets or with truss bracing. The designing of both types of bracing is shown in this study.

One goal of the study was to create example cases that show how the actual calculations are done. The first case is about the determination of vertical loads and the second one is about horizontal loads and designing of the bracing. All calculations and other materials that are needed in these cases are in the appendices.

---

Key words: detached house, loads, bracing

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	6
2	PIENTALOKULTTUURI JA RAKENTAMINEN.....	7
2.1	Pientalokulttuurin syntyminen .....	7
2.2	Jälleenrakennuskausi.....	8
2.3	1960- ja 70-lukujen pientalot .....	9
2.4	Moderni pientalorakentaminen .....	10
3	KUORMAT .....	13
3.1	Pystykuormat .....	14
3.1.1	Oma paino .....	14
3.1.2	Hyötykuormat .....	15
3.1.3	Lumikuorma.....	17
3.2	Vaakakuormat .....	23
3.2.1	Tuulikuorma.....	23
3.2.2	Lisävaakavoimat .....	33
4	RAKENNETYYYPIT .....	35
4.1	Yläpohja .....	35
4.2	Välipohja.....	36
4.3	Alapohja .....	37
4.4	Ulkoseinä .....	39
5	RUNGON JÄYKISTYS .....	41
5.1	Mastojäykistys .....	41
5.2	Kehäjäykistys .....	42
5.3	Vinosidejäykistys .....	42
5.4	Levyjäykistys .....	43
5.5	Pientalon jäykistys .....	44
5.5.1	Levyjäykistyksen mitoitus .....	44
5.5.2	Vinosidejäykistyksen mitoitus .....	49
6	ESIMERKKIKOHTTEET .....	54
6.1	Kohde 1 .....	54
6.2	Kohde 2 .....	54
7	POHDINTA .....	56
	LÄHTEET.....	57

LIITTEET .....	58
Liite 1: Esimerkkikohde 1 piirustukset .....	58
Liite 2: Laskuesimerkki 1 .....	62
Liite 3: Esimerkkikohde 2 piirustukset .....	76
Liite 4: Laskuesimerkki 2 .....	82

## 1 JOHDANTO

Pientaloilla on aina ollut merkittävä osuus suomalaisessa rakentamiskulttuurissa. Suomi on pitkään ollut harvaan asuttu maatalouspainotteinen maa, jossa yleisin asumismuoto on ollut omakotitalo. Vaikka nykyaikaisessa teollistuneessa yhteiskunnassa muut asumismuodot – kuten kerrostaloasuminen – ovat yleistyneet, on omakotitalo yhä suosittu ja haluttu asumismuoto.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi pientalojen mitoituksessa huomioon otettavat kuormitukset ja niiden vaikutukset koko rakennuksen stabiliteettiin. Pääpaino on kuormien määrityksessä ja rakennuksen jäykistyksen suunnittelussa periaatetasolla.

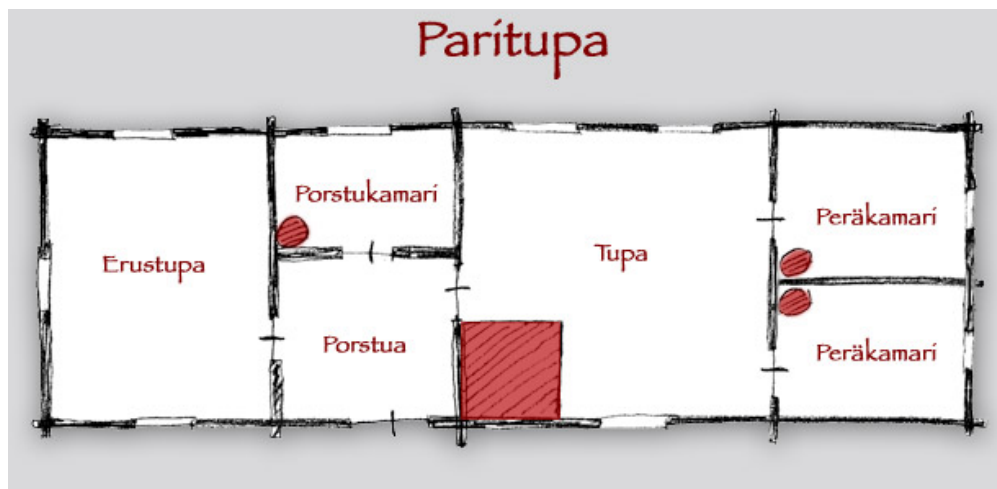
Tavoitteena oli tuottaa materiaali, jota voidaan käyttää opetuksen tukena rakenteiden mitoituksen peruskursseilla. Tässä työssä ei käydä läpi yksittäisten rakenteiden mitoitusta, vaan keskitytään kuormitusten määrittämiseen ja rakennuksen kokonaistoimintaan.

## 2 PIENTALOKULTTUURI JA RAKENTAMINEN

### 2.1 Pientalokulttuurin syntyminen

Ensimmäiset varsinaiset pientalomaiset asuinrakennukset olivat nelikulmaisia ja harjakkaita hirsistä rakennettuja savupirttejä. Niissä lämmityslaitteena käytettiin uuneja, jonka tuottama savu ohjattiin ulos joko seinässä tai katossa olevasta aukosta. Varsinaisia savupiippuja ei siis ollut. (Asunmaa.)

1500-luvulta lähtien savupirtit laajenivat parituviksi, kun niiden rinnalle rakennettiin toinen pirtti (kuva 1). Paritupien myötä asumismukavuus lisääntyi, sillä niihin rakennettiin savupiippu sekä lasi-ikkunat. Parituvat syrjäyttivätkin hiljalleen savupirtit yleisimpänä talonpoikaisasumisen muotona. (Rakennusperintö.)



KUVA 1. Esimerkki parituvan pohjaratkaisusta (Rinne 2009).

Suurin osa väestöstä asui maaseudulla vielä 1800-luvun lopulle asti, mutta teollistumisen myötä myös kaupunkien väkiluku kasvoi. Maaseudulla köyhempi kansanosa asui yhä lähinnä parituvissa tai savupirteissä. Kaupungeissa kerrostaloasuminen yleistyi uutena asumisen muotona. Kaupungeissa asuttiin jossain määrin myös omakotitaloissa, mutta varsinaisen omakotiasumisen valtakausi alkoi vasta ensimmäisen maailmansodan jälkeen 1920-luvulla. (Saarikangas.)

1920- luvulla Suomessa ruvettiin kehittämään asuinrakentamiseen tyyppiratkaisuja, joita oli aiemmin käytetty lähinnä koulu- ja asemarakennuksissa. Tyyppitalojen tarkoituksena oli tehdä omakotitalosta edullisempi vaihtoehto asuntotarpeeseen, sillä aiemmin sitä oli pidetty liian kalliina. Tyyppitalosuunnitelmat sisälsivät yleensä piirustuksien lisäksi yksinkertaisen työselityksen ja ainemenekkilaskelmat. Nämä tyyppitalot olivat tarkoitettu kaikkien rakentajien käytettäväksi. Vuonna 1939 sekä maa- ja metsätalousministeriö että sosiaaliministeriö järjestivät tyyppitalopiirustuskilpailun, jonka pohjalta julkaistiin tyyppipiirustussarjat vuosina 1940 ja 1941. Tyyppitalorakentaminen pääsikin varsinaisesti vauhtiin vasta toisen maailmansodan jälkeisellä jälleenrakennuskaudella. (Arkistojen portti.)

## 2.2 Jälleenrakennuskausi

Suomen jälleenrakennuskauden katsotaan alkaneen talvisodan jälkeen vuonna 1940 ja jatkuneen aina 1950- luvun alkuun asti. Tuona aikana rakennettiin suuri määrä uusia asuntoja sodassa tuhoutuneiden tilalle. Lisäksi asuntoja tarvittiin rintamamiehille ja yli 400 000 Karjalan ja Porkkalan evakolle. (Kummala 2004.)

Asuntotuotanto keskittyi lähinnä pientaloihin, joita rakennettiin tyyppitalopiirustusten mukaan. Tuon ajan tyyppitaloja kutsutaankin yleisesti rintamamiestaloiksi. Rintamamiestalo on puolitoistakerroksinen puurakenteinen ja harjakattoinen talo. Ulkoverhous tehtiin laudasta, joko pystysuuntaisena peiterimaverhouksena tai vaakalaudoituksena. Lämmöneristeenä käytettiin yleisesti sahanpurua tai kutterinlastua. Alapohja toteutettiin usein ryömintätilaisena. Vesikatemateriaalien pulan takia pärekatto oli yleisin ratkaisu. Materiaalipulan loputtua katteet vaihtuivat bitumihuopa-, pelti- tai betonitiilikatteiksi. (Lukander 2010.)

Savupiippu sijaitsi keskellä rakennusta ja kaikki asuinhuoneet sijoitettiin sen ympärille. Alakerta oli nelijakoinen, joka koostui eteisestä, keittiöstä ja kahdesta huoneesta. Yläkerrassa oli kaksi päätyhuonetta, jotka voitiin rakentaa asuinkäyttöön myöhemmässäkin vaiheessa. Lisäksi talossa saattoi olla vielä kellarikerros ja wc. Varsinaisia pesutiloja ei ollut, mutta niitä on rakennettu myöhemmin, joko olemassa olevan rungon sisään, tai laajennusosaan. (Lukander 2010.)



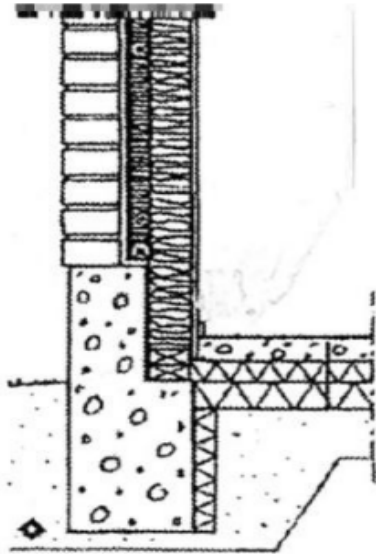
Jokainen rintamamiestalo oli näennäisestä yhdenmukaisuudesta huolimatta erilainen. Tyyppitalomalleja oli useita ja jokainen suunnittelija tai rakentaja saattoi muokata niistä omanlaisensa. Lisäksi rakenneratkaisuja jouduttiin usein muokkaamaan saatavilla olevien materiaalien ja rakentajan taitojen mukaan. (Lukander 2010.)

Rintamamiestaloja rakennettiin paljon vielä 1950- luvullakin ja rakennustarvikkeiden säännöstelyn päättyminen vuonna 1956 mahdollisti uusien rakennustyyppien kehittämisen. Rintamamiestalo säilyi yleisimpänä uudisrakennustyyppinä aina 1960- luvulle asti. 1960- luvulle tultaessa tyyppitalojen tarve kuitenkin alkoi hiipua ja pientalorakentaminen siirtyi vähitellen talotehtaille. (Lukander 2010.)

### **2.3 1960- ja 70-lukujen pientalot**

1960- luvulla teollinen pientalorakentaminen syrjäytti tyyppitalot ja tiilirakenteiset pientalot yleistyivät. Puurunko säilytti silti asemansa käytetyimpänä runkotyyppinä. Talot olivat yksikerroksisia loivalla harjakatolla. Tiiltä suosittiin ulkoverhousmateriaalina ja lisäksi käytettiin paljon myös rappausta ja asbestisementtilevyjä. Vaakasuuntainen puuverhouskin säilyi melko yleisenä ulkoverhousratkaisuna. Sahanpuru- ja kutterieristeiden tilalle tulivat mineraalivillaeristeet. Yläpohjan kantavat rakenteet tehtiin vielä kappale-tavarasta paikalla, mutta 1960- luvun lopulla otettiin käyttöön naulaamalla koottavat kattoristikot. Katemateriaalina käytettiin yleisesti peltiä tai huopaa. (Lukander 2010.)

Perustamistapana käytettiin matalaperustusta ja 1960- luvun lopulla maanvarainen betonilaatta olikin yleisin alapohjaratkaisu. Lisäksi kehitettiin niin sanottu valesokkeli (kuva 2), joka on myöhemmin todettu kosteusteknisesti erittäin huonoksi ratkaisuksi, sillä siinä puurunko jäi usein maanpinnan alapuolelle. Teollisen rakentamisen myötä otettiin käyttöön paljon muitakin uusia rakenneratkaisuja ja -materiaaleja, joiden rakennusfysikaalisia ominaisuuksia ei täysin tunnettu. Tämän takia tuon ajan rakenteissa on esiintynyt paljon erilaisia kosteusongelmia. (Lukander 2010).



KUVA 2. Esimerkki valesokkelista (Laurinen 2011)

1970- luvulla ruvettiin suosimaan todella loivia kattoja ja tasakattokin oli yleinen. Vuosikymmenen loppupuolella rakennettiin paljon myös jyrkkäkattoisia, puolitoistakerroksisia ns. ”käkikellotaloja”. Tiiliverhous oli yhä suosituimpi julkisivuratkaisu. Ulkoseinä-rakenteissa ruvettiin käyttämään höyrynsulkua estämään sisäilman kosteuden pääsyä lämmöneristeisiin. Aluksi käytettiin muovitettua paperia, joka myöhemmin vaihtui muoviin. Lisäksi seinärungon eristepaksuus muuttui 100 mm:stä 150 mm:iin 1970- luvun puolivälin energiakriisin seurauksena. (Lukander 2010.)

Tasakattojen yleistyessä huopakatteen käyttö lisääntyi. Tämän seurauksena huopakatteiden laatu parani, sillä tasakatto vaati todella tiiviin ja kestävä katteen. Ongelmia tasakatoilla aiheutti vedenpoistokaivojen tukkeutuminen. Sen seurauksena vesi jäi seisomaan katolle tunkeutuen katerakenteeseen, jossa se jäätyessään aiheutti vaurioita. Jyrkkäkattoisissa ”käkikellotaloissa” käytettiin yleisesti tiilikatetta. (Lukander 2010.)

#### 2.4 Moderni pientalorakentaminen

Talotehtaiden osuus pientalorakentamisessa on noussut 1980-luvulta lähtien, jolloin jo suurin osa uusista pientaloista oli valmistaloja. Pientaloteollisuus Ry:n mukaan nykyään rakennettavista pientaloista yli 76 % on talotehtaiden talopaketteja (Pientaloteollisuus

Ry). Talopakettien suosion takana on pientalojen laatuvaatimusten kasvaminen. Lisäksi mm. kiristyneiden energiatehokkuusvaatimusten myötä ammattitaitoisen rakentamisen tarve on lisääntynyt myös pientalorakentamisessa. (Pientaloteollisuus Ry.)

Nykyaikaiset talopaketit mahdollistavat hyvin yksilöllisten pientalojen suunnittelun. Talotehtailla on usein laaja valikoima erityyppisiä malleja ja tilaajan on lisäksi mahdollista muokata näistä haluamansa mukainen. Talotehtailla on yleensä viisi eri valmiusasetta, joiden mukaan talopaketti on mahdollista tilata. Nämä ovat materiaali- ja elementtipaketti, runkovalmis-, vesikattovalmis-, muuttovalmis- ja talovalmispaketti. (Pientaloteollisuus Ry.)

### **Materiaali- ja elementtivalmispaketti**

Materiaali- ja elementtipaketissa perustus- ja runkomateriaalit, kantavat seinät, välipohjat, ikkunat ja ovet toimitetaan rakennuspaikalle. Paketti sisältää myös arkkitehti- ja rakennesuunnittelun. (Pientaloteollisuus Ry.)

### **Runkovalmispaketti**

Runkovalmiissa paketissa ulkoseinät ja vesikaton kantavat rakenteet asennetaan valmiiksi työmaalla. (Pientaloteollisuus Ry.)

### **Vesikattovalmispaketti**

Vesikattovalmispaketti on muuten sama kuin runkovalmis, mutta se sisältää lisäksi vesikaton ja räystäsrakenteen valmiiksi asennettuna. (Pientaloteollisuus Ry.)

### **Muuttovalmispaketti**

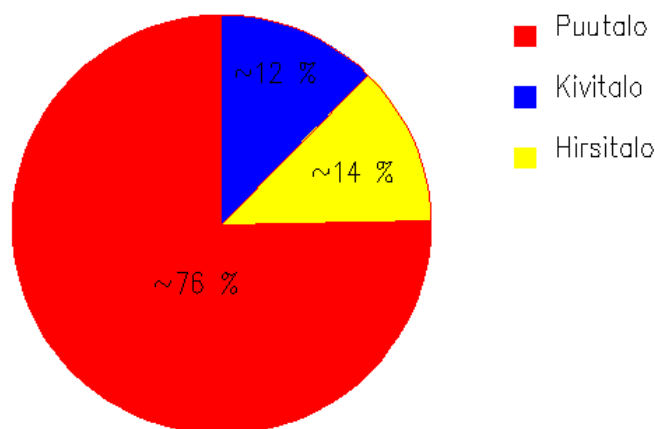
Muuttovalmiissa paketissa talo luovutetaan tilaajalle lähes valmiina. Se sisältää valaistuksen, lämmityksen, ilmanvaihdon, sähköistyksen ja kodinkoneet valmiiksi asennettuna. Tilaajan vastuulle jää pääsuunnittelijan ja vastaavan työnjohtajan hankkiminen, tavaroimitusten vastaanottaminen ja rakennusaikainen siivoaminen. Tilaajan vastuulla on mahdollisesti myös perustusten rakentaminen. (Pientaloteollisuus Ry.)

### Talovalmispaketti

Talovalmispaketti on vielä hieman laajempi kuin muuttovalmis. Talovalmiissa paketissa tilaajan vastuulle jää käytännössä ainoastaan pääsuunnittelijan ja vastaavan työnjohtajan hankkiminen. (Pientaloteollisuus Ry.)

Runkomateriaaleista puu on yhä ylivoimaisesti suosituin. Yleensä käytetään tavallista sahatavaraa, mutta haastavimmissa kohteissa voidaan käyttää myös viilupuuta. Puurunko voidaan toteuttaa paikalla rakennettuna määrämittaan sahatusta puutavarasta tai tehtaalla valmistetuista pien-, suur-, tai tilaelementeistä. Pienelementit ovat yleensä seinänkorkuisia ja niiden siirtelyyn ei välttämättä tarvita nostoautoa. Suurelementit taas ovat yleensä seinän pituisia. Tilaelementeillä rakennettaessa talo pystytetään perustusten päälle yhdestä tai useammasta tehtaalla rakennetusta tilaelementistä. Tilaelementit voivat olla jopa sisäpintoja myöten esivalmistettuja. Yleisimpinä julkisivuratkaisuuksina käytetään joko puu- tai tiiliverhoilua. Julkisivut voidaan toteuttaa myös rappaamalla. (Pientaloteollisuus Ry.)

Puurunkoisten talojen lisäksi rakennetaan jonkin verran myös kivi- ja hirsitaloja. Kivitalon runkomateriaalina voidaan käyttää mm. betonia, kevytbetonia, kevytsoraharkkoja tai täystiiltä. Julkisivut yleensä rapataan, mutta puuverhoilukin on mahdollinen. Tiilitaloisissa tiilipinta jätetään yleensä näkyviin. Hirsitalojen runko voidaan tehdä joko perinteisestä massiivihirrestä tai liimatuista lamellihirsistä. Hirsirunkoon voidaan tehdä lisälämmön eriste joko sisä- tai ulkopintaan. (Pientaloteollisuus Ry.) Eri runkomateriaalien käyttömäärät on esitetty kuviossa 1.



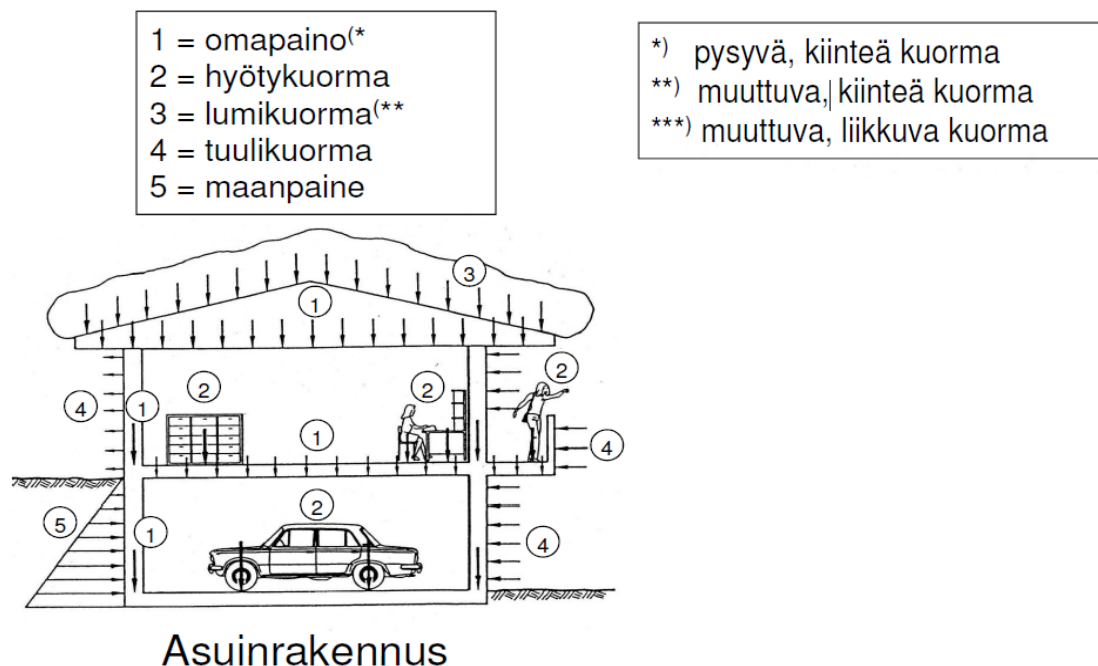
KUVIO 1. Pientalojen runkomateriaalien jakautuma (Lähde: Pientaloteollisuus Ry)

### 3 KUORMAT

Rakennukseen kohdistuu monia ulkoisia ja sisäisiä kuormia. Ulkoiset kuormat voivat olla joko pysty- tai vaakasuuntaisia. Nämä kuormat viedään aina rakenteita pitkin perustuksille ja sitä kautta maaperään tai kallioon. Sisäiset kuormat liittyvät lähinnä yksittäisten rakenneosien jäykistykseen, joten niitä ei käsitellä tässä työssä.

Kuormat jaetaan yleensä vaikutusajan perusteella pysyviin ja muuttuviin kuormiin. Tämän lisäksi kuormat jaetaan kiinteisiin ja liikkuviin kuormiin ja staattisiin ja dynaamisiin kuormiin. Kuorman kiinteys tai liikkuvuus määräytyy sen mukaan vaikuttaako kuorma koko esiintymisaikansa kiinteästi samassa kohdassa. Kaikki pientaloon vaikuttavat kuormat ovat käytännössä staattisia kuormia. Dynaamisia kuormia ovat lähinnä erilaiset onnettomuuskuormat.

Seuraavaksi käydään läpi pientaloon kohdistuvat pysty- ja vaakakuormat ja niiden määrittäminen (kuva 3). Lähteenä on käytetty **RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat** – kirjaa, joka on Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisema lyhennetty ohje eurokoodistandardeista **EN 1990**, **EN 1991-1-1**, **EN 1991-1-3** ja **EN 1991-1-4**.



KUVA 3. Pientaloon kohdistuvat kuormat

### 3.1 Pystykuormat

Rakennukseen vaikuttavia pystykuormia ovat: rakenteiden oma paino, hyötykuorma sekä lumikuorma. Näistä oma paino on kiinteä pysyvä kuorma. Hyötykuorma on liikkuva muuttuva kuorma ja lumikuorma on kiinteä muuttuva kuorma.

#### 3.1.1 Oma paino

Oma paino määritellään standardissa **SFS-EN-1991-1-1 Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat**. Oma paino lasketaan jokaiselle rakennusosalle erikseen ja siihen vaikuttavat rakennusosan mitat ja käytettävä rakennusmateriaali.

Pientalojen kantavissa rakenteissa käytetyin materiaali on puu, joten rakennusrungon oma paino aiheuttaa vain pienen kuormituksen, sillä puu on kevyt materiaali ja lisäksi käytettävät poikkileikkaukset ovat melko hoikkia. Pientaloissa omapaino on merkittävä ainoastaan perustuksilla, joissa käytetään usein betonia tai jotain muuta raskaampaa materiaalia. Lisäksi perustusten poikkileikkaukset ovat huomattavasti suurempia kuin esimerkiksi runkotolppien.

Rakennusosan oma paino lasketaan sen nimellismittojen ja käytettävän materiaalin tiheyden perusteella. Aloitetaan muuttamalla tiheys tilavuuspainoksi kertomalla se putoamiskiihtyvyydellä  $g$  kaavan 1 mukaisesti.

$$\gamma = \rho \cdot g \tag{1}$$

missä,

$$\gamma = \text{tilavuuspaino} \quad (\text{kN/m}^3)$$

$$\rho = \text{tiheys} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$g = \text{putoamiskiihtyvyys } 10 \text{ m/s}^2$$

Tämän jälkeen lasketaan rakennusosan omapaino tilavuuspainon ja tilavuuden avulla (kaava 2).

$$G = \gamma \cdot V \quad (2)$$

missä,

$G$  = kappaleen oma paino (kN)

$\gamma$  = tilavuuspaino (kN/m<sup>3</sup>)

$V$  = kappaleen tilavuus (m<sup>3</sup>)

### 3.1.2 Hyötykuormat

Hyötykuormat määritellään samassa standardissa kuin oma painokin. Hyötykuormat aiheutuvat mm. ihmisistä ja liikuteltavista kalusteista ja laitteista. Hyötykuormat määräytyvät eri tiloille niiden käyttötarkoituksen mukaan. Tilat on jaettu kymmeneen eri luokkaan (taulukko 1). Pientalojen tilat kuuluvat käytännössä aina luokkaan A, eli asuin- ja majoitustilat ja niiden mitoituksessa käytetään taulukosta saatavaa jakaantuneen kuorman (kN/m<sup>2</sup>) arvoa.

TAULUKKO 1. Rakennuksen hyötykuormat (RIL 201-1-2011, 67- 68)

Luokka	Käyttötarkoitus	Hyötykuorma $q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	Pistekuorma $Q_k$ (kN)	Vaakakuormat (kN/m)
A	Asuin- ja majoitustilat – esim. asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien majoitustilat	vällipohjat 2,0 portaat 2,0 parvekkeet 2,5	2,0 2,0 2,0	0,5 0,5 0,5
B	Toimistotilat	2,5	2,0	0,5
C	Kokoontumistilat C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat	2,5	3,0	0,5
	C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat	3,0	3,0	1,0
	C3: Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit	4,0	4,0	1,0
	C4: Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt	5,0	4,0	1,0
	C5: Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötapahtumien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit mukaan luettuina katsomot, terassit ja eteistilat sekä rautatiealuturit	6,0	4,0	3,0
D	Myyntätilat D1: Tavallisten vähittäiskauppojen tilat	4,0	4,0	1,0
	D2: Tavaratalojen tilat	5,0	7,0	1,0
E	Varasto- ja tuotantotilat E1: Varastotilat. Tilat, joissa tavaraa säilytetään, mukaan luettuna tavarin vastaanottotilat E2: Teollisuuskäyttö	7,5	7,0	1,0
F ja G	Liikennöntialueet Kevyiden ajoneuvojen liikennönti- ja pysäköintialue. Kokonaispaino $\leq 30$ kN ja enintään 8 paikkaa kuljettajan lisäksi	2,5	20	kts. liite B
G	Keskiraskaiden ajoneuvojen liikennönti- ja paikoitusalueet. Ajoneuvokuormat, kun $30 \text{ kN} < \text{kok. paino} \leq 160 \text{ kN}$ , 2 akselilla	5,0	90	kts. liite B
H, I ja K	Vesikatot Vesikatot, joille on pääsy vain normaalia kunnossapitoa ja korjaamista varten	0,4	1,0	
I	Vesikatot, joille on pääsy luokkien A...D mukaisesti.	kuormat luokkien A...D mukaisesti		
K	Erytistoimintoja varten olevat vesikatot, kuten helikoptereiden laskeutumisalueet		ks. kohta 6.3.4	



### Pienennyskertoimet

Tietyissä tapauksissa vaaka- ja pystyrakenteita mitoitettaessa voidaan hyötykuormille käyttää pienennyskertoimia. Näitä ei useinkaan tarvitse huomioida pientaloissa.

Jos vaakarakenteen, kuten esimerkiksi välipohjapalkin, kuormitusala on yli  $10 \text{ m}^2$ , voidaan hyötykuormaa pienentää kertoimella  $\alpha_A$  (kaava 3).

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot \psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0 \text{ kuitenkin vähintään } \alpha_A = 0,8 \quad (3)$$

missä,

$\psi_0$  = standardin EN-1990 kansallisen liitteen taulukon A1.1 (FI) mukainen kerroin (luokissa A-D,  $\psi_0 = 0.7$ )

$A_0 = 10 \text{ m}^2$

$A$  = kuormitusalue (m<sup>2</sup>)

Pystyrakenteiden kuormitusta voidaan pienentää kertoimella  $\alpha_n$ , jos rakennuksessa on enemmän kuin kolme kerrosta (kaava 4).

$$\alpha_n = \frac{2+(n-2) \cdot \psi_0}{n} \quad (4)$$

missä,

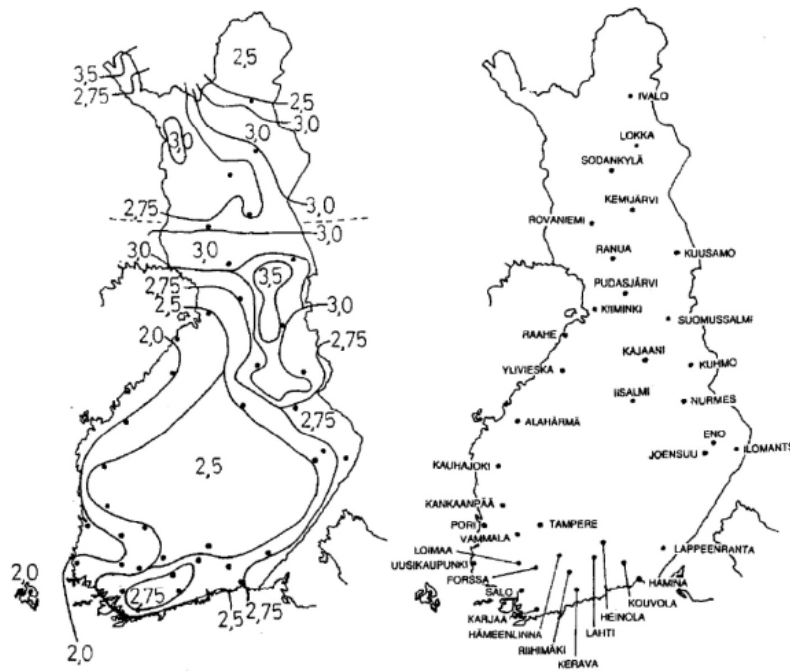
$n$  = yläpuolella olevien samaan tilaluokkaan kuuluvien kerrosten lukumäärä

$\psi_0$  = standardin EN-1990 kansallisen liitteen taulukon A1.1 (FI) mukainen kerroin (luokissa A-D,  $\psi_0 = 0.7$ )

### 3.1.3 Lumikuorma

Lumikuorma määritellään standardissa **SFS-1991-1-3 Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat**. Lumikuorman suuruuteen vaikuttavat seuraavat tekijät: rakennuksen maantieteellinen sijainti, katon muoto, kattokaltevuus sekä lumen mahdollinen kinostuminen.

Katon ominaislumikuorman määrittämiseen tarvitaan maanpinnan lumikuorman ominaisarvoa  $s_k$ . Se on maassa oleva lumikuorma, joka ylittyy keskimäärin kerran 50 vuodessa. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo saadaan kuvasta 4.



KUVA 4. Maanpinnan ominaislumikuormat (RIL 201-1-2011, 92)

Katon ominaislumikuorma saadaan kaavasta 5, mutta sen minimiarvona käytetään 0,5 kN/m<sup>2</sup>. Kaavassa esiintyvän muotokerroimen  $\mu_i$  arvo saadaan taulukosta 2 tai kuviosta 2.

$$q_{s,k} = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (5)$$

missä,

$$q_{s,k} = \text{katon ominaislumikuorma} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$\mu_i = \text{muotokerroin}$$

$$C_e = \text{tuulensuojaisuskerroin (1,0 tai 0,8)}$$

$$C_t = \text{lämpökerroin (tavallisesti 1,0)}$$

$$s_k = \text{maanpinnan lumikuorman ominaisarvo} \quad (\text{kN/m}^2)$$

Tuulensuojaisuuskertoimelle voidaan käyttää arvoa  $C_e = 0,8$ , kun maastotyyppi on tuulinen. Lämpökerrointa taas voidaan pienentää, mikäli kattorakenteen lämmöneristys on vähäinen. Näille kertoimille kuitenkin harvemmin käytetään 1,0:sta poikkeavaa arvoa, joten kaava 5 pelkistyy kaavan 6 mukaiseksi.

$$q_{s,k} = \mu_i \cdot s_k \quad (6)$$

missä,

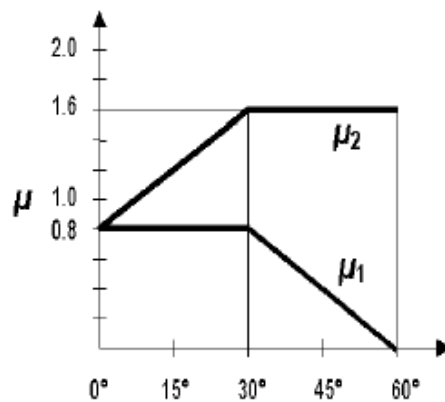
$$q_{s,k} = \text{katon ominaislumikuorma} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$\mu_i = \text{muotokerroin}$$

$$s_k = \text{maanpinnan lumikuorman ominaisarvo} \quad (\text{kN/m}^2)$$

TAULUKKO 2. Lumikuorman muotokertoimet (RIL 201-1-2011, 95)

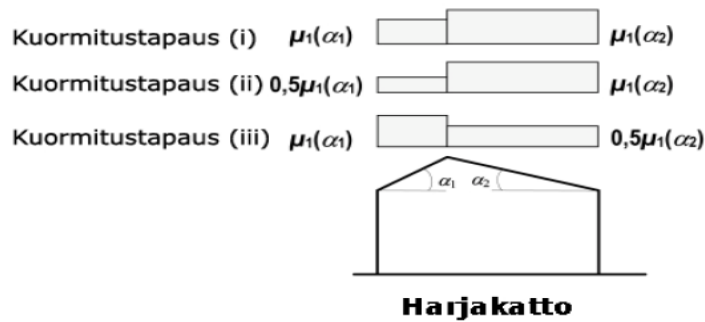
Katon kaltevuuskulma $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	1,6



KUVIO 2. Lumikuorman muotokertoimet (RIL 201-1-2011, 95)

Muotokerrointa  $\mu_1$  käytetään kinostumattomalle lumelle ja muotokerrointa  $\mu_2$  kinostuneelle lumelle. Muotokertoimen arvo perustuu siihen oletukseen, että mitä jyrkempi kattokaltevuus, sitä vähemmän katolle jää lunta. Jos katolla on lumiasteita, käytetään muotokertoimelle vähintään arvoa 0,8.

Pientaloissa yleisin kattotyyppi on harjakatto. Mikäli katto on epäsymmetrinen, lumikuormalle on kolme erilaista kuormitustapausta (kuva 5). Ensimmäisessä tapauksessa (i) molemmilla lappeilla on täysi lumikuorma. Toisessa (ii) tapauksessa pidemmällä lappeella on täysi kuorma ja lyhyemmällä puolet kuormasta. Kolmannessa tapauksessa (iii) taas lyhyemmällä lappeella on täysi kuorma ja pidemmällä puolikas kuormitus. Symmetriselle harjakatolle tapauksia on kaksi.



KUVA 5. Harjakaton kuormituskaaviot (RIL 201-1-2011, 96)

Mikäli rakennuksessa on erikorkuisia kattotasoja, tulee alemmalle katolle tapahtuva kinostuminen ottaa huomioon. Alemman katon muotokerroimet ja kinostumispituus määritellään seuraavilla kaavoilla 7, 8, 9, 10 ja 11.

$$\mu_1 = \text{määräytyy alemman katon kaltevuuden mukaan} \quad (7)$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \quad (8)$$

missä,

$\mu_2$  = kinostuvan lumen muotokerroin

$\mu_s$  = ylemmältä katolta putoavan lumen kinostumisen aiheuttama muotokerroin

$\mu_w$  = tuulen kinostaman lumen aiheuttama muotokerroin

Putoavan lumen aiheuttama muotokerroin:

$$\text{Kun } \alpha \leq 15^\circ, \mu_s = 0 \quad (9)$$

Kun  $\alpha > 15^\circ$ ,  $\mu_s$  määritetään lisäkuormasta, joka on 50 % ylemmän katonviereisen lappeenlasketusta maksimilumikuormasta, jos katolla ei ole liukuesteitä

missä,

$\alpha$  = ylemmän katon kaltevuus

$\mu_1$  = ylemmän katon muotokerroin

$b_y$  = ylemmän kattolapteen vaakamitta (m)

$l_s$  = kinostumispituus (m)

Tuulen kinostaman lumen aiheuttama muotokerroin:

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} < \frac{\gamma h}{s_k} \quad (10)$$

missä,

$h$  = kattojen tasoero (m)

$b_1$  ja  $b_2$  = rakennuksen erikorkuisten osien pituus (m)

$\gamma$  = lumen tilavuuspaino (2 kN/m<sup>3</sup>)

$s_k$  = ominaislumikuorma maassa (kN/m<sup>2</sup>)

Kaavassa 10 esiintyvä reunaehto rajaa pois sen vaihtoehdon, että tuuli kinostaisi lunta korkeamman osan seinustalle yli kattojen tasoeron. Tämän lisäksi kertoimelle  $\mu_w$  on esitetty seuraavat vaihteluvälit:

$$0,8 \leq \mu_w \leq 2,5, \text{ jos alemman katon pinta-ala} \geq 6 \text{ m}^2$$

$$0,8 \leq \mu_w \leq 1,5, \text{ jos alemman katon pinta-ala} = 6 \text{ m}^2$$

$$\mu_w = 0,8, \text{ jos alemman katon pinta-ala} \leq 1 \text{ m}^2$$

Kinostumispituus:

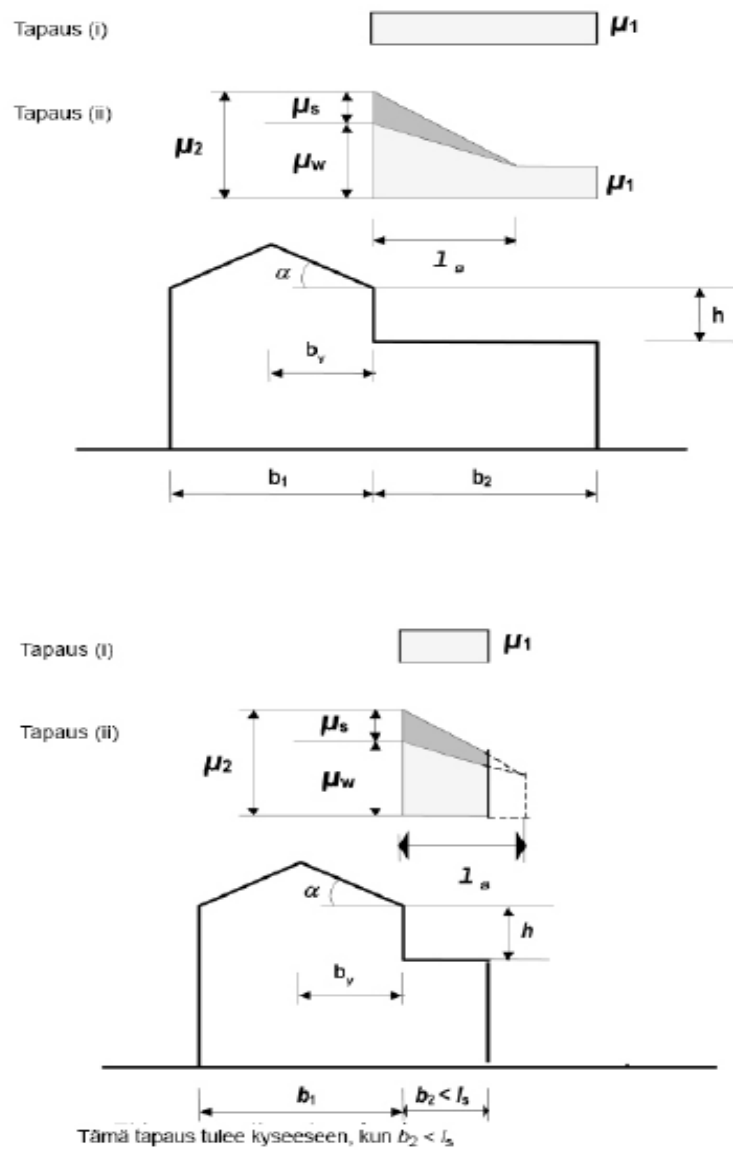
$$l_s = 2 \cdot h \quad (11)$$

missä,

$l_s$  = kinostumis pituus (m)

$h$  = kattojen tasoero (m)

Kinostumis pituuden vaihteluväli on  $2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m}$ . Kaavoissa käytetyt mitat määritellään kuvan 6 avulla.



KUVA 6. Lumikuorman kinostuminen (RIL 201-1-2011, 100)

Kuvan 6 ylemmässä tapauksessa rakennuksen alempi katto on niin pitkä, että lumi pääsee kinostumaan koko lasketun kinostumispuitepituuden matkalle. Alemmassa tapauksessa taas alempi katto on lyhyempi kuin kinostumispuitepituus. Tällaisessa tapauksessa alemman katon päässä oleva kerroin määritetään interpoloimalla välillä  $\mu_1$  ja  $\mu_2$  katkaistuna alemman katon päässä.

## 3.2 Vaakakuormat

Vaakakuormien takia rakennukset tarvitsevat jonkinlaisen jäykistyssysteemin. Jäykistysrakenteiden kautta vaakakuormat siirretään pystyrakenteille, joiden kautta ne kulkeutuvat perustuksille ja perustuksilta maa- tai kallioperään. Merkittävin vaakakuorma on tuulikuorma. Muita pientaloon vaikuttavia vaakakuormia ovat pystykuormien aiheuttamat rakenteiden asennustoleransseista ja vinoudesta tulevat lisävaakavoimat ja maanpaine kuormat kellarillisissa rakennuksissa.

### 3.2.1 Tuulikuorma

Tuulikuorma määritellään standardissa **SFS-1991-1-4 Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat**. Tuulikuorman suuruuteen vaikuttavat tuulennopeus, maaston rosoisuus, maaston paikalliset pinnan muodot ja rakennuksen mitat.

Tuulennopeuden perusarvo  $v_b$  määritellään tuulennopeuden 10 minuutin keskiarvona, 10m:n korkeudella maanpinnasta, 50 vuoden toistumisaikaa vastaavana arvona (RIL 201-1-2011, 125). Suomessa perusarvot ovat:

manneralueilla  $v_b = 21$  m/s

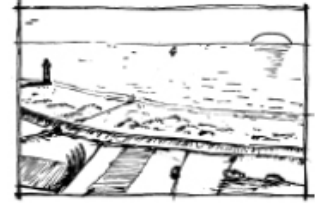
merialueilla  $v_b = 22$  m/s

tunturien lakialueilla  $v_b = 26$  m/s

Rakennusta ympäröivän maaston rosoisuus vaikuttaa tuulen voimakkuuteen. Eurokoodissa maastotyyppit on luokiteltu maaston rosoisuuden perusteella viiteen eri maastoluokkaan 0, I, II, III, IV (kuva 7).

**Maastoluokka 0**

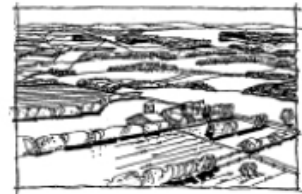
Meri, avoimen meren äärellä oleva rannikkoalue

**Maastoluokka I**

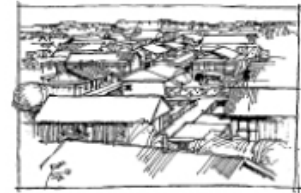
Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä

**Maastoluokka II**

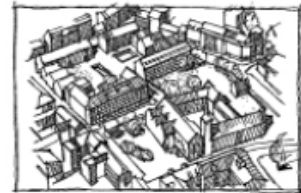
Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta, kuten heinää tai ruohoa ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan

**Maastoluokka III**

Alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)

**Maastoluokka IV**

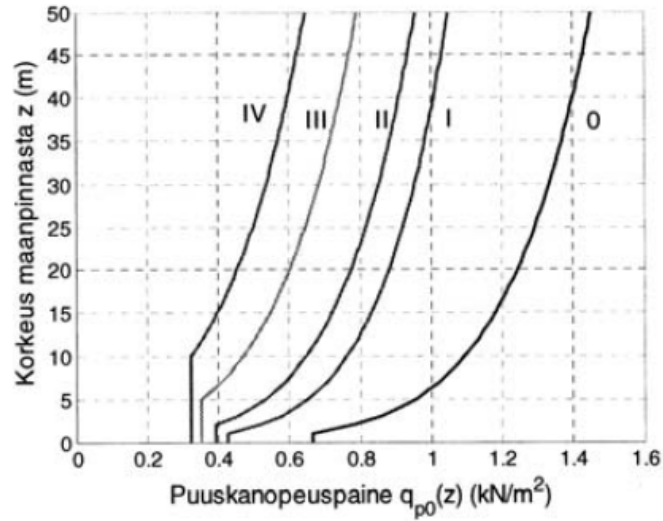
Alue, jolla vähintään 15 % alasta on rakennusten peitossa ja joiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m



KUVA 7. Maastoluokat EC 1 mukaan (RIL 201-1-2011, 127)

Tuulikuorman laskenta aloitetaan määrittämällä tuulen puuskanopeuspaine maastoluokan ja rakennuksen harjakorkeuden perusteella kuviosta 3 tai taulukosta 3. Tässä työssä käytetään tuulikuormien määrittämiseen yksinkertaistettua menetelmää, jota käytetään matalilla rakennuksilla, joiden korkeus on pienempi kuin leveys. Tässä menetelmässä oletetaan, että tuulenpaineella on kaikissa korkeusasemissa sama arvo kuin harjalla.





KUVIO 3. Nopeuspaineen ominaisarvo eri maastoluokissa EC 1 mukaan (RIL 201-1-2011, 132)

TAULUKKO 3. Nopeuspaineen ominaisarvo eri maastoluokissa EC 1 mukaan (RIL 201-1-2011,133)

z (m)	Maastoluokka				
	0	I	II	III	IV
0	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
1	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
2	0,78	0,52	0,39	0,35	0,32
5	0,96	0,65	0,53	0,35	0,32
8	1,05	0,73	0,61	0,43	0,32
10	1,09	0,76	0,65	0,47	0,32
15	1,18	0,83	0,72	0,55	0,40
20	1,24	0,88	0,77	0,60	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,50
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,40	1,01	0,91	0,74	0,60

Jos rakennus sijaitsee rinteessä, jonka kaltevuus on yli 0.05, tulee puuskanopeuspaineelle käyttää kaavan 12 mukaista modifioitua arvoa.

$$q_p(z) = \gamma_D \cdot q_{p0}(z) \quad (12)$$

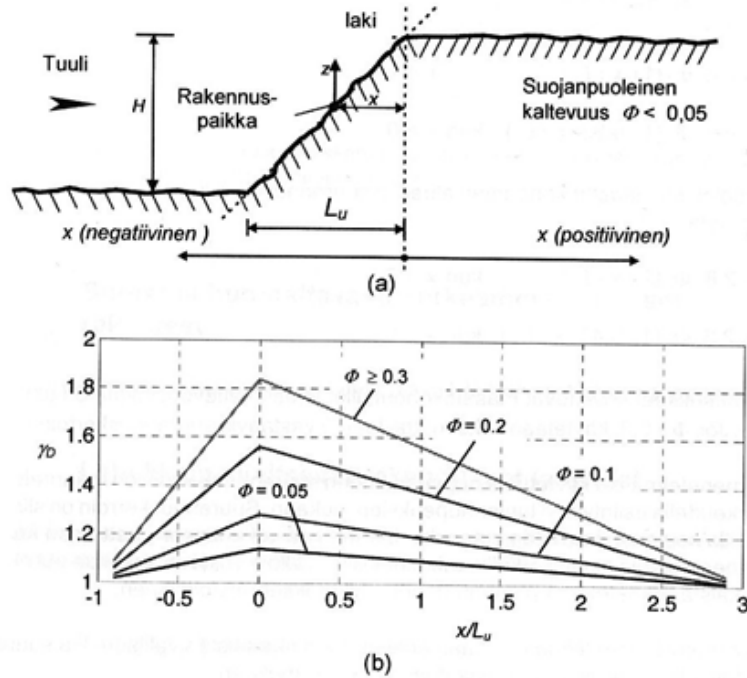
missä,

$$q_p(z) = \text{modifioitu nopeuspaine} \quad (\text{kN/m}^2)$$

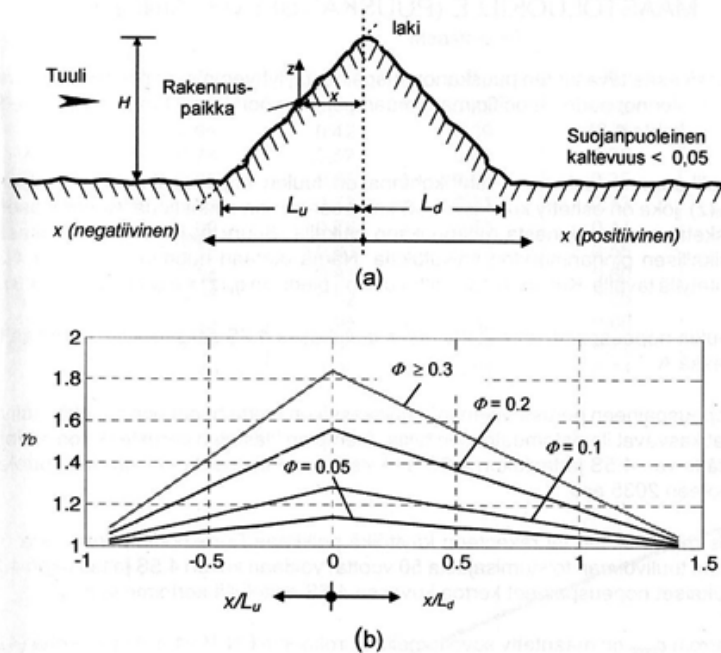
$\gamma_D$  = paikalliset pinnanmuodot huomioiva suurennuskerroin

$$q_{p0}(z) = \text{puuskanopeuspaineen ominaisarvo} \quad (\text{kN/m}^2)$$

Kerroin  $\gamma_D$  määritetään graafisesti kuvien 8 ja 9 avulla. Kertoimen suuruuteen vaikuttavat rinteiden kaltevuus ja rakennuksen sijainti rinteessä.



KUVA 8. Nopeuspaineen suurennuskerroin toispuoleisille maastonkohoumille (RIL 201-1-2011, 129)



KUVA 9. Nopeuspaineen suurennuskerroin kaksipuoleisille maastonkohoumille (RIL 201-1-2011, 131)

Kertoimen  $\gamma_D$  määrittämisessä käytettävät suureet:

$\phi$  = kaltevuus  $H/L_u$  tuulen puolella, tuulen suunnassa

$L_u$  = tuulenpuoleisen rinteän pituus (m)

$L_d$  = suojanpuoleisen rinteän pituus (m)

$H$  = kohouman/rinteän tehollinen korkeus (m)

$x$  = rakennuksen keskilinjän vaakasuora etäisyys rinteän laelta (m)

Käyrästä nähdään, että mitä jyrkempi maastonkohouma on ja mitä lähempänä sen huippua rakennus on, sitä suurempi kohouman vaikutus on tuulenpaineeseen. Todella jyrkillä kohoumilla on jonkin verran tuulenpainetta korottavaa vaikutusta vielä niiden juurellakin, kun taas loivilla kohoumilla vaikutus on todella mitätön.

Kun tuulen puuskanopeuspaine on määritetty, laskentaa voidaan jatkaa kahdella eri menetelmällä, joko kokonaistuulivoimamenetelmällä tai pintapainemenetelmällä.

### **Kokonaistuulivoimamenetelmä**

Kokonaistuulivoimamenetelmä on menetelmistä yksinkertaisempi ja sitä käytetään lähinnä silloin kun suunnitellaan rakennuksen kokonaisstabiliteettia tai sen saavuttamisen kannalta tärkeitä rakennusosia, kuten esimerkiksi tässäkin työssä tarkasteltavia jäykistysrakenteita.

Pientalot ovat pääsääntöisesti matalia rakennuksia, joten oletetaan, että tuulenpaineella on sama arvo kaikissa korkeusasemissa. Näin rakennukseen kohdistuva tuulen kokonaisvoima  $F_w$  saadaan kaavan 13 mukaisesti. Kyseisen tuulivoimaresultantin oletetaan vaikuttavan  $0,6h$  korkeudella maanpinnasta.

$$F_w = (c_s c_d) \cdot c_f \cdot q_p(h) \cdot A_{ref} \quad (13)$$

missä,

$F_w$  = kokonaistuulivoima (kN)

$c_s c_d$  = rakennekerroin (yleensä 1,0)

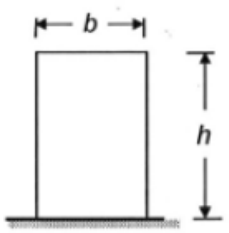
$c_f$  = voimakkeroin

$q_p(h)$  = modifioitu tuulen nopeuspaine (kN/m<sup>2</sup>)

$A_{ref}$  = tuulen puoleisen sivun pystyprojektion pinta-ala (m<sup>2</sup>)

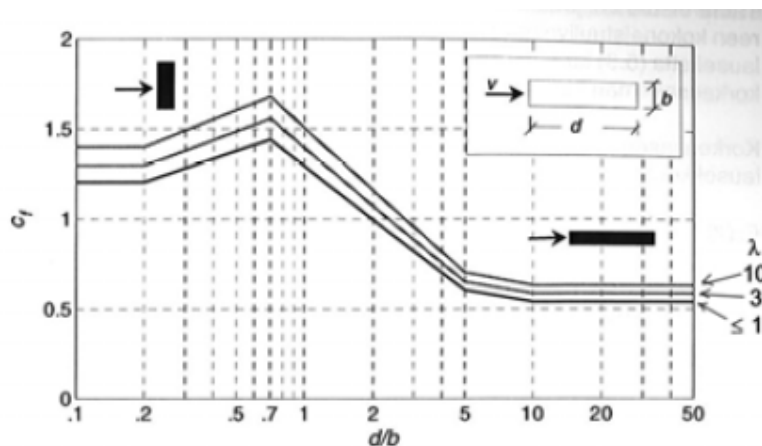
Rakennekerroin  $c_s c_d$  jätetään usein kaavasta pois, koska sille käytetään tavallisesti arvoa 1,0. Voimakertoimen  $c_f$  määrittämiseen tarvitaan rakennuksen tehollista hoikkuutta  $\lambda$ , joka määritetään taulukon 4 avulla. Tämän jälkeen voimakerroin määritetään joko numeerisesti, tai graafisesti (taulukko 5 tai kuvio 4). Sivun  $b$  on tuulta kohtisuoraan vastaan oleva sivu ja sivu  $d$  on tuulen suuntainen sivu.

TAULUKKO 4. Tehollinen hoikkuus (RIL 201-1-2011, 136; liite 3)

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

TAULUKKO 5. Taulukko voimakertoimen  $c_f$  määrittämiseen (väliarvot interpoloidaan) (RIL 201-1-2011, 137)

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



KUVIO 4. Diagrammi voimakertoimen  $c_f$  määrittämiseen (RIL 201-1-2011, 137)

### Pintapainemenetelmä

Pintapainemenetelmä on hieman monimutkaisempi ja pidempi menetelmä tuulikuorman laskemiseksi. Sitä käytetään erityisesti yksittäisten rakenneosien mitoittamiseen, mutta sen avulla voidaan myös suunnitella rakennuksen kokonaisstabiiliteettia. Lisäksi pintapainemenetelmää käytetään pintarakenteiden kiinnitysten suunnittelussa.

Pintapainemenetelmässä rakennus jaetaan osapintoihin ja tämän jälkeen tarkastellaan osapintoihin kohdistuvia ulkoisia ja sisäisiä painekuormia. Tässä työssä käsitellään ai-noastaan seinien osapintoja. Yksittäiseen osapintaan vaikuttavat ulkopuolinen paine ja sisäpuolinen paine saadaan kaavoista 14 ja 15. Osapintoihin jako tehdään kuvan 10 avulla ja eri pintojen painekertoimet löytyvät taulukosta 6.

$$w_e = c_{pe} \cdot q_p(h) \quad (14)$$

missä,

$w_e$  = osapintaan vaikuttava ulkopuolinen paine

$c_{pe}$  = osapinnan ulkoisen paineen kerroin

$q_p(h)$  = modifioitu tuulen nopeuspaine

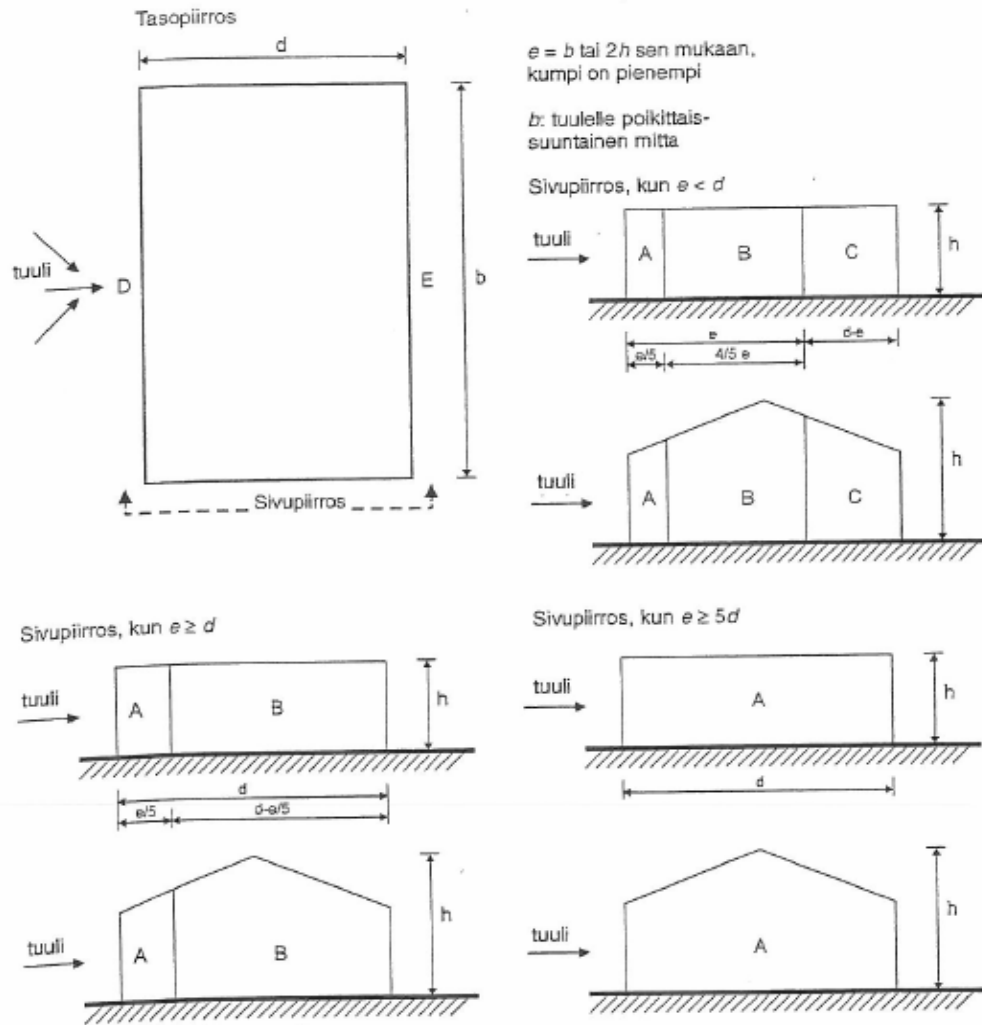
$$w_i = c_{pi} \cdot q_p(h) \quad (15)$$

missä,

$w_i$  = osapintaan vaikuttava sisäpuolinen paine

$c_{pi}$  = osapinnan sisäisen paineen kerroin

$q_p(h)$  = modifioitu tuulen nopeuspaine



KUVA 10. Seinien vyöhykkeet (RIL 201-1-2011, 146)

TAULUKKO 6. Ulkopuolisen paineen kertoimet (RIL 201-1-2011, 146)

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		+0.8	+1.0	-0.7	
1	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		+0.8	+1.0	-0.5	
$\leq 0,25$	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		+0.7	+1.0	-0.3	

Taulukossa 6 esitetään ulkopuolisen paineen kertoimet kuormitusaloille  $1 \text{ m}^2$  ( $c_{pe,1}$ ) ja  $10 \text{ m}^2$  ( $c_{pe,10}$ ). Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti. Negatiivinen luku tarkoittaa, että kyseessä on imu ja positiivinen tarkoittaa painetta.

Sisäpuolisen paineen kertoimeen  $c_{pi}$  vaikuttaa rakennuksen vaipassa olevien aukkojen koko ja jakauma. Jos rakennuksen yhdellä sivulla olevien aukkojen pinta-ala on vähintään kaksinkertainen muilla sivuilla olevien aukkojen alaan verrattuna, pidetään tätä sivua määräävänä. (RIL 201-1-2011, 157.) Määrääville sivuille sisäpuolisen paineen kerroin määritetään kaavojen 16 ja 17 avulla.

Kaksinkertainen aukkojen pinta-ala:

$$c_{pi} = 0.75 \cdot c_{pe} \quad (16)$$

Vähintään kolminkertainen aukkojen pinta-ala:

$$c_{pi} = 0.90 \cdot c_{pe} \quad (17)$$

missä,

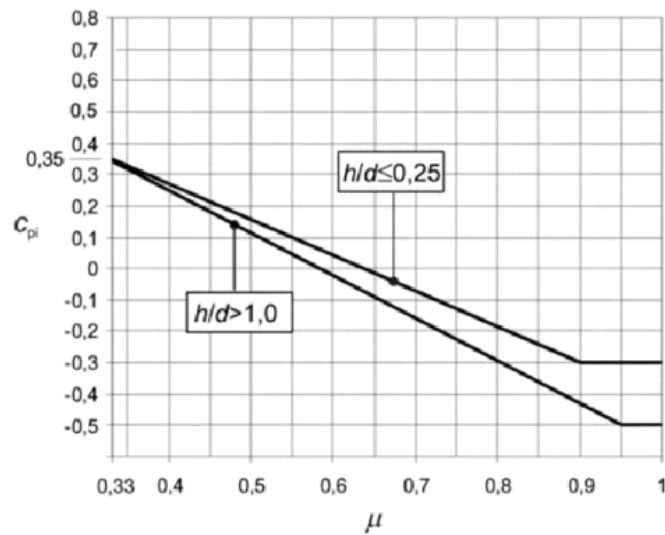
$c_{pe}$  = ulkopuolisen paineen kerroin määräävän sivun vyöhykkeessä, jossa aukot sijaitsevat

Jos rakennuksessa ei ole määräävää sivua, määritetään sisäpuolisen paineen kerroin aukkosuhteen  $\mu$  (kaava 18) ja suhteen  $h/d$  avulla, missä  $h$  on rakennuksen harjakorkeus ja  $d$  on tuulensuuntaisen sivun pituus (kuvio 5).

$$\mu = \frac{\Sigma \text{niiden aukkojen pinta-ala, joiden kohdalla } c_{pe} \leq 0.0}{\Sigma \text{kaikkien aukkojen pinta-ala}} \quad (18)$$

Rakennuksille, jotka ovat lähes neliömäisiä ja joiden aukkosuhdetta ei voida tarkkaan määrittää, käytetään sisäpuolisen paineen kertoimena joko  $c_{pi} = -0.3$  tai  $c_{pi} = +0.2$ .

Valinta tehdään sen mukaan kumpi vaihtoehdoista tuottaa vaarallisemman vaikutuksen. (RIL 201-1-2011, 159.)



KUVIO 5. Sisäisen paineen kerroin aukkosuhteen funktiona (RIL 201-1-2011, 158)

Sitten, kun sekä ulkoisen- että sisäisen paineen kertoimet on määritetty, ne yhdistetään vyöhykkeittäin nettopainekertoimeksi  $c_{p.net}$  (kaava 19).

$$c_{p.net} = c_{pe} - c_{pi} \quad (19)$$

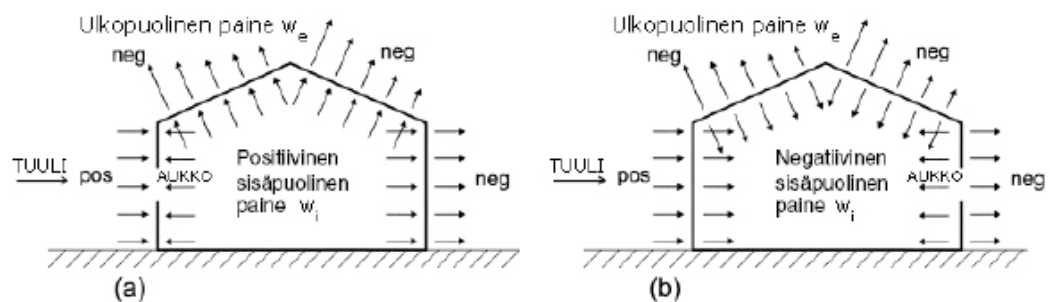
missä,

$c_{p.net}$  = tuulen nettopainekerroin

$c_{pe}$  = ulkopuolisen paineen kerroin

$c_{pi}$  = sisäpuolisen paineen kerroin

Nettopainekertoimia laskiessa tulee ottaa huomioon tuulen paineen vaikutussuunta eri osapinnoissa (kuva 11).



KUVA 11. Rakennuksen eri osapintojen tuulenpaineet (RIL 201-1-2011, 135)



Nettopainekertoimien määrittämisen jälkeen lasketaan lopulliset tuulen nettopaineet  $w_{net}$  eri vyöhykkeille kaavan 20 mukaisesti.

$$w_{net} = c_{p.net} \cdot q_p(z) \quad (20)$$

missä,

$$w_{net} = \text{tuulen nettopaine} \quad (\text{kN/m}^2)$$

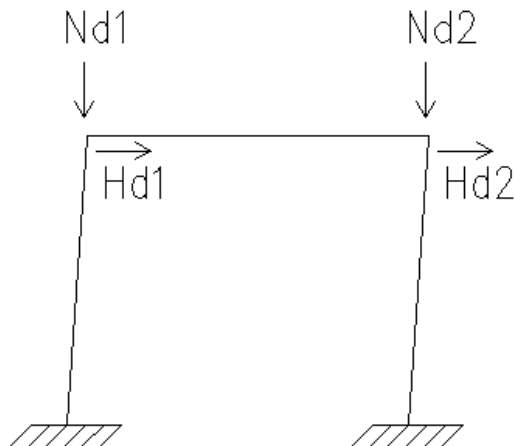
$$q_p(z) = \text{tuulen puuskanopeuspaine} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$c_{p.net} = \text{vyöhykkeen nettopainekerroin}$$

Saatuja nettopaineita voidaan käyttää yksittäisten rakenneosien mitoittamiseen, tai niiden avulla voidaan myös laskea rakennukseen vaikuttava kokonaistuulivoima tarkastelemalla vastakkaisten vyöhykkeiden nettopaineita.

### 3.2.2 Lisävaakavoimat

Rakenteiden vinouden ja asennustoleranssien takia pystykuormat aiheuttavat rakennukseen lisävaakavoimia. Lisävaakavoiman oletetaan vaikuttavan samassa pisteessä kuin sen aiheuttavan pystykuorman ja sen vaikutussuunnaksi valitaan rakennuksen stabiliteetin kannalta määräävä suunta (RIL 201-1-2011, 74). Kuvassa 12 on esitetty periaatekuva rakennuksen lisävaakavoimista.



KUVA 12. Rakennuksen lisävaakavoimat

Pystykuormien aiheuttamien lisävaakavoimien laskentaan voidaan käyttää seuraavia kaavoja (21 ja 22).

Rakennuksen lyhyempään suuntaan:

$$H_{dt} = \frac{N_d}{150} \quad (21)$$

Rakennuksen pitempään suuntaan:

$$H_{dl} = \frac{b}{l} \cdot \frac{N_d}{150} \geq \frac{N_d}{250} \quad (22)$$

missä,

$H_{dt}$  ja  $H_{dl}$  = lisävaakavoiman laskenta-arvot

$N_d$  = vaikuttava pystykuorma

$b$  = rakennuksen leveys

$l$  = rakennuksen pituus

Tuulikuorman ja lisävaakavoimien lisäksi kellarillisiin pientaloihin vaikuttaa maanpaine kuorma kellarin seinään. Tätä vaakakuormaa ei kuitenkaan käsitellä tässä työssä, sillä se ei varsinaisesti vaikuta rakennuksen rungon jäykistykseen.

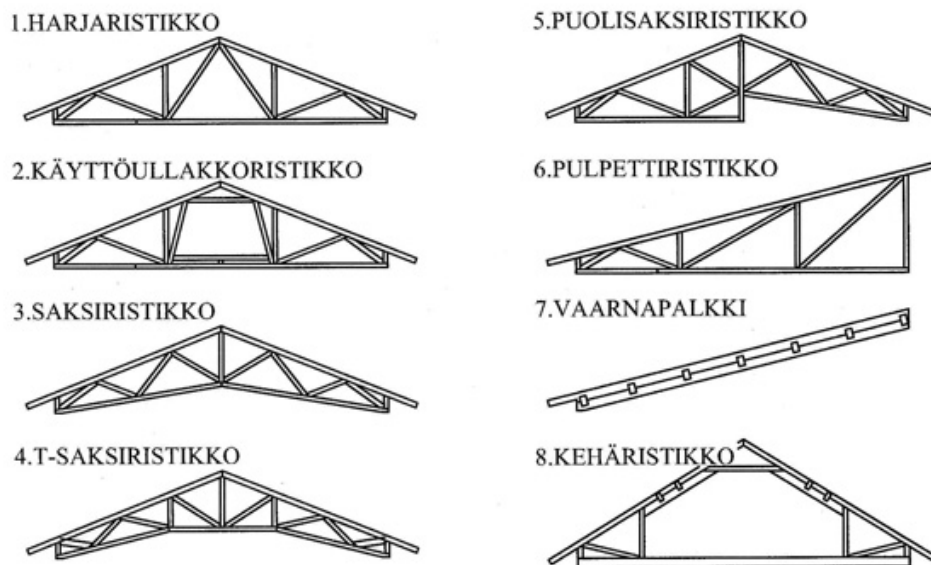
## 4 RAKENNETYYPIT

Kantavien rakenteiden tehtävänä on siirtää rakennukseen kohdistuvat kuormitukset maaperään. Esimerkiksi lumen aiheuttama kuormitus siirtyy yläpohjan rakenteita pitkin kantaville pystyrakenteille, joita pitkin se siirtyy perustusten kautta maaperään.

Nykyiset pientalot ovat lähinnä puurakenteisia, joissa on kantava tolpparunko ja näiden päälle tulevat väli- tai yläpohjapalkistot. Yläpohja toteutetaan yleisimmin valmiilla naulalevyristikoilla. Yleisimpiä ylä-, väli- ja alapohja- sekä ulkoseinätyyppejä on esitetty tässä kappaleessa.

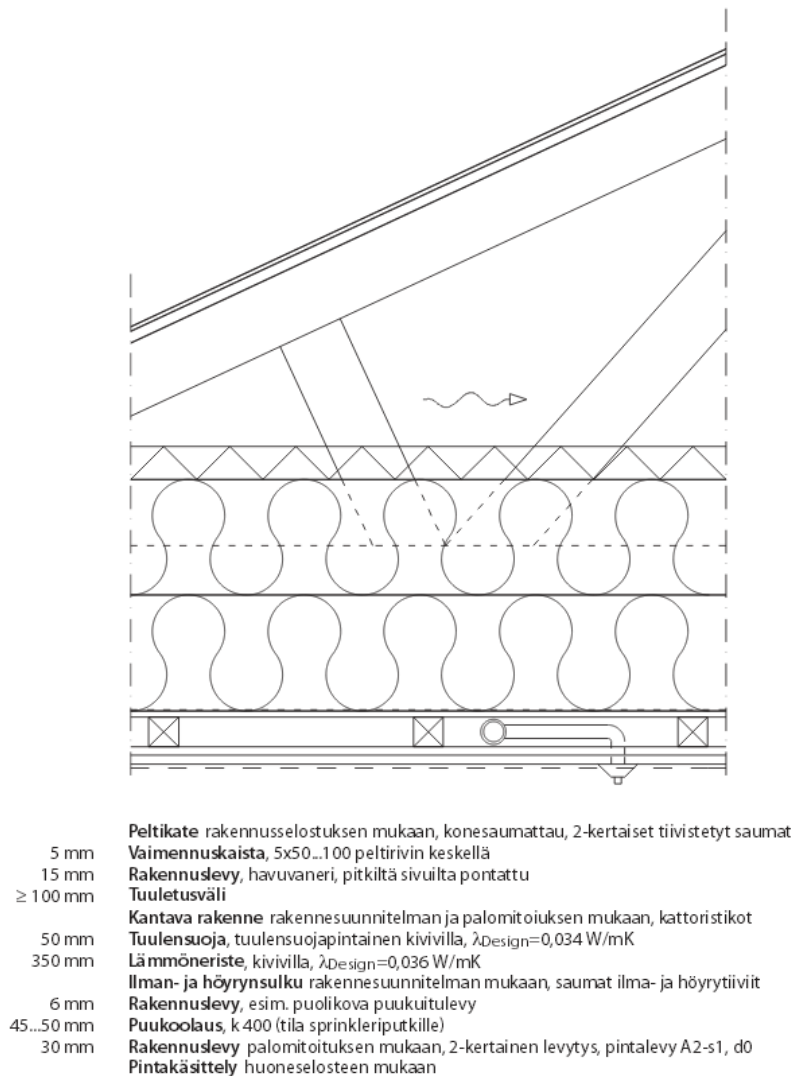
### 4.1 Yläpohja

Yläpohja voi olla joko palkki- tai ristikkorakenteinen. Nykyään käytetään tehdasvalmisteisia naulalevyristikoita. Pientaloissa ristikot ovat yleensä sahatavarasta valmistettuja ja tyypillinen jakoväli on k900. Yleisimpiä ristikkotyyppejä on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Yleisimpiä ristikkotyyppejä (Heinolan Puurakenne Oy)

Vesikaton katemateriaalina voidaan käyttää tiiltä, peltiä tai huopaa. Lämmöneristeenä käytetään yleisimmin puhallusvillaa, joka voi olla joko mineraalivillaa tai puukuituvillaa. Yläpohjan lämmönläpäisykerroin, eli U-arvo, saa olla enintään  $0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Suomen rakentamismääräyskokoelma, D3 Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012). Kuvassa 14 on esitetty yksi tyyppiesimerkki yläpohjarakenteesta.

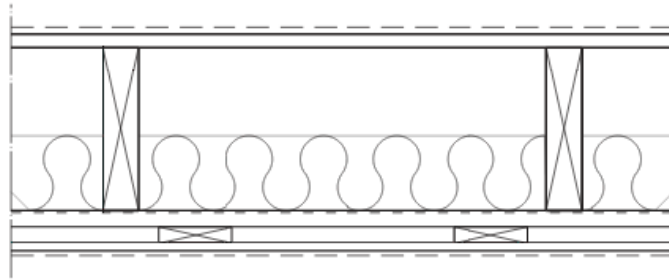


KUVA 14. Esimerkki yläpohjasta (RT 83-11010 Yläpohjarakenteita)

## 4.2 Välipohja

Välipohjapalkisto toteutetaan useimmiten sahatavarasta. Suurilla jänneväleillä saatetaan käyttää myös viilupuuta tai jotain muuta teollista puutuotetta. Palkiston kokoon ja jako-

väliin vaikuttavat jänneväli ja kuormitus. Yleisesti käytetään jakoväliä k400. Välipohjapalkit mitoitetaan hyötykuorman pintakuormalle ja omalle painolle. Välipohjaankin tulee eristekerros, joka toimii ääneneristeenä. Eristys voidaan toteuttaa joko puhallusvillalla, tai levyillä. Kuvassa 15 on esitetty yksi tyyppiesimerkki välipohjarakenteesta.



18 mm	<b>Lattianpäällyste ja pintakäsittely</b> huoneselosteen mukaan
≥ 220 mm	<b>Rakennuslevy</b> , ympäripontattu havuvaaneri (liima- ja ruuvikiinnitys)
≥ 100 mm	<b>Kantava rakenne</b> rakennesuunnitelman mukaan, lattiakannattajat
	<b>Ääneneriste</b> , puukuitu- tai mineraalivillaeriste
	<b>Ilmansulku</b> , ilmansulku paperi
≥ 44 mm	<b>Laudoitus</b> , ristiinlaudoitus 2x(22 x 100) k 400
	<b>Kattoverhous ja pintakäsittely</b> huoneselosteen mukaan

KUVA 15. Esimerkki välipohjasta (RT 83-10902 Välipohjarakenteita)

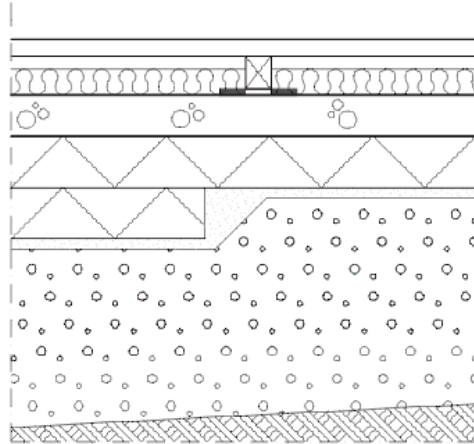
### 4.3 Alapohja

Pientalojen alapohjat ovat joko maanvaraisia, tai ryömintätilaisia. Maanvaraisessa alapohjassa kantavana rakenteena toimii maata vasten valettu betonilaatta, kun taas ryömintätilaisessa alapohjassa kantavat palkit tukeutuvat sokkeliin.

Maanvaraiset alapohjat tehdään betonista, joka raudoitetaan keskitetyllä teräsverkolla ja niiden lämmönläpäisykerroin saa olla enintään  $0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Suomen rakentamismääräyskokoelma, D3 Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012). Kuvassa 16 on esitetty yksi tyyppiesimerkki maanvaraisesta alapohjasta.

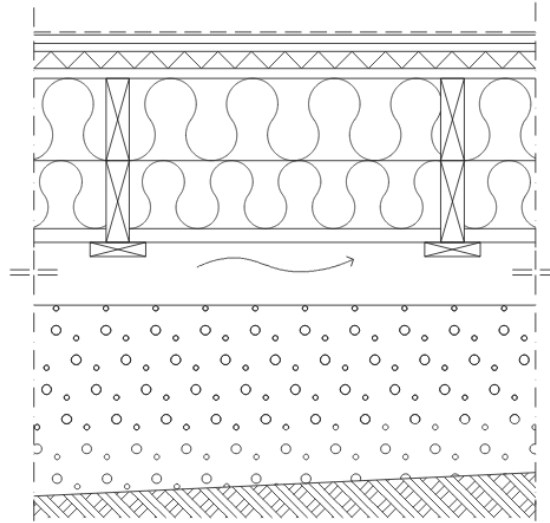
Ryömintätilaiset alapohjat toteutetaan useimmiten kantavilla puupalkeilla, jotka voivat olla sahatavaraa tai esimerkiksi viilupuuta. Myös alapohjapalkit mitoitetaan hyötykuormalle ja omalle painolle, mutta niiden korkeus määräytyy pitkälti lämmöneristysvaatimuksen mukaan. Jakovälinä toimii yleisesti k400. Ryömintätilan tulee olla vähintään

800 mm korkea ja sen pitää olla tuuletettu. Tuuletus hoidetaan perusmuuriin tehtävillä aukoilla, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on 4 – 8 % alapohjan pinta-alasta. (RT 82-10820 Pientalon puurakenteet. Avoin puurakennusjärjestelmä, 4.) Ryömintätillaisen alapohjan lämmönläpäisykertoimen enimmäisarvo on 0.17 W/m<sup>2</sup>K (Suomen rakentamismääräyskokoelma, D3 Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012). Kuvassa 17 on esitetty esimerkki ryömintätillaisesta alapohjasta.



28..33 mm	Lattialaudoitus ja pintakäsittely huoneselosteen mukaan, pontattu lattialauta
25 mm	Ilmarako
75 mm	Koolaus, 50x75 k600, alla bitumikermikaista/vaimennu kerros (50 mm) mineraalivilla tai puukuituvilla
80 mm	Kantava rakenne rakennesuunnitelman mukaan, teräsbetonilaatta, by 45, pintahierto Suodatinkangas, saumat limitetty ja teipattu
100 mm	Lämmöneriste, polystyreeni, $\lambda_{Design}=0,036$ W/mK, pontatut levyt tai kaksikertaiset levyt, 1 m:n reuna-alueella 200 mm
20 mm	Tasaushiekka
	Suodatinkangas
≥ 300 mm	Salaojituseros, raekoko $\phi$ 6..16 mm, koneellisesti tiivistetty
	Perusmaa pohjarakennussuunnitelman mukaan, hiekka tai moreeni, kallistus sala ojiin vähintään 1:50

KUVA 16. Esimerkki maanvaraisesta alapohjasta (RT 83-11009 Alapohjarakenteita)



	<b>Lattianpäällyste ja pintakäsittely</b> huoneselosteen mukaan
22...30 mm	<b>Rakennuslevy</b> , pontattu laistulevy (22 mm) tai 2-kertainen lattialevyksi tarkoitettu kipsilevy (2x15 mm)
≥ 30 mm	<b>Askelääneneristyslevy</b> päällysteen mukaan
18 mm	<b>Ilman- ja höyrnsulku</b> , ympäriontattu havueneri, liima- ja ruuviinnitys
294 mm	<b>Kantava rakenne</b> rakennesuunnitelman mukaan, vaama palkki 42x(147+147)
	<b>Lämmöneriste</b> , 269 mm, palamaton tai lähes palamaton eriste, esim. mineraalivilla, $\lambda_{Design}=0,036 W/mK$
	<b>Tuulensuoja</b> , 25 mm, esim. kosteuden kestävä jäykkä puukuitulevy, $\lambda_{Design}=0,055 W/mK$
22...25 mm	<b>Harvalauditus</b> , 22...25x100, lattiakannattajien alapinnassa
≥ 800 mm	<b>Ryömintätila</b> , tuuletusaukkojen määrä 4...8‰ ryömintätilan pinta-alasta
≥ 3200 mm	<b>Salaojituskeros</b> , raekoko $\phi$ 6...16 mm
	<b>Suodatinkangas</b> , käyttöluokka N2, savi- ja silttimailla
	<b>Perus- tai täyttömaa</b> pohjarakennussuunnitelman mukaan, kallistus salaojiin vähintään 1:50

KUVA 17. Esimerkki ryömintätilaisesta alapohjasta (RT 83-11009 Alapohjarakenteita)

#### 4.4 Ulkoseinä

Ulkoseinän runko koostuu useimmiten kantavista sahatavara puutolpista, jotka kiinnittyvät sokkelin alaohjauspuun eli alajuoksun kautta. Tasakerta eli yläohjauspuu taas toimii välipohjan tai yläpohjan kiinnitysalustana. Myös seinärungon syvyys määräytyy pitkälti lämmöneristysvaatimusten mukaan. Runkotolppien yleisin jakoväli on k600. Ulkoverhouksena käytetään useimmiten puuta tai tiiltä. Ulkoseinän lämmönläpäisykertoimen enimmäisarvo on  $0,17 W/m^2K$  (Suomen rakentamismääräyskokoelma, D3 Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012). Kuvassa 18 on esitetty esimerkki ulkoseinärakenteesta.





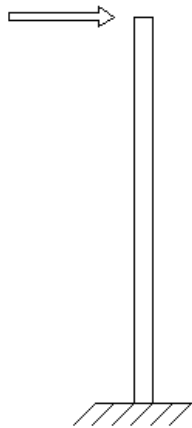
## 5 RUNGON JÄYKISTYS

Jäykistävien rakenteiden tehtävä on siirtää rakennukseen kohdistuvat vaakavoimat kantaville rakenteille, joita pitkin ne siirtyvät lopulta maaperään. Lisäksi yksittäiset rakennusosat saattavat tarvita erillisjäykistyksiä, mutta niitä ei käsitellä tässä työssä.

Rakennus tulee jäykistää sekä pysty- että vaakasuunnassa. Pystyjäykistysjärjestelmiä ovat mastojäykistys, kehäjäykistys, ristikkojäykistys ja levyjäykistys. Vaakajäykistys voi olla joko ristikko- tai levyrakenteinen. Seuraavaksi esitellään erilaiset jäykistysjärjestelmät pääpiirteittäin sekä niiden yleisimmät käyttökohteet.

### 5.1 Mastojäykistys

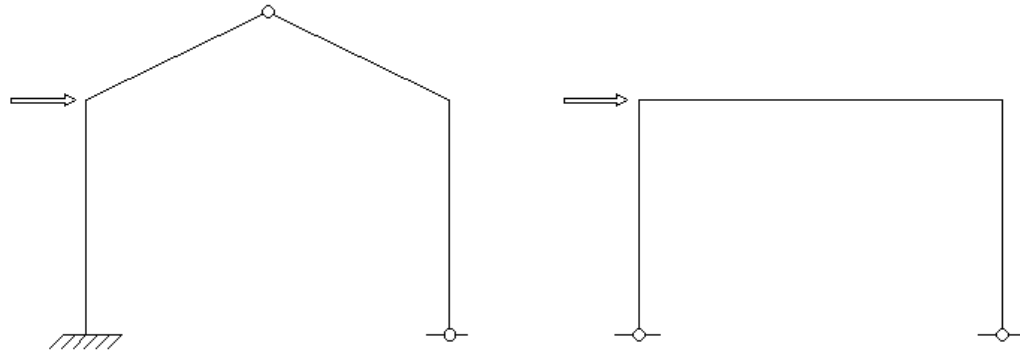
Mastojäykistetyissä rakennuksissa jäykistävänä rakenteena toimii momenttjäykästi perustuksiin liitetyt pilarit, seinät tai useammasta seinästä koostuvat jäykistystornit, jotka toimivat ulokepalkkien tavoin. Mastopilareita (kuva 19) käytetään lähinnä teollisuusrakennuksissa ja muissa suurissa, melko matalissa hallimaisissa rakennuksissa. Seinämas-toja ja jäykistystorneja käytetään paljon kerrostaloissa. Esimerkiksi hissi- tai porraskuilu toimii usein jäykistystornina.



KUVA 19. Esimerkki mastojäykistyksestä

## 5.2 Kehäjäykistys

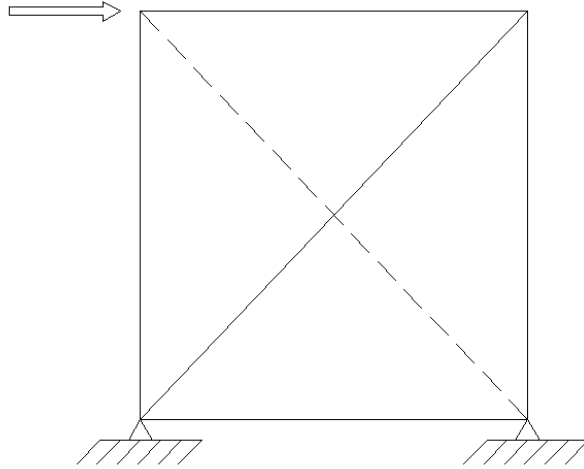
Kehäjäykistyksessä jäykistysjärjestelmä voi koostua esimerkiksi pilari-palkki-pilari-kehistä, joissa pilari-palkki-liitoksen muodostamat nurkat jäykistävät rakenteen vaakakuormia vastaan. Näistä nurkkaliitoksista osa voi olla momenttijäykkiä ja osa nivellisiä (kuva 20). Pilarin liitos perustuksiin voi olla joko niveellinen tai jäykkä. Kehillä voidaan jäykistää rakennus vain yhteen suuntaan, joten toisen suunnan jäykistämiseen tarvitaan joku toinen jäykistysjärjestelmä. Kehäjäykistystäkin käytetään lähinnä teollisuusrakennuksissa.



KUVA 20. Esimerkkejä kehäjäykistyksestä

## 5.3 Vinosidejäykistys

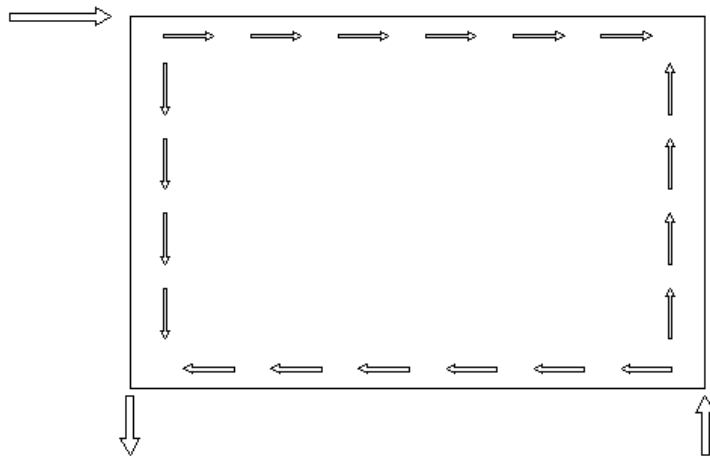
Vinosidejäykistys toiminta perustuu vedettyihin ja/tai puristettuihin vinosauvoihin, jotka jäykistävät rakenteen vaakakuormia vastaan. Vinositeet voivat olla osa kantavaa pystyrakennetta, tai ne voivat olla täysin erillinen rakenne. Vinosidejäykistystä (kuva 21) voidaan käyttää niin hallirakennuksissa, kuin asuin- ja toimistorakennuksissa. Sen käyttö on mahdollista myös pientaloissa.



KUVA 21. Esimerkki vinosidejäykistyksestä

#### 5.4 Levyjäykistys

Levyjäykistyksessä rakennuksen rungon aukkoihin asennetut levyt jäykistävät rakenteen. Levyjäykistys (kuva 22) on yleisin pientaloissa käytettävä jäykistysjärjestelmä. Sitä voidaan käyttää myös teollisuusrakennuksissa ja asuin- ja toimistorakennuksissa. Pientaloissa jäykistävänä rakenteena toimivat pystytolppiin kiinnitettävät puu- tai kipsilevyt. Vaakakuormat siirtyvät levyjen tasossa levyiltä pystyrakenteille leikkausvoimana levyjen reunoihin sijoitettujen liittimien avulla.



KUVA 22. Esimerkki levyjäykistyksestä

## 5.5 Pientalon jäykistys

Seinien, joiden on tarkoitus jäykistää rakennus siihen kohdistuvia vaakavoimia vastaan, jäykistys tehdään pientaloilla yleisimmin levyjäykistyksellä. Jos on tarvetta työnaikaiselle jäykistykselle, niin se voidaan hoitaa myös vinositeitä käyttäen. Tämän takia käydään tässä läpi sekä levyjäykistyksen että vinosidejäykistyksen mitoittaminen.

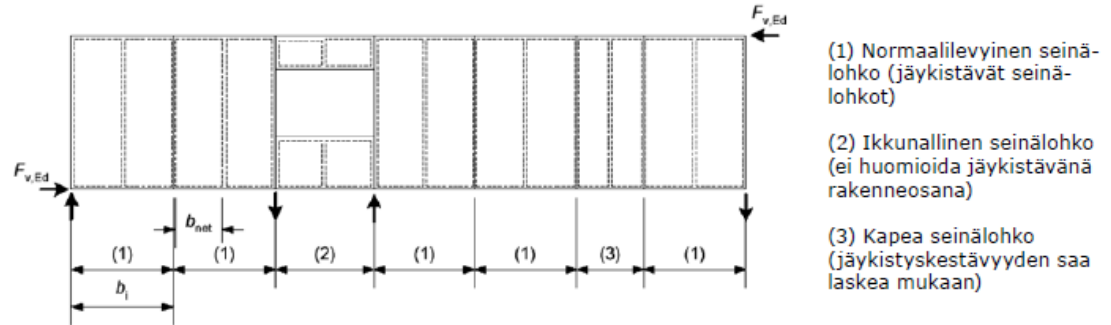
### 5.5.1 Levyjäykistyksen mitoitus

Pientaloissa jäykistys hoidetaan yleensä joko tuulensuojana käytettävän rakennuslevyn avulla, tai sitten sisäpintaan tulevan rakennuslevyn avulla. Jäykistävänä levynä voi toimia niin vaneri kuin kipsilevy tai jokin muu rakennuslevy. Mikäli jäykisteenä käytetään jotain muuta kuin puulevyä, tulee jäykisteen mitoitus tehdä kyseisen levyn tyyppihyväksynnässä annettujen ohjeiden mukaan. Jäykistelevyjen kiinnittämiseen käytetään nauvoja, ruuveja tai hakasia.

Jäykistävien seinien nurkat on ankkuroitava perustuksiin. Ankkurointi ja seinälle tulevat pystykuormat estävät seinää nousemasta pois paikaltaan tuulikuorman vaikutuksesta.

Levyjäykistyksen mitoitus aloitetaan valitsemalla käytettävät levymateriaali ja kiinnitystapa. Tässä käydään läpi vain puupohjaisten levyjen mitoitus, koska muiden rakennuslevyjen mitoitus tehdään valmistajan ohjeiden mukaan. Liittimistä käydään läpi yksinkertaistettu naulojen mitoitus, sillä sitä voidaan käyttää tietyin edellytyksin myös ruuveille. Ruuvien kierre otetaan huomioon käyttämällä halkaisijana tehollisen halkaisijan arvoa  $d_{ef}$ . (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 35.)

Jäykistävän seinän leikkausvoimakestävyyden laskenta aloitetaan jakamalla jäykistävä seinä lohkoihin levyjaon ja aukkojen perusteella (kuva 23).



KUVA 23. Esimerkki jäykistävän seinän lohkojaosta (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 43)

Seuraavaa yksinkertaistettua mitoitus tapaa seinän leikkausvoimakestävyydelle voidaan käyttää kun:

- seinä koostuu yhdestä tai useammasta lohkoista, joihin jokaiseen kuuluu levy, joka on kiinnitetty puurunkoon
- liitinväli on vakio pitkin jokaisen levyn reunoja

Levyjä, joiden leveys on pienempi kuin  $h/4$ , ei lasketa mukaan jäykistykseen. (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 42). Levyn leikkaukslommahdus voidaan jättää huomiotta, mikäli pystytolppien vapaan välin ja jäykistävän levyn paksuuden suhde on pienempi, tai yhtä suuri kuin 100 (kaava 23).

$$\frac{b_{net}}{t} \leq 100 \quad (23)$$

missä,

$b_{net}$  = pystytolppien vapaa väli (mm)

$t$  = jäykistävän levyn paksuus (mm)

Yksittäisen seinälohkon leikkausvoimakestävyys lasketaan kaavojen 24 ja 25 avulla.

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

missä,

$$F_{i,v,Rd} = \text{seinälohkon leikkausvoimakestävyys} \quad (\text{N})$$

$$F_{f,Rd} = \text{yksittäisen liittimen leikkausvoimakestävyys} \quad (\text{N})$$

$$b_i = \text{seinälohkon leveys} \quad (\text{mm})$$

$$c_i = \text{kaavan 25 mukainen kerroin}$$

$$s = \text{liitinväli} \quad (\text{mm})$$

$$c_i = \begin{cases} 1, & \text{kun } b_i \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2b_i}{h}, & \text{kun } b_i < \frac{h}{2} \end{cases} \quad (25)$$

missä,

$$b_i = \text{seinälohkon leveys} \quad (\text{mm})$$

$$h = \text{seinälohkon korkeus} \quad (\text{mm})$$

Jos seinälohkoja on enemmän kuin yksi, saadaan koko seinän leikkausvoimakestävyys seinälohkojen leikkausvoimakestävyysien summasta (kaava 26).

$$F_{v,Rd} = \Sigma F_{i,v,Rd} \quad (26)$$

Jos seinässä on levytys molemmilla puolilla, käytetään sen leikkausvoimakestävyuden laskentaan seuraavia sääntöjä (Puurakenteiden suunnittelu, Lyhennetty suunnitteluohje, 42):

- Jos levyt ja liittimet ovat tyypiltään ja mitoiltaan samanlaiset, niin seinän vaakaleikkausvoimakestävyys lasketaan molempien levytysten summana.
- Jos käytetään erityyppisiä levyjä, mutta siirtymäkertoimeltaan samanlaisia liittimiä, voidaan yleensä ottaa huomioon 75 % heikomman puolen vaakaleikkausvoimakestävyydestä.
- Muissa tapauksissa vahvemman puolen vaakaleikkausvoimakestävyyteen saadaan lisätä enintään 50 % heikomman puolen kestävyydestä.

Yksittäisen naulan leikkauskestävyys saadaan kaavojen 27, 28 ja 29 avulla.

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_t \cdot 120 \cdot d^{1.7} \quad (27)$$

missä,

$F_{f,Rd}$  = naulaliitoksen leikkauskestävyys (N)

$k_{mod}$  = taulukon 7 mukainen liitospuun muunnoskerroin

$\gamma_M$  = taulukon 8 mukainen liitospuun materiaaliosavarmuusluku

$k_l$  = kaavan (28) mukainen kerroin

$d$  = naulan nimellispaksuus (mm)

$$k_l = \left(0.5 + \frac{t}{12d}\right) \cdot k_\rho, \text{ edellyttäen, että } t \geq 2d \text{ ja } d \leq 5\text{mm} \quad (28)$$

missä,

$t$  = levyn paksuus (mm)

$d$  = naulan nimellispaksuus (mm)

$k_\rho$  = kaavan (29) mukainen kerroin

- Neliskulmaisella naulalla  $k_l \leq 1.4k_\rho$
- Pyöreällä naulalla  $k_l \leq 1.2k_\rho$

$$k_\rho = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} \quad (29)$$

missä,

$\rho_k$  = liitospuun tiheyden ominaisarvo ( $\text{kg/m}^3$ )

Levyn reunoilla olevien liittimien leikkauskestävyyden mitoitusarvoa saadaan korottaa kertoimella 1.2.

Naulaliitoksessa naulan tartuntapituuden  $t_2$  tulee olla vähintään  $8d$ . Jos tartuntapituus on vähemmän kuin  $12d$ , liitoksen leikkauskestävyyttä pienennetään kertoimella  $\frac{t_2}{12d}$ .

Naulojen minimietäisyydet ovat vanerissa  $3d$  kuormittamattomasta reunasta ja  $(3 + 4\sin\alpha)d$  kuormitetusta reunasta, kun  $\alpha$  on kuormitussuunnan ja levyn reunan välinen kulma. (Puurakenteiden suunnittelu, Lyhennetty suunnitteluohje, 32.)

TAULUKKO 7. Muunnoskerroimen  $k_{mod}$  arvot (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 17)

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, Pyöreä puu, Liimapuu, LVL, Vaneri	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90
Lastulevy P4 <sup>1)</sup> , OSB/2 <sup>1)</sup> , Kova kuitulevy EN 622-2	1	0,30	0,65	1,10
	2	0,20	0,45	0,80
Lastulevy P6 <sup>1)</sup> , OSB/3 ja OSB/4	1	0,40	0,70	1,10
	2	0,30	0,55	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA <sup>1)</sup> , MBH.HLS, MDF.LA <sup>1)</sup> ja MDF.HLS	1	0,20	0,60	1,10
	2	-	-	0,80

TAULUKKO 8. Materiaalien osavarmuusluku  $\gamma_M$  (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 15)

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

\* Liitoskestävyyden mitoitusarvon laskennassa käytetään liittyvän puutuotteen osavarmuuslukua  $\gamma_M$ . Mikäli liittimellä yhdistetään kahta tai useampaa puutuotetta, joilla on eri osavarmuusluku, käytetään liitoskestävyydelle näistä suurinta  $\gamma_M$ :n arvoa. (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 15.)

Seinän leikkausvoimakestävyyttä verrataan seinään kohdistuvaan leikkausvoimaan ja sen tulee täyttää seuraava mitoitusehto (kaava 30).

$$\frac{F_v}{F_{v,Rd}} \leq 1.0 \quad (30)$$



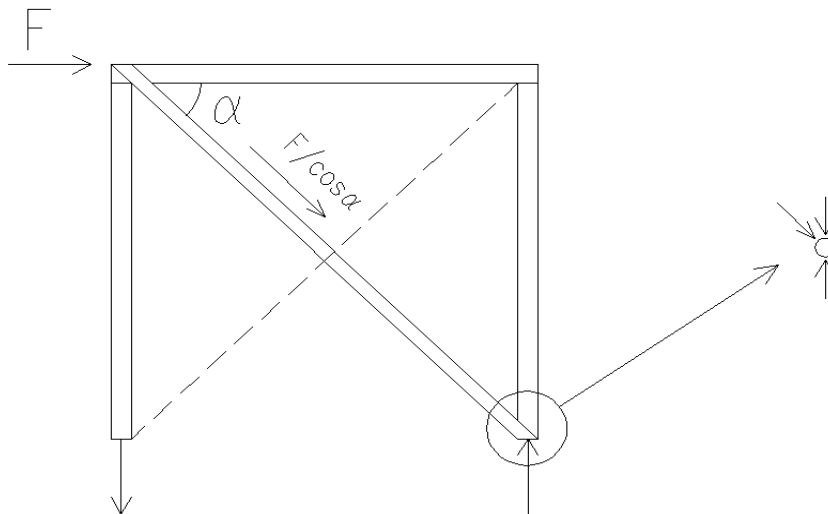
missä,

$F_{v,Ed}$  = seinään kohdistuva leikkausvoima (kN)

$F_{v,Rd}$  = seinän leikkausvoimakestävyys (kN)

### 5.5.2 Vinosidejäykistyksen mitoitus

Vinosidejäykistyksessä tarkastellaan jäykistävänä rakenteena toimivan veto- tai puristussauvan poikkileikkauskestävyyttä. Vinositeeseen kohdistuva rasitus määritetään kuvan 24 mukaisesti.



KUVA 24. Vinositeen rasitus ja solmun vapaakappalekuva

Siteeseen kohdistuva veto- tai puristusjännitys lasketaan kaavan 31 mukaisesti.

$$\sigma_{t,0,d}/\sigma_{c,0,d} = \frac{F/\cos \alpha}{A} \quad (31)$$

missä,

$\sigma_{t,0,d}$  = siteeseen kohdistuva vetojännitys (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{c,0,d}$  = siteeseen kohdistuva puristusjännitys (N/mm<sup>2</sup>)

$F/\cos \alpha$  = siteeseen kohdistuva rasitus (N)

$A$  = siteen poikkileikkauspinta-ala (mm<sup>2</sup>)

Veto- ja puristuskestävyyksien laskennassa käytettävät kestävyysominaisarvot saadaan taulukosta 9, kun vinositeenä käytetään puutavaraa.

TAULUKKO 9. Sahatavaran ja liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet yleisimmissä lujuusluokissa. (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 17)

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu	
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL28c	GL32c
Ominaislujuudet (N/mm <sup>2</sup> )						
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	28	32
Veto	$f_{t,0,k}$	11	14	18	16,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	23	24	26,5
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,7	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	2,7	3,2
Jäykkyysominaisuudet (N/mm <sup>2</sup> )						
Kimmomoduuli	$E_{mean}$	9000	11000	12000	12600	13700
	$E_{90,mean}$	300	370	400	390	420
Liukumoduuli	$G_{mean}$	560	690	750	720	780
Tiheydet (kg/m <sup>3</sup> )						
Ominaisstiheys	$\rho_k$	320	350	380	380	410
Tiheyden keskiarvo	$\rho_{mean}$	380	420	460	430	470

### Vetosauva

Puun vetolujuuden mitoitusarvo lasketaan kaavan 32 mukaisesti (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 15).

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (32)$$

missä,

$$f_{t,0,d} = \text{vetolujuuden mitoitusarvo} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$f_{t,0,k} = \text{vetolujuuden ominaisarvo} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$k_{mod} = \text{taulukon 7 mukainen muunnoskerroin}$$

$$\gamma_M = \text{taulukon 8 mukainen materiaaliosavarmuusluku}$$

Vetosauvan tulee täyttää kaavan 33 mukainen mitoitusehto (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 25).

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1.0 \quad (33)$$

missä,

$$\sigma_{t,0,d} = \text{sauvaan kohdistuva vetojännitys} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$f_{t,0,d} = \text{materiaalin vetolujuus} \quad (\text{N/mm}^2)$$

### Puristussauva

Puun puristuslujuuden mitoitusarvo lasketaan kaavan 34 mukaisesti (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 15).

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (34)$$

missä,

$$f_{c,0,d} = \text{puristuslujuuden mitoitusarvo} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$f_{c,0,k} = \text{puristuslujuuden ominaisarvo} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$k_{mod} = \text{taulukon 7 mukainen muunnoskerroin}$$

$$\gamma_M = \text{taulukon 8 mukainen materiaaliosavarmuusluku}$$

Puristussauvan tulee täyttää kaavan 34 mukainen mitoitusehto (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 25).

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1.0 \quad (34)$$

missä,

$$\sigma_{c,0,d} = \text{sauvaan kohdistuva puristusjännitys} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$f_{c,0,d} = \text{materiaalin puristuslujuus} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$k_c = \text{nurjahduskerroin}$$

Nurjahduskerroin  $k_c$  määritetään vinositeen hoikkuuden avulla. Hoikkuuteen vaikuttavat nurjahduspituus  $L_c$  ja hoikkuusluku  $\lambda$ . Nurjahduspituus määritetään taulukosta 10.

TAULUKKO 10. Puristussauvan nurjahduspituuksia (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 26)

Tuentatapa	Nurjahdus- pituus $L_c$
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta ja nivelellisesti toisesta päästään (esim. jäykkäkantainen hallin päädyn "tuulipilari")	0,85 $L$
Sauva on nivelöity molemmista päistään (normaali tapaus)	1,0 $L$
Sauva on poikittaistuettu nurjahduksen suunnassa välein $a$	1,0 $a$
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästään ja on vapaa toisesta päästään ("mastopilari")	2,5 $L$

Hoikkuusluku lasketaan kaavan 35 mukaisesti.

$$\lambda = \frac{L_c}{i} \quad (35)$$

missä,

$\lambda$  = hoikkuusluku

$L_c$  = nurjahduspituus (mm)

$i$  = poikkileikkauksen jäyhyysäde (mm)

Jäyhyysäde  $i$  lasketaan suorakaidepoikkileikkauksille kaavalla 36.

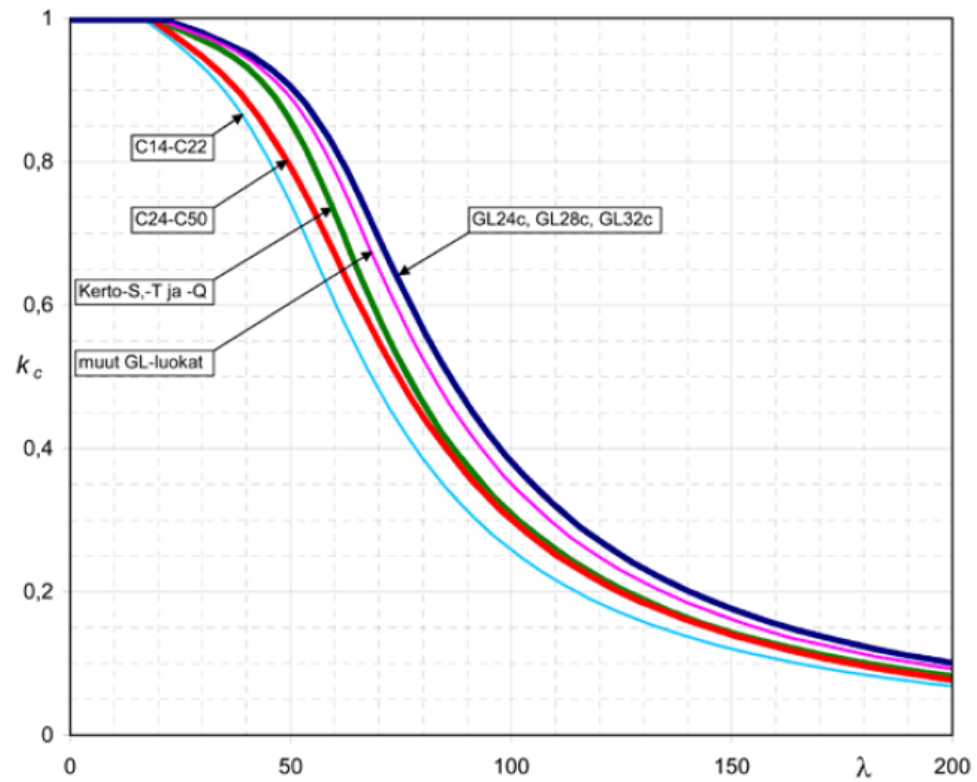
$$i = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad (36)$$

missä,

$i$  = jäyhyysäde (mm)

$h$  = sivumitta nurjahduksen suuntaan (mm)

Nurjahduserroin  $k_c$  määritetään hoikkuusluvun  $\lambda$  avulla kuvioista 2.

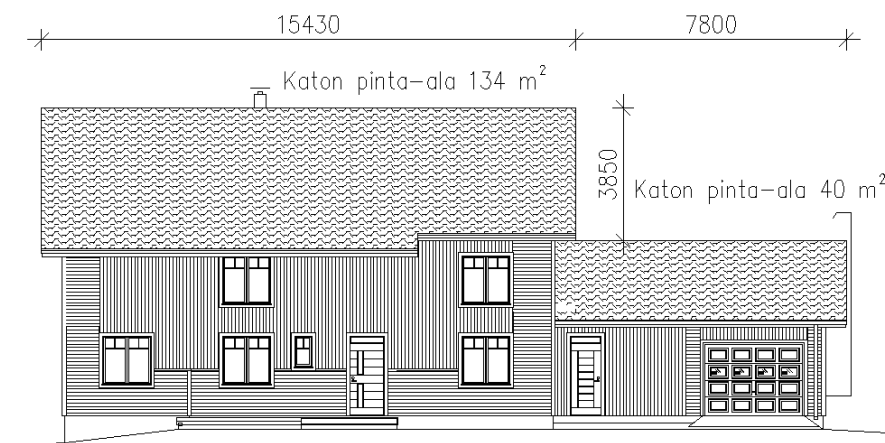


KUVIO 6. Nurjahduskertoimen määrittäminen (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 27)

## 6 ESIMERKKIKOhteET

### 6.1 Kohde 1

Ensimmäisenä kohteena on Lapualla sijaitseva kaksikerroksinen harjakattoinen omakotitalo (kuva 24). Talo on puurunkoinen ja siinä on puujulkisivu ja tiilikate. Yläpohja on toteutettu tehdasvalmisteisilla naulalevyristikoilla. Kuormien laskemiseen tarvittavat tarkemmat tiedot on esitetty liitteen 1 piirustuksissa.



KUVA 24. Esimerkkikohde 1

Ensimmäisestä kohteesta lasketaan:

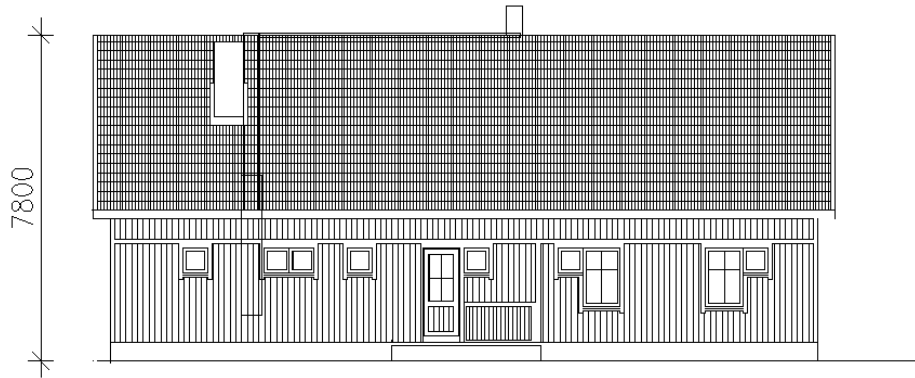
- lumikuorma kaikille kattotasoille
- yläpohjan, välipohjan ja ulkoseinän omat painot
- edellä laskettujen jakaantuneiden kuormien siirtyminen yhdelle runkotolpalle.

Kohteen 1 esimerkkilaskut on esitetty liitteessä 2.

### 6.2 Kohde 2

Toisena kohteena on Parkanossa sijaitseva puolitoistakerroksinen omakotitalo kuva (25). Tämäkin talo on puurunkoinen, puujulkisivulla ja tiilikatteella. Yläpohja on toteu-

tettu tehdasvalmisteisilla naulalevyristikoilla. Kuormien laskemiseen tarvittavat tarkemmat tiedot löytyvät liitteen 3 piirustuksista.



KUVA 25. Esimerkkikohde 2

Toisesta kohteesta lasketaan:

- tuulikuorma molemmille sivuille kokonaistuulivoimamenetelmällä
- tuulikuorma molemmille sivuille pintapainemenetelmällä
- päätyseinän levyjäykistyksen mitoitus
- sivuseinän työnaikaisen vinosidejäykistyksen mitoitus.

Kohteen 2 esimerkkilaskut on esitetty liitteessä 4.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia esimerkkejä pientalojen tavanomaisten kuormitusten laskennasta ja jäykistyksen mitoittamisesta. Vaikka työssä ei varsinaisesti uusia asioita käsitelty, niin haastetta riitti etenkin tuulikuomien laskemisessa pintapainemennelmällä sekä rakennuksen jäykistyksen mitoittamisessa.

Pientaloilla jäykistyksen suunnittelu jää usein turhan pienelle huomiolle, vaikka kyseessä on rakennuksen toiminnan kannalta erittäin oleellinen asia. Viime vuosien aikana on ollut turhan monta esimerkkiä rakennusten sortumisesta puutteellisen jäykistyksen takia. Pientaloja toki harvemmin sortuu, mutta myös niissä puutteellinen jäykistyksen suunnittelu tai toteutus saattaa aiheuttaa ongelmia. Nykyään haasteita aiheuttaa lisäksi elementtirakentamisen yleistymisen. Elementtirakenteisen talon jäykistyksen suunnittelussa pitää kiinnittää erityistä huomiota siihen, että levyjäykistyksestä tulee yhtenäinen, jotta voimat siirtyvät rakenteissa oikealla tavalla.

Pientalojen jäykistysuunnittelun ohjeistuksessa ja opetuksessa olisi hyvä kiinnittää huomiota jäykistävää seinää rasittavan vaakakuorman määrittämiseen. Se osoittautui ongelmakohtaksi esimerkkilaskuissa ja olemassa olevista ohjeista ei löytynyt yhtenäistä ja selkeää menetelmää sen ratkaisemiseen.



## LÄHTEET

Asunmaa, M. Rakentamisen historiaa. Kirjastovirma. Luettu 26.2.2015.  
[www.kirjastovirma.fi](http://www.kirjastovirma.fi)

Arkistojen portti. Maa- ja metsätalousministeriön tyyppitalopiirustukset. Luettu 26.2.2015. [wiki.narc.fi](http://wiki.narc.fi).

Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje. Kolmas painos. 2011.

Heinolan Puurakenne Oy. Kattoristikko mallit. Luettu 23.2.2015.  
[www.heinolanpuurakenne.fi](http://www.heinolanpuurakenne.fi)

Kummala, P. 2004. Jälleenrakennuskauden pientalosuunnittelu. Suomen rakennustaitteen museo

Laurinen, M. 2011. 1980-luvun pientalojen rakenneratkaisut. 10/2011. Koulutus- ja kehittämispalvelu Aducate, Itä-Suomen yliopisto

Lukander, M. 2010. Pientalojen rakenteet 1940–1970. 18.11.2010. Rakennusperintö. Luettu 27.2.2015. [www.rakennusperinto.fi](http://www.rakennusperinto.fi).

Pientaloteollisuus Ry. Tietoja pientaloista. Luettu 30.3.2015. [www.pientaloteollisuus.fi](http://www.pientaloteollisuus.fi)

RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. 2011. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Rinne, H. 2009. Hirsirungon historia. 19.8.2009. Perinnemestari. Luettu 30.4.2015.  
[www.perinnemestari.fi](http://www.perinnemestari.fi)

RT 82-10820 Pientalon puurakenteet. Avoin puurakennusjärjestelmä. 2004. RT-kortisto. Rakennustieto Oy.

RT 82-11006 Ulkoseinärakenteita. 2010. RT-kortisto. Rakennustieto Oy.

RT 83-10902 Välipohjarakenteita. 2007. RT-kortisto. Rakennustieto Oy.

RT 83-11009 Alapohjarakenteita. 2010 RT-kortisto. Rakennustieto Oy.

RT 83-11010 Yläpohjarakenteita. 2010. RT-kortisto. Rakennustieto Oy.

Saarikangas, K. Omakotiasumisen kulttuurihistoriaa. Luettu 11.3.2015.  
[www.rakennusperinto.fi](http://www.rakennusperinto.fi).

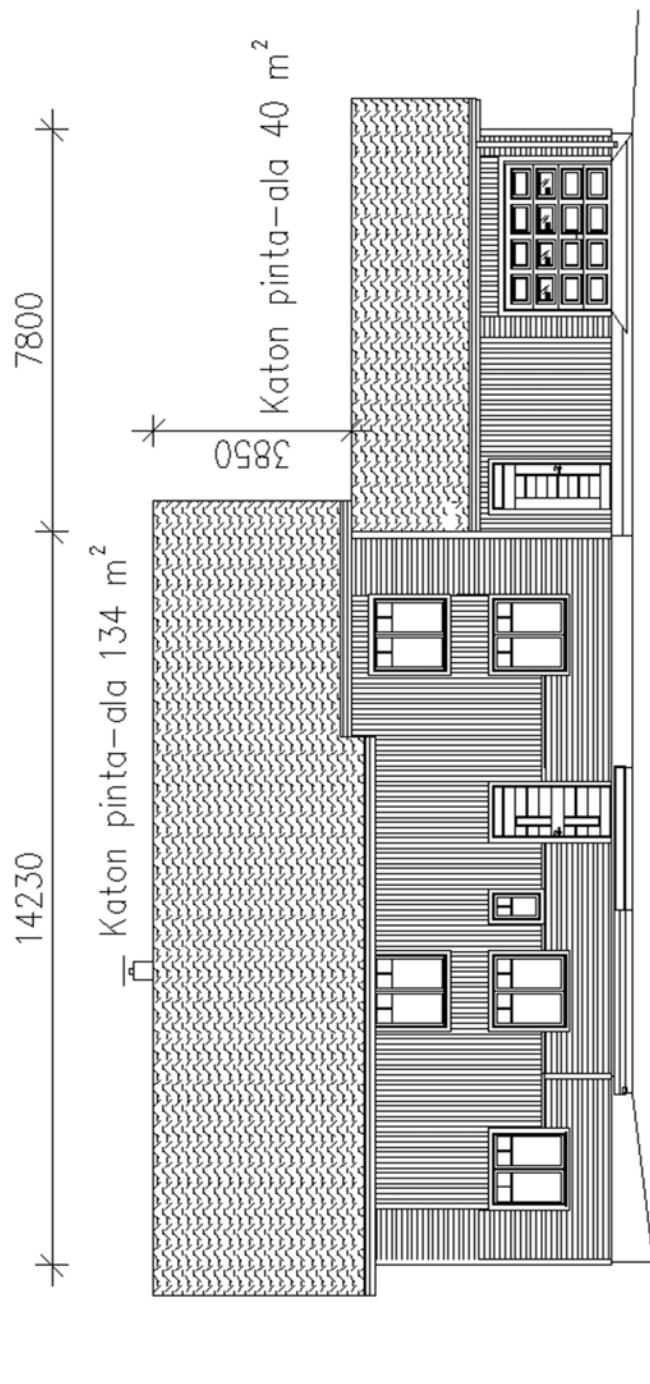
Suomen rakentamismääräyskokoelma. D3 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. 2012 Helsinki: Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto.

VTT. Puurakenteiden jäykistyssuunnittelun ohje. 2006

**LIITTEET**

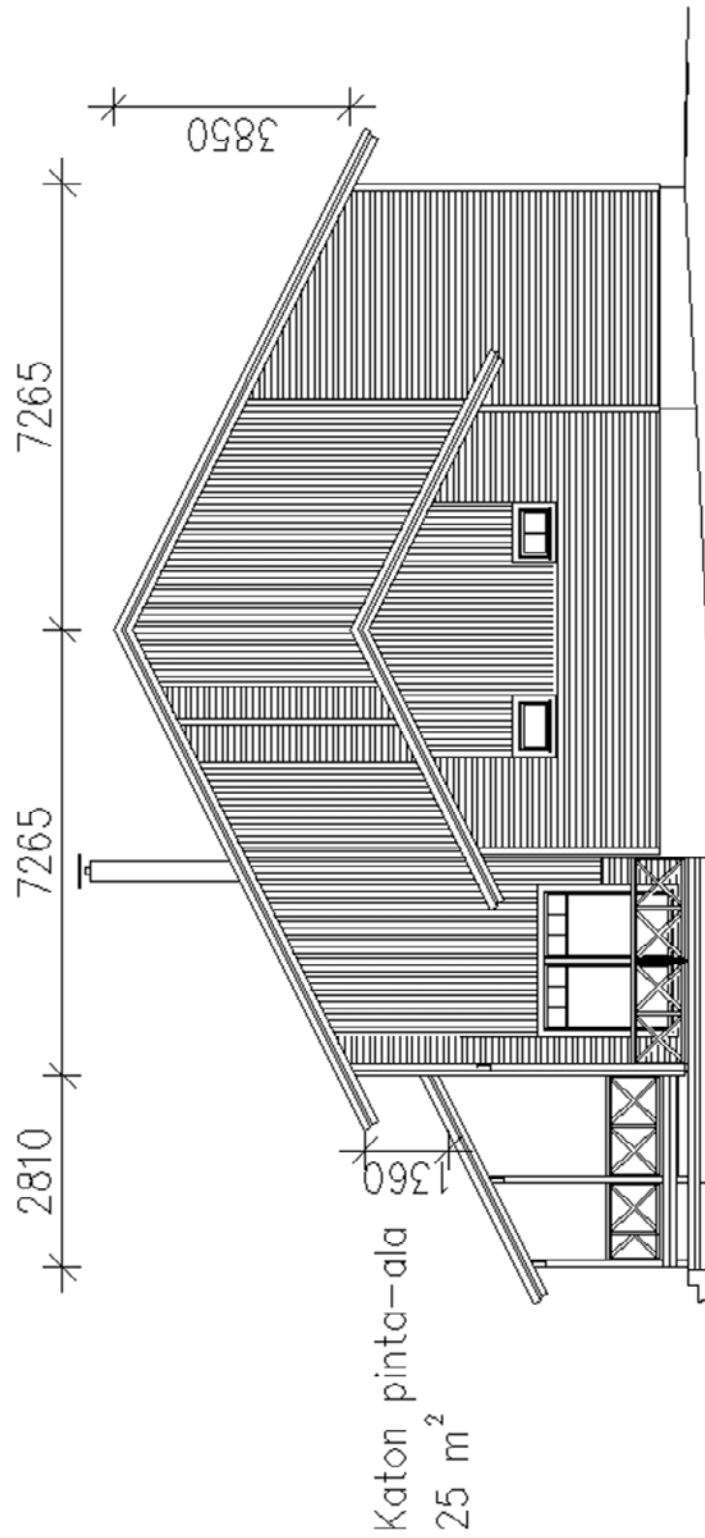
Liite 1: Esimerkkikohde 1 piirustukset

1 (4)



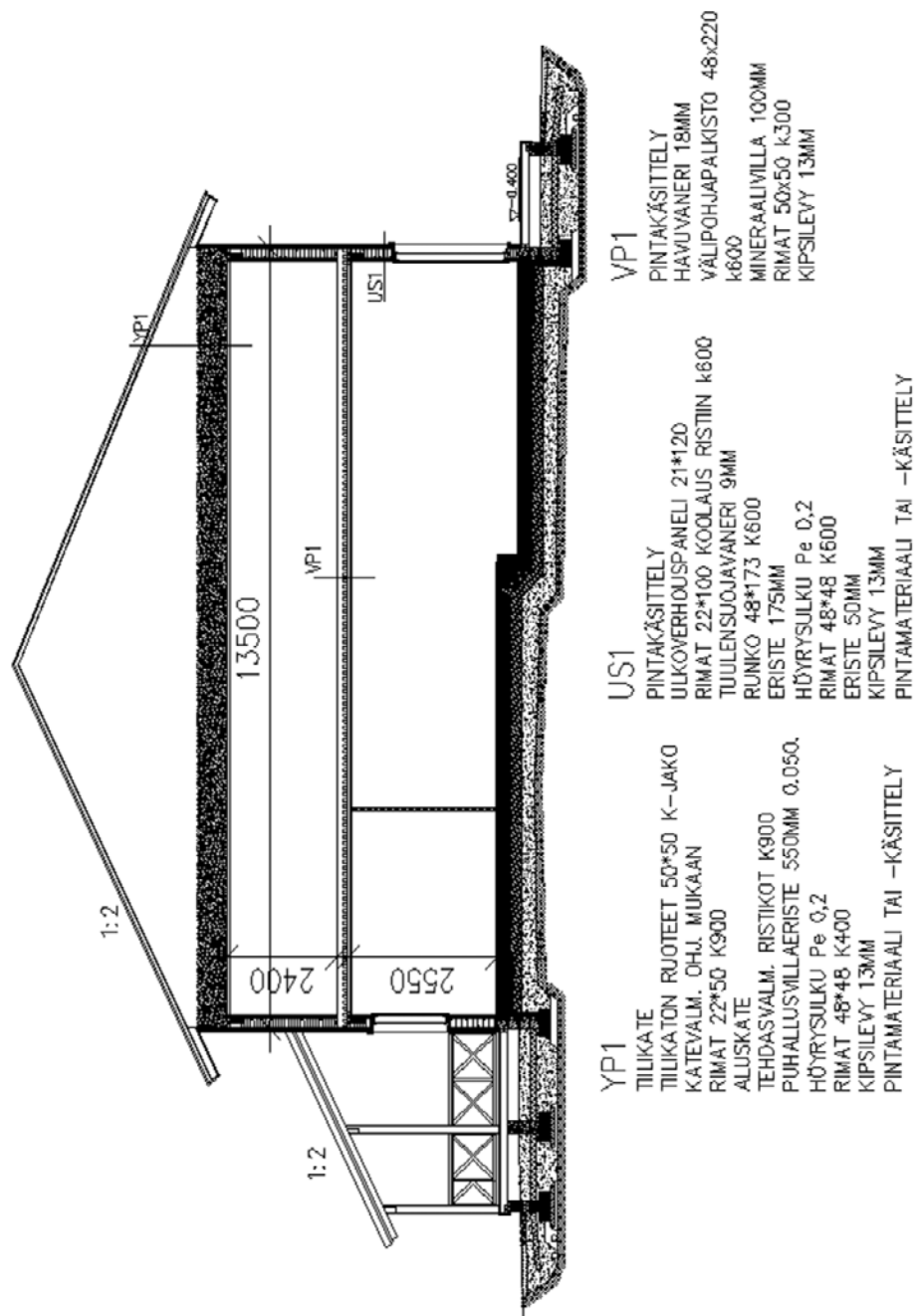
KUVA 1. Esimerkkikohde1: Julkisivu 1 (ei mittakaavassa)

(jatkuu)

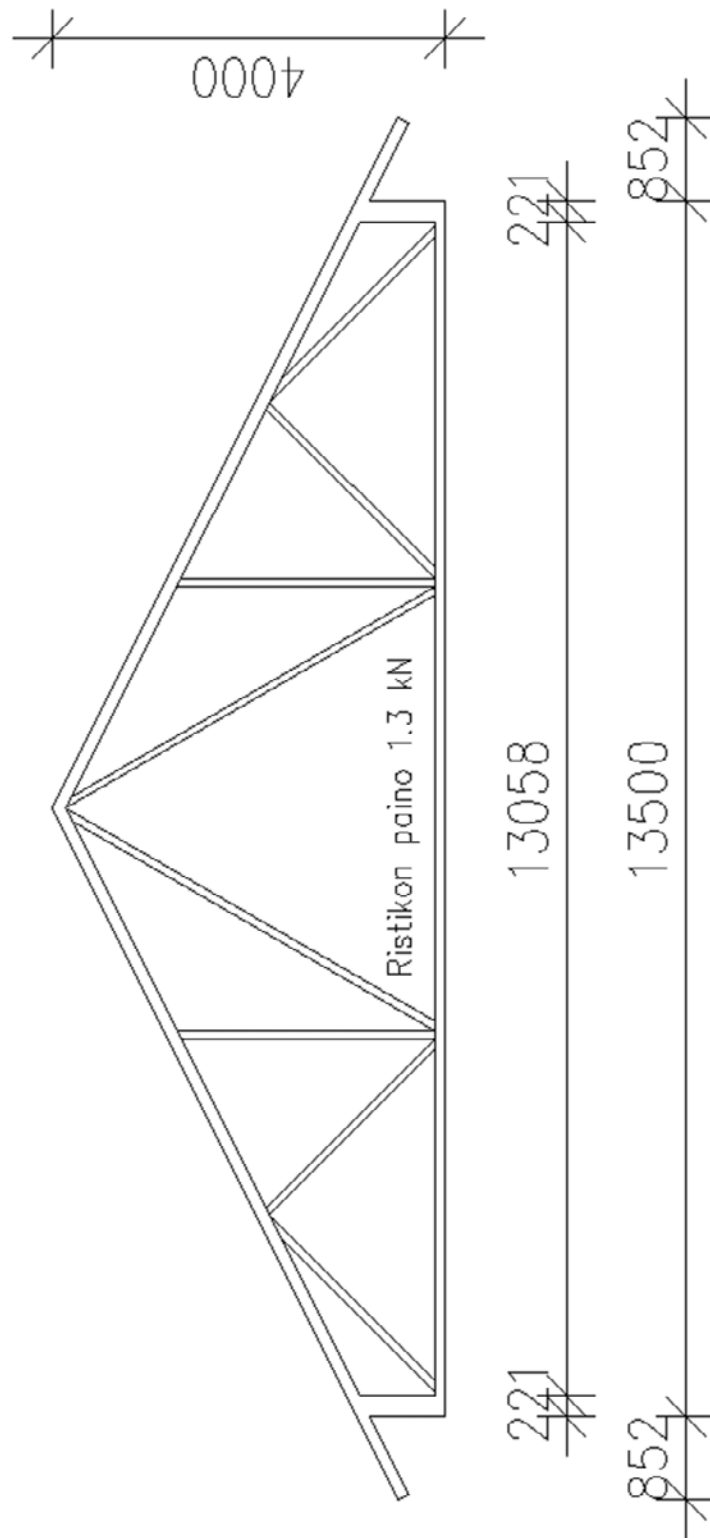


KUVA 2. Esimerkkikohde 1: Julkisivu 2 (ei mittakaavassa)

3 (4)



KUVA 3. Esimerkkikohde 1: Leikkaus (ei mittakaavassa)



Kuva 4. Päärakennuksen kattoristikko (ei mittakaavassa)

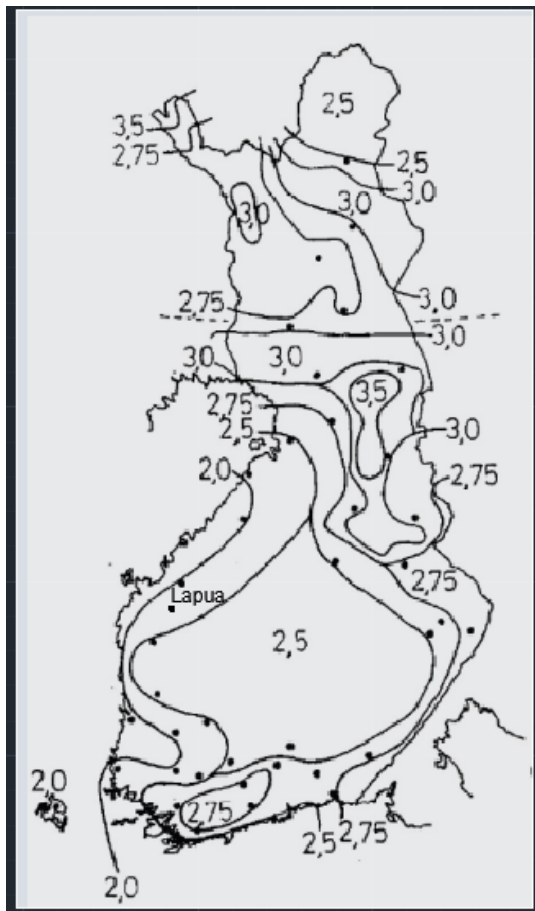
Liite 2: Laskuesimerkki 1

1 (14)

### Laskutehtävä A

Laske Lapualla sijaitsevan kaksikerroksisen omakotitalon kattotasolle tulevat lumikuormat ja piirrä lumikuormakuvaajat. Rakennuksen mitat löytyvät liitteen 1 piirustuksista.

Aloitetaan määrittämällä lumikuorman ominaisarvo  $s_k$  maassa kuvasta 1.



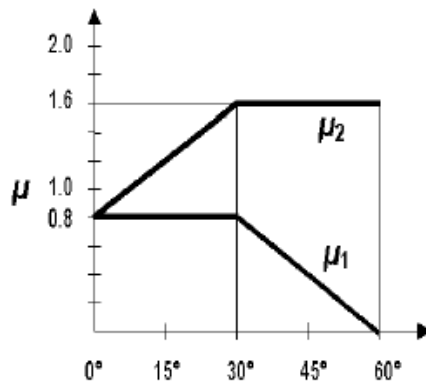
KUVA 1. Maanpinnan ominaislumikuormat (RIL 201-1-2011, 92)

Lapua sijaitsee kahden vyöhykkeen välissä, joten maanpinnan lumikuorman arvo interpoloidaan.

$$s_k = \frac{(2.5+2.0)\text{kN/m}^2}{2} = 2.25 \text{ kN/m}^2$$

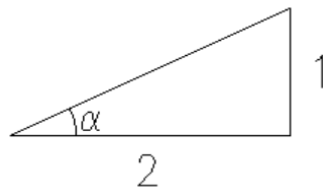
(jatkuu)

Seuraavaksi määritetään muotokertoimen  $\mu_1$  arvo kuvasta 2



KUVA 2. Lumikuorman muotokertoimet (RIL 201-1-2011, 95)

Muunnetaan kattokaltevuus 1:2 asteiksi:



$$\tan \alpha = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \alpha = 26.56^\circ < 30^\circ$$

Muotokertoimen  $\mu_1$  arvo:

$$\mu_1 = 0.8$$

Lasketaan kinostumattoman lumikuorman suuruus:

$$q_{s,k} = \mu_1 \cdot s_k = 0.8 \cdot 2.25 \text{ kN/m}^2 = 1.8 \text{ kN/m}^2$$

Seuraavaksi lasketaan alemmalle kattotasolle (autotalli) kinostuva lumikuorma.

Koska autotalli on rakennuksen päädyn vieressä, ylemmältä katolta ei pääse liukumaan lunta, joten  $\mu_s = 0$ .

3 (14)

Lasketaan tuulen aiheuttama kinostuminen:

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2} \cdot h < \gamma \cdot \frac{h}{s_k}$$

$$b_1 = 14.23 \text{ m}$$

$$b_2 = 7.8 \text{ m}$$

$$h = 3.85 \text{ m}$$

$$\gamma = 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\mu_w = \frac{14.23 \text{ m} + 7.8 \text{ m}}{2 \cdot 3.85 \text{ m}} = 2.86 < \frac{2.0 \text{ kN/m}^3 \cdot 3.85 \text{ m}}{2.25 \text{ kN/m}^2} = 3.42$$

Alemman katon pinta-ala on  $> 6 \text{ m}^2$ , joten  $0.8 \leq \mu_w \leq 2.5$ . Muotokerroimen arvoksi tulee siis  $\mu_w = 2.5$

Kinostumisen muotokerroin:

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 2.5 = 2.5$$

Kinostunut lumikuorma:

$$q_{s,k} = \mu_2 \cdot s_k = 2.5 \cdot 2.25 \text{ kN/m}^2 = 5.63 \text{ kN/m}^2$$

Kinostumispituus:

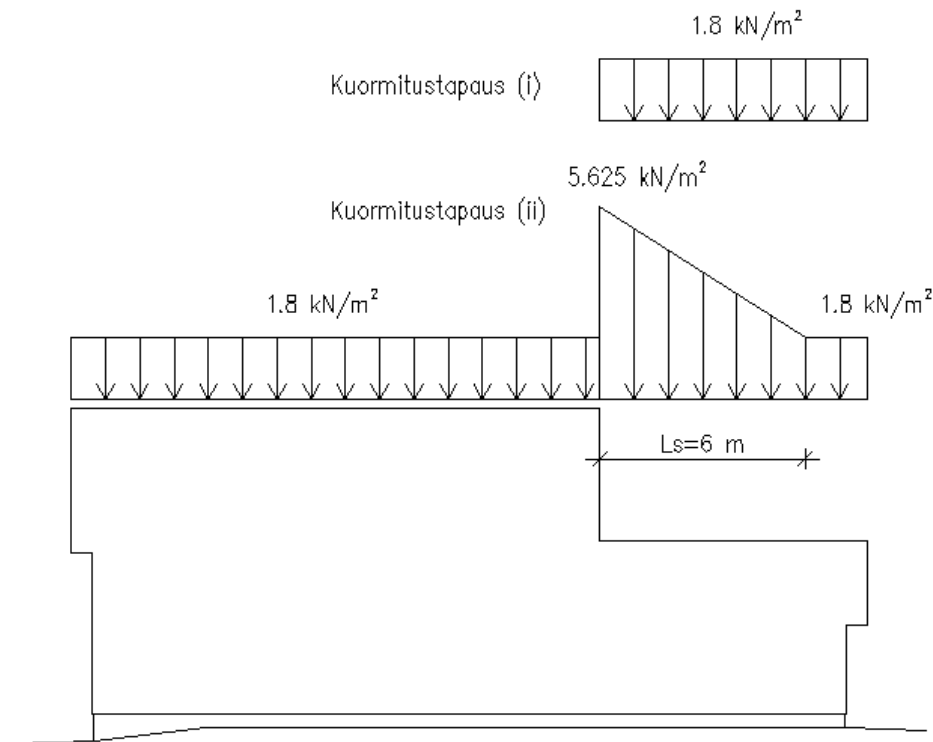
$$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 3.85 \text{ m} = 7.7 \text{ m}$$

Kinostumispituuden vaihteluväli on  $2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m}$ , joten kinostumispiteudeksi tulee  $l_s = 6 \text{ m}$ .

Piirretään lasketuista lumikuormista lumikuormakuvaajat (kuva 3).



4 (14)



KUVA 3. Lumikuormakuvaaja 1

Viimeiseksi lasketaan vielä terassin katolle kinostuva lumikuorma.

Kinostumis pituus:

$$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 1.36 \text{ m} = 2.72 \text{ m} ; 2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m}$$

Ylemmältä katolta putoavan lumen aiheuttama kinostuminen:

$$\mu_s = \frac{\mu_1 \cdot b_y}{l_s}$$

$$b_1 = 16.33 \text{ m}$$

$$b_2 = 2.81 \text{ m}$$

$$b_y = 7.265 \text{ m}$$

$$l_s = 2.72 \text{ m}$$

5 (14)

$$\mu_s = \frac{\mu_1 \cdot b_y}{l_s} = \frac{0.8 \cdot 7.265 \text{ m}}{2.72 \text{ m}} = 0.969$$

Tuulen aiheuttama kinostuminen:

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2} \cdot h < \gamma \cdot \frac{h}{s_k}$$

$$\mu_w = \frac{16.33 \text{ m} + 2.81 \text{ m}}{2 \cdot 1.36 \text{ m}} = 7.035 > \frac{2.0 \text{ kN/m}^3 \cdot 1.36 \text{ m}}{2.25 \text{ kN/m}^2} = 1.209$$

Terassin katon pinta-ala on  $> 6 \text{ m}^2$ , joten  $0.8 \leq \mu_w \leq 2.5$ . Muotokerroimen arvoksi tulee siis  $\mu_w = 1.209$ .

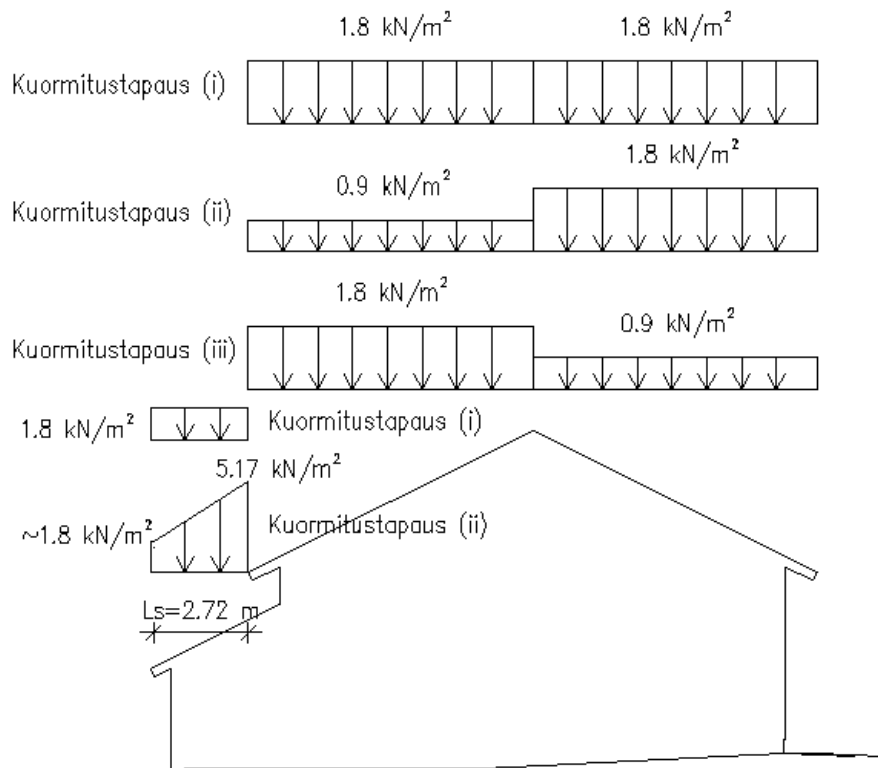
Kinostumisen muotokerroin:

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 1.089 + 1.209 \approx 2.30$$

Kinostunut lumikuorma:

$$q_{s,k} = \mu_2 \cdot s_k = 2.30 \cdot 2.25 \text{ kN/m}^2 \approx 5.2 \text{ kN/m}^2$$

Piirretään lasketuista lumikuormista lumikuormakuvaajat (kuva 4).



KUVA 4. Lumikuormakuvaaja 2

7 (14)

**Laskutehtävä B**

Laske rakennuksen yläpohjan, ulkoseinän ja välipohjan omat painot ( $\text{kN/m}^2$ ). Rakennetyypit löytyvät liitteen 1 leikkauskuvasta. Eri rakennusmateriaalien painoja on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Rakennusmateriaalien tilavuuspainoja

Materiaali	Tilavuuspaino ( $\text{kN/m}^3$ )
Puu	5
Kattotiili	15
Puhallusvilla	0.3
Mineraalivilla	0.4
Kipsilevy	8

**Yläpohja**

Yläpohjarakenne:

Tiilikate ( $t=27 \text{ mm}$ )

Ruoteet 50x50 k350

Rimat 22x50 k900

Aluskate

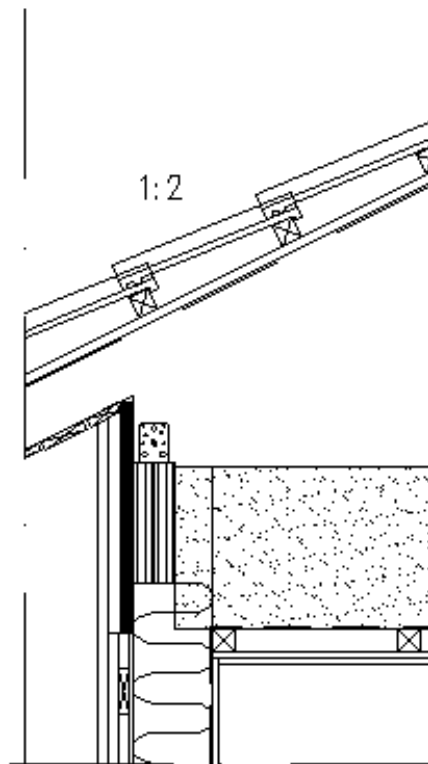
Tehdasvalmisteiset ristikot k900

Puhallusvilla 550 mm

Höyrynsulku

Rimat 50x50 k400

Kipsilevy 13mm



KUVA 6. Yläpohjarakenne

**Vesikaton paino**

Tiilikatteen neliöpaino:

$$g_{tiili} = 15 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.027 \text{ m} = 0.41 \text{ kN/m}^2$$

Lasketaan puuosien (ruoteet ja rimat) neliöpaino.

$$V_{ruoteet} = 0.05 \text{ m} \cdot 0.05 \text{ m} \cdot 1.0 \text{ m} \cdot \left(\frac{1000}{350}\right) \cdot 5 \text{ kN/m}^3 = 0.035 \text{ kN/m}^2$$

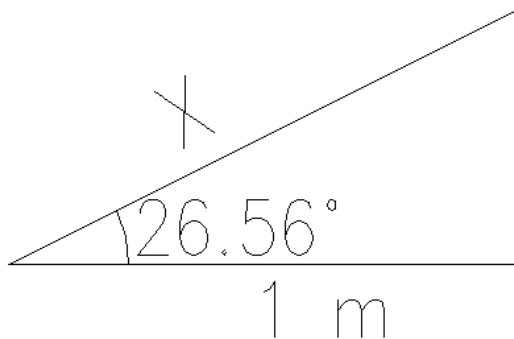
$$V_{rimat} = 0.022 \text{ m} \cdot 0.05 \text{ m} \cdot 1.0 \text{ m} \cdot \left(\frac{1000}{900}\right) \cdot 5 \text{ kN/m}^3 = 0.005 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Yhteensä} = 0.04 \text{ kN/m}^2$$

Vesikaton paino:

$$g_{v.katto} = g_{tiili} + g_{kat.puu} = 0.41 \text{ kN/m}^2 + 0.04 \text{ kN/m}^2 = 0.45 \text{ kN/m}^2$$

Muutetaan vesikaton paino vaakaneliölle (kuva 7).



KUVA 7. Vesikaton paino vaakaprojektiolle

$$\cos 26.56^\circ = \frac{1 \text{ m}}{x}$$

$$x = \frac{1 \text{ m}}{\cos 26.56^\circ} = 1.12 \text{ m}$$

9 (14)

Kuvasta 2 nähdään, että metri vaakasuuntaan vastaa yläpaarteella 1.12 metriä, joten kerrotaan vesikaton paino kertoimella 1.12.

$$g_{v.katto} = 1.12 \cdot 0.45 \text{ kN/m}^2 = 0.5 \text{ kN/m}^2$$

### Alakaton paino.

Alakaton paino lasketaan samalla tavalla kuin edellä laskettu vesikaton painokin. Alakaton rakenneosien painot on esitetty taulukossa 2. Lasketaan kattoristikoiden paino mukaan alakaton painoon yksinkertaistettuna ristikon kokonaispainon ja k-jaon avulla.

TAULUKKO 2. Alakaton rakenneosien painot

Rakenneosa	Koko	k-jako	Tilavuus	Tilavuuspaino	Neliöpaino
Ristikko		900		1.3 kN/kpl	1.4 kN/m <sup>2</sup>
Puhallusvilla	550 mm		0.55 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.3 kN/m <sup>3</sup>	0.17 kN/m <sup>2</sup>
Rimat	50x50 mm	400	0.006 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5 kN/m <sup>3</sup>	0.03 kN/m <sup>2</sup>
Kipsi	13 mm		0.013 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	8 kN/m <sup>3</sup>	0.1 kN/m <sup>2</sup>
				Yhteensä:	1.7 kN/m <sup>2</sup>

Lasketaan lopuksi yhteen vesikaton ja alakaton omat painot, jotta saadaan koko yläpohjarakenteen oma paino.

$$g_{YP} = g_{v.katto} + g_{a.katto} = 0.5 \text{ kN/m}^2 + 1.7 \text{ kN/m}^2 = 2.2 \text{ kN/m}^2$$

**Ulkoseinä**

Ulkoseinärakenne:

Ulkoerhouspaneli 21x120

Rimat 22x100 k600 ristiin koolaus

Tuulensuojavaneri 9mm

Runko 48x173 k600

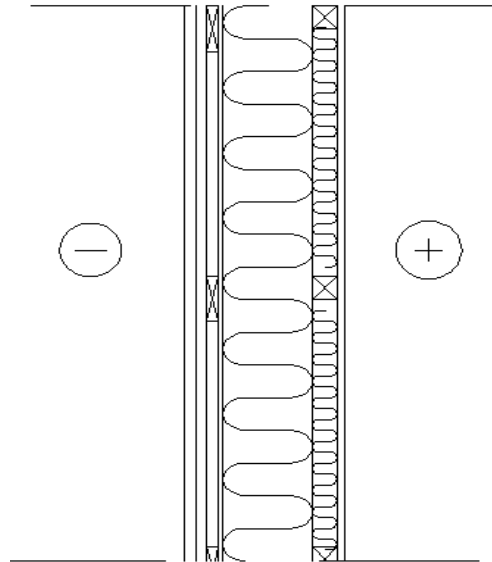
Mineraalivilla 175mm

Höyrynsulku

Rimat 50x50 k600

Mineraalivilla 50mm

Kipsilevy 13mm



KUVA 8. Ulkoseinärakenne

Ulkoseinän oma paino lasketaan samalla tavalla kuin yläpohjan oma paino. Ulkoseinän rakenneosien ja koko rakenteen neliöpainot on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Ulkoseinän rakenneosien painot

Rakenneosa	Koko	k-jako	Tilavuus	Tilavuuspaino	Neliöpaino
Runkotolppa	48x175 mm	600	0.013 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5 kN/m <sup>3</sup>	0.07 kN/m <sup>2</sup>
Verhous	21x100 mm		0.022 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5 kN/m <sup>3</sup>	0.11 kN/m <sup>2</sup>
Rimat <sub>1</sub>	22x100 mm	600	0.007 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5 kN/m <sup>3</sup>	0.035 kN/m <sup>2</sup>
Rimat <sub>2</sub>	50x50 mm	600	0.004 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5 kN/m <sup>3</sup>	0.02 kN/m <sup>2</sup>
Vaneri	9 mm		0.009 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5 kN/m <sup>3</sup>	0.045 kN/m <sup>2</sup>
Min. villa	225 mm		0.225 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.4 kN/m <sup>3</sup>	0.09 kN/m <sup>2</sup>
Kipsilevy	13 mm		0.013 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	8 kN/m <sup>3</sup>	0.1 kN/m <sup>2</sup>
				Yhteensä:	0.47 kN/m <sup>2</sup>

## Välipohja

Välipohjarakenne:

(Pintakäsittely)

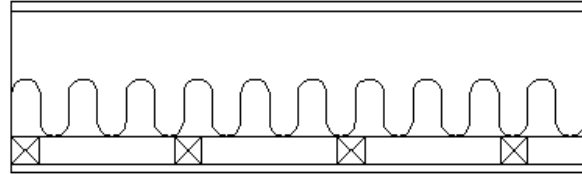
Havuvaneri 18 mm

Välipohjapalkkisto 48x220 k400

Mineraalivilla 100 mm

Rimat 50x50 k300

Kipsilevy 13mm



KUVA 9. Välipohjarakenne

Välipohjan rakenneosien ja koko rakenteen neliöpainot on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Välipohjan rakenneosien painot

Rakenneosa	Koko	k-jako	Tilavuus	Tilavuuspaino	Neliöpaino
Palkki	48x220 mm	400	0.026 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5 kN/m <sup>3</sup>	0.13 kN/m <sup>2</sup>
Vaneri	18 mm		0.018 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5 kN/m <sup>3</sup>	0.09 kN/m <sup>2</sup>
Min. villa	100 mm	600	0.1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.4 kN/m <sup>3</sup>	0.04 kN/m <sup>2</sup>
Rimat	50x50 mm	600	0.008 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5 kN/m <sup>3</sup>	0.04 kN/m <sup>2</sup>
Kipsilevy	13 mm		0.013 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	8 kN/m <sup>3</sup>	0.1 kN/m <sup>2</sup>
				Yhteensä:	0.4 kN/m <sup>2</sup>

YHTEENVETO:

Yläpohjan paino:  $g_{YP} = 2.2 \text{ kN/m}^2$

Ulkoseinän paino:  $g_{US} = 0.47 \text{ kN/m}^2$

Välipohjan paino:  $g_{VP} = 0.4 \text{ kN/m}^2$

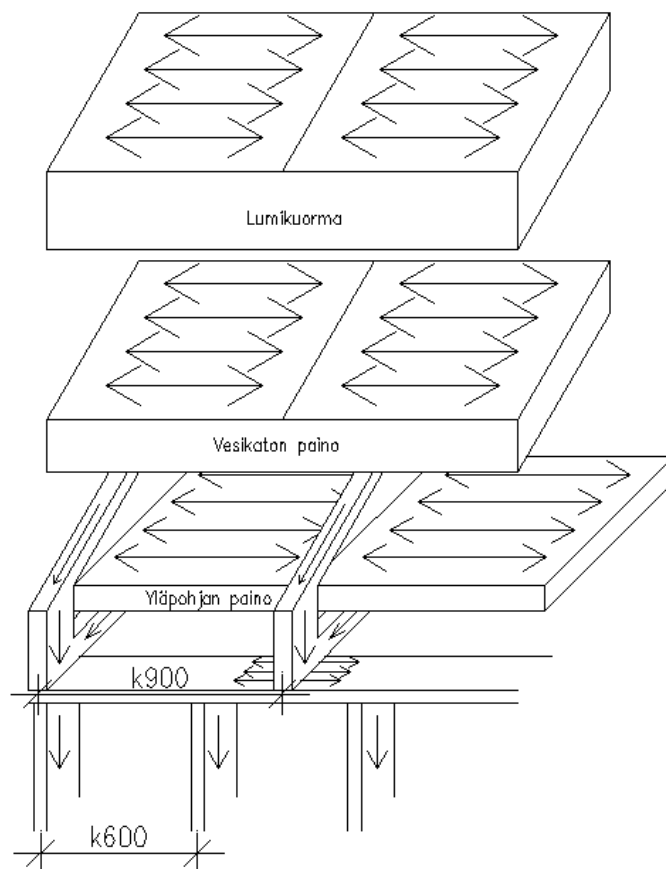


### Laskutehtävä C

Laske päärakennuksen ensimmäisen kerroksen yhdelle runkotolpalle tuleva pystysuuntainen kuormitus.

#### Yläpohja

Aloitetaan keräämällä katolta ja yläpohjalta tulevat jakaantuneet kuormat kattoristikon tuelle kohdistuvaksi pistekuormaksi (kuva 10).



KUVA 6. Kuormien siirtyminen kattoristikolta runkotolpalle

Katolta tuleva pysyvä kuorma ristikkometrille:

$$g_{k,YP} = g_{YP} \cdot 0.9 \text{ m} = 2.2 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.9 \text{ m} = 1.98 \text{ kN/m}$$

Ristikolta tuleva pysyvä pistekuorma:

$$G_{k,YP} = g_{k,YP} \cdot \frac{13.5 \text{ m}}{2} = 1.98 \text{ kN/m} \cdot 6.75 \text{ m} = 13.4 \text{ kN/m}$$

Katolta tuleva muuttuva kuorma (lumikuorma) ristikkometrille:

$$q_{k,YP} = q_{s,k} \cdot 0.9 \text{ m} = 1.8 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.9 \text{ m} = 0.72 \text{ kN/m}$$

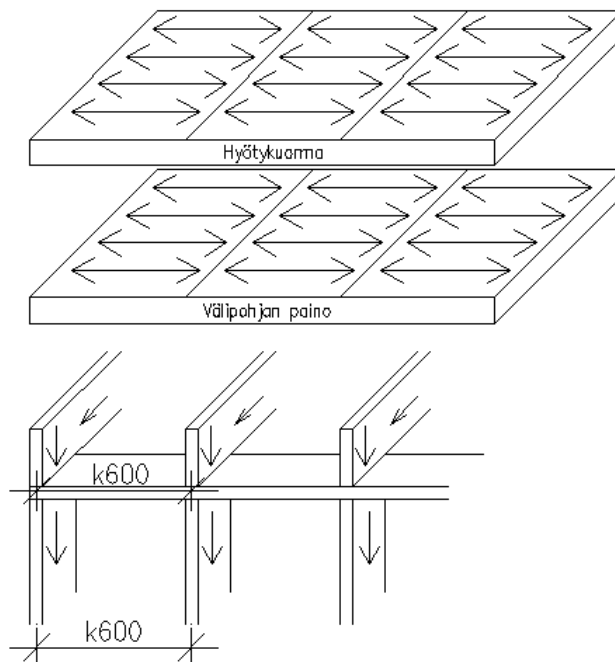
Ristikolta tuleva muuttuva pistekuorma:

$$Q_{k,YP} = q_{k,YP} \cdot \frac{13.5 \text{ m}}{2} = 0.72 \text{ kN/m} \cdot 6.75 \text{ m} = 4.9 \text{ kN/m}$$

Runkotolppien k-jako on tiheämpi kuin kattoristikoiden, joten määrääväksi kuormitus-  
tapaukseksi muodostuu tilanne, jossa yhden ristikon kuorma tulee yhdelle runkotolpalle  
(kuva 10). Ristikolta tuelle tuleva kuorma siirtyy siis suoraan runkotolpalle.

### Välipohja

Kerätään välipohjan jakaantuneet kuormat yhdeltä palkilta runkotolpalle kohdistuvaksi  
pistekuormaksi (kuva 11).



KUVA 11. Kuormien siirtyminen välipohjapalkilta runkotolpalle

14 (14)

Välipohjapalkille tuleva pysyvä metrikuorma

$$g_{k,VP} = g_{VP} \cdot 0.4 \text{ m} = 0.4 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.4 \text{ m} = 0.16 \text{ kN/m}$$

Välipohjapalkilta tuleva pysyvä pistekuorma

$$G_{k,VP} = g_{k,VP} \cdot \frac{13.5 \text{ m}}{2} = 0.16 \text{ kN/m} \cdot 6.75 \text{ m} = 1.1 \text{ kN}$$

Välipohjapalkille tuleva muuttuva metrikuorma (hyötykuorma)

$$q_{k,VP} = q_{hyöty} \cdot 0.4 \text{ m} = 2.0 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.4 \text{ m} = 0.8 \text{ kN/m}$$

Välipohjapalkilta tuleva muuttuva pistekuorma

$$Q_{k,VP} = q_{k,VP} \cdot \frac{13.5 \text{ m}}{2} = 0.8 \text{ kN/m} \cdot 6.75 \text{ m} = 5.4 \text{ kN}$$

### **Ulkoseinät**

Kerätään ulkoseinärakenteen jakaantunut oma paino runkotolpalle tulevaksi pistekuormaksi.

Ulkoseinän metrikuorma

$$g_{k,US} = g_{US} \cdot 0.6 \text{ m} = 0.47 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.6 \text{ m} = 0.28 \text{ kN/m}$$

Ylä- ja alakerran ulkoseiniltä runkotolpalle tuleva pistekuorma

$$G_{k,US} = g_{k,US} \cdot (2.4 \text{ m} + 2.55 \text{ m}) = 0.28 \text{ kN/m} \cdot (2.4 \text{ m} + 2.55 \text{ m}) = 1.4 \text{ kN}$$

### **Runkotolpalta perustuksille tuleva pysyvä pistekuorma**

Yhdistetään kaikki edellä lasketut pysyvät pistekuormat.

$$G_k = G_{k,YP} + G_{k,VP} + G_{k,US} = (13.4 + 1.1 + 1.4) \text{ kN} = 15.9 \text{ kN}$$

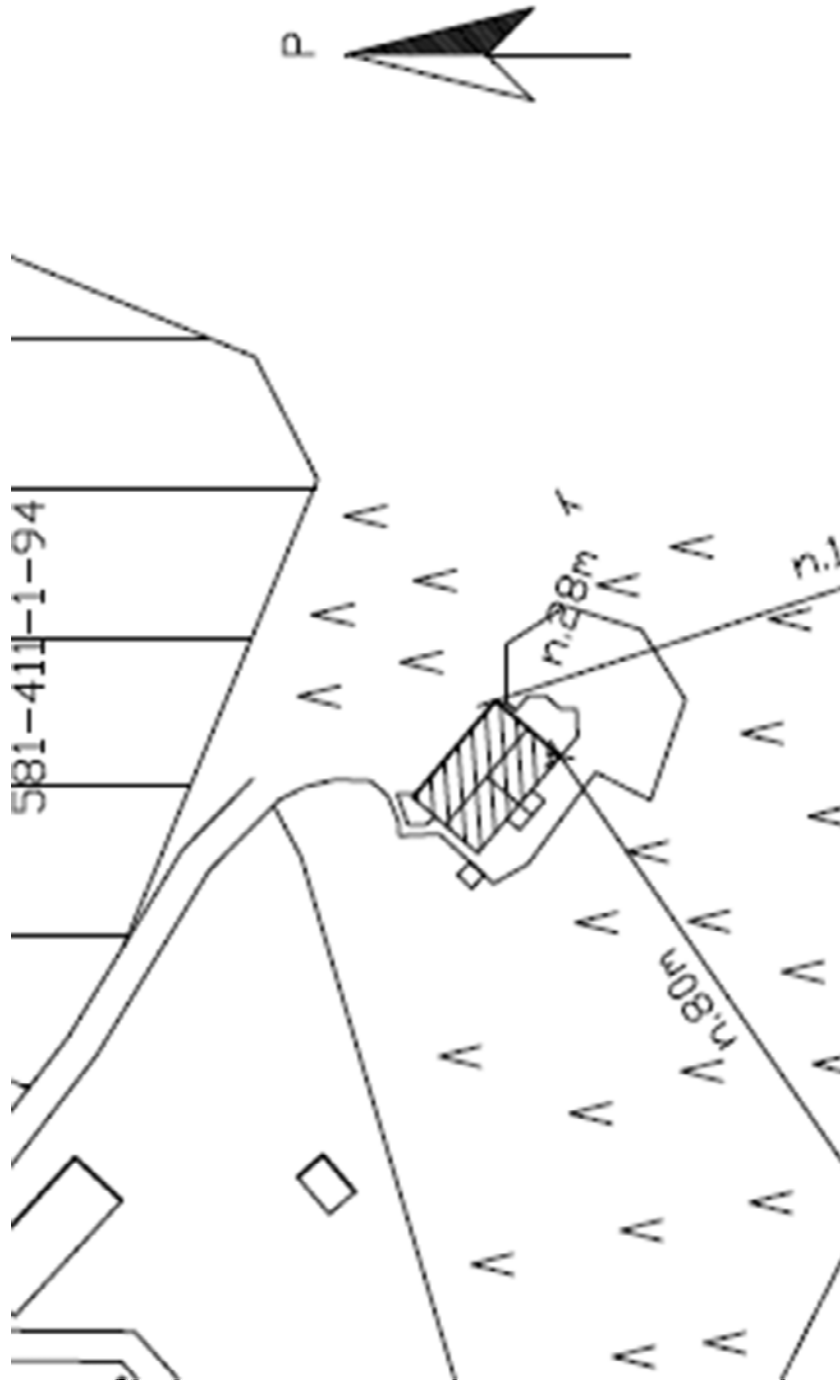
### **Runkotolpalta perustuksille tuleva muuttuva pistekuorma**

Yhdistetään kaikki edellä lasketut muuttuvat pistekuormat.

$$Q_k = Q_{k,YP} + Q_{k,VP} = (4.9 + 5.4) \text{ kN} = 10.3 \text{ kN}$$

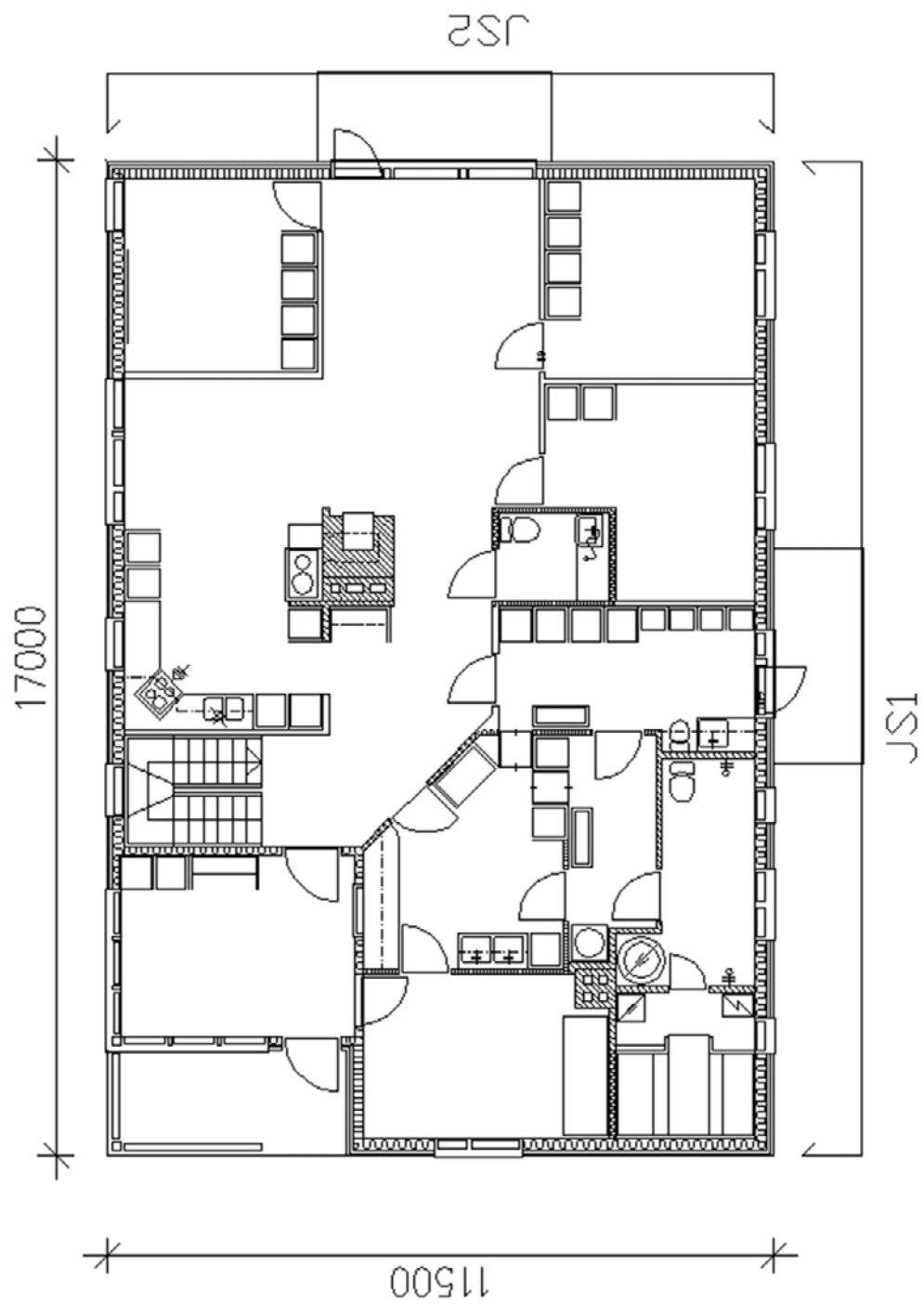
## Liite 3: Esimerkkikohde 2 piirustukset

1 (6)



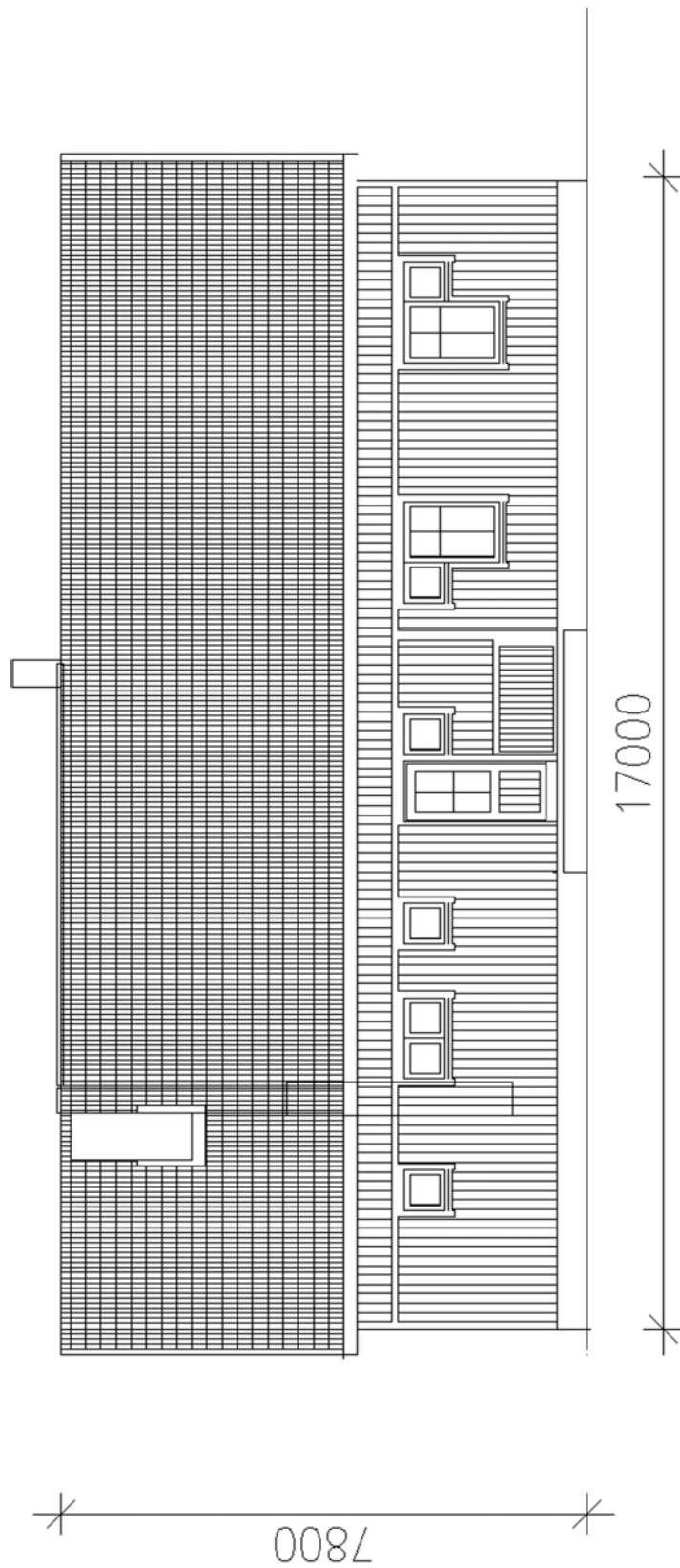
KUVA 1. Esimerkkikohde 2: Asemapiirros (ei mittakaavassa)

(jatkuu)

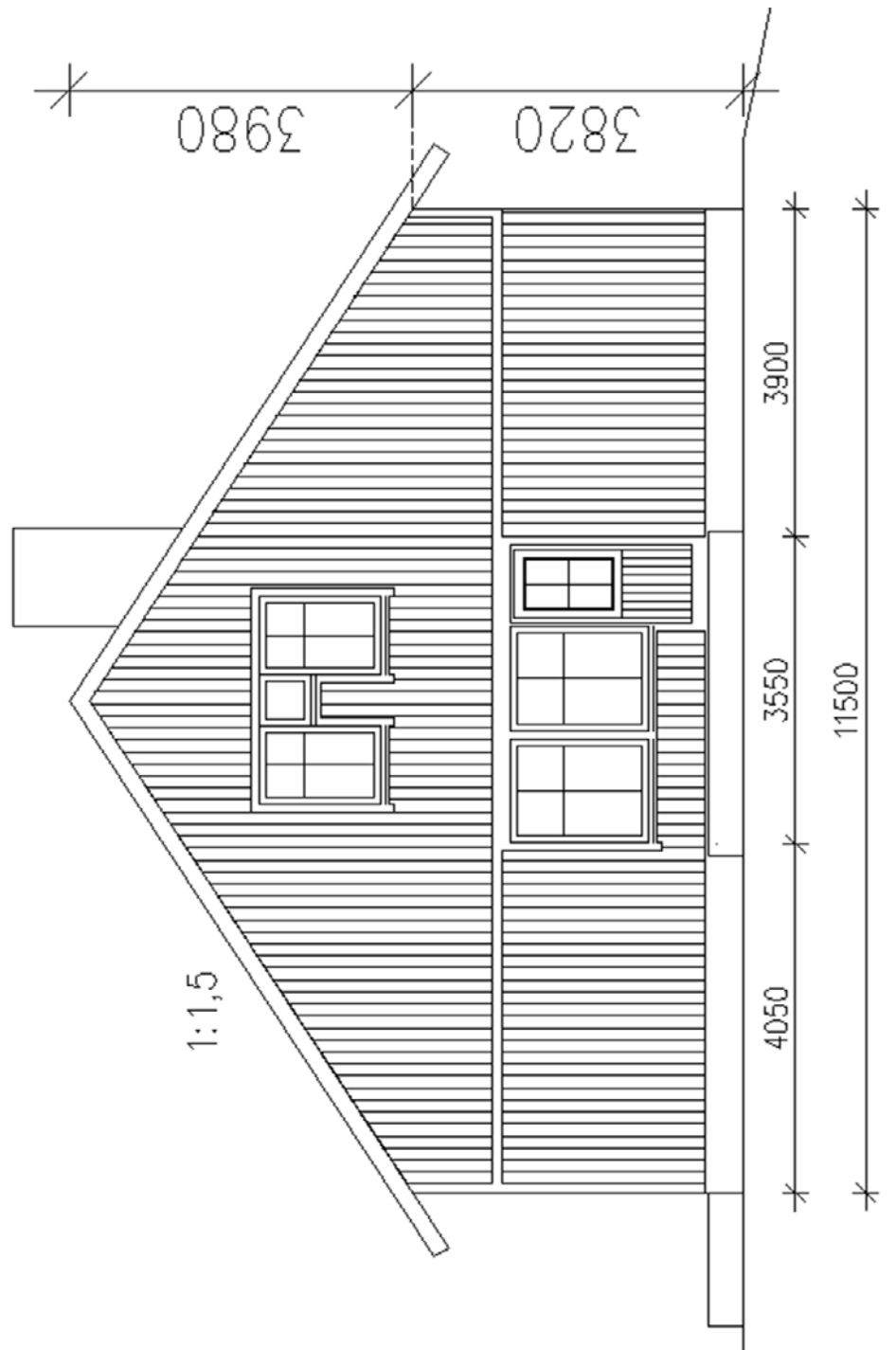


KUVA 2. Esimerkkikohde 2: Pohjakuva (ei mittakaavassa)

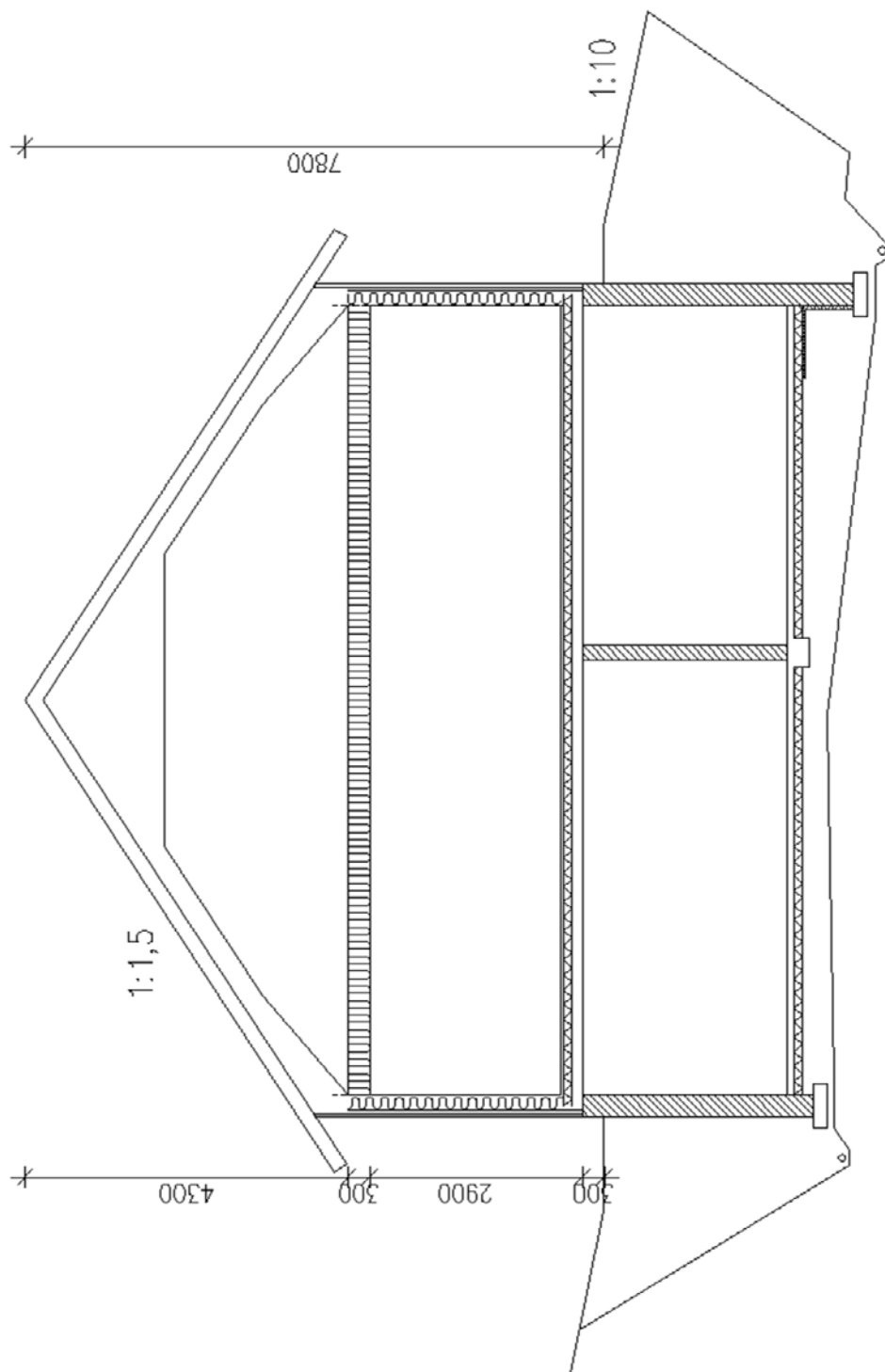
3 (6)



KUVA 3. Esimerkkikohde 2: Julkisivu 1 (ei mittakaavassa)



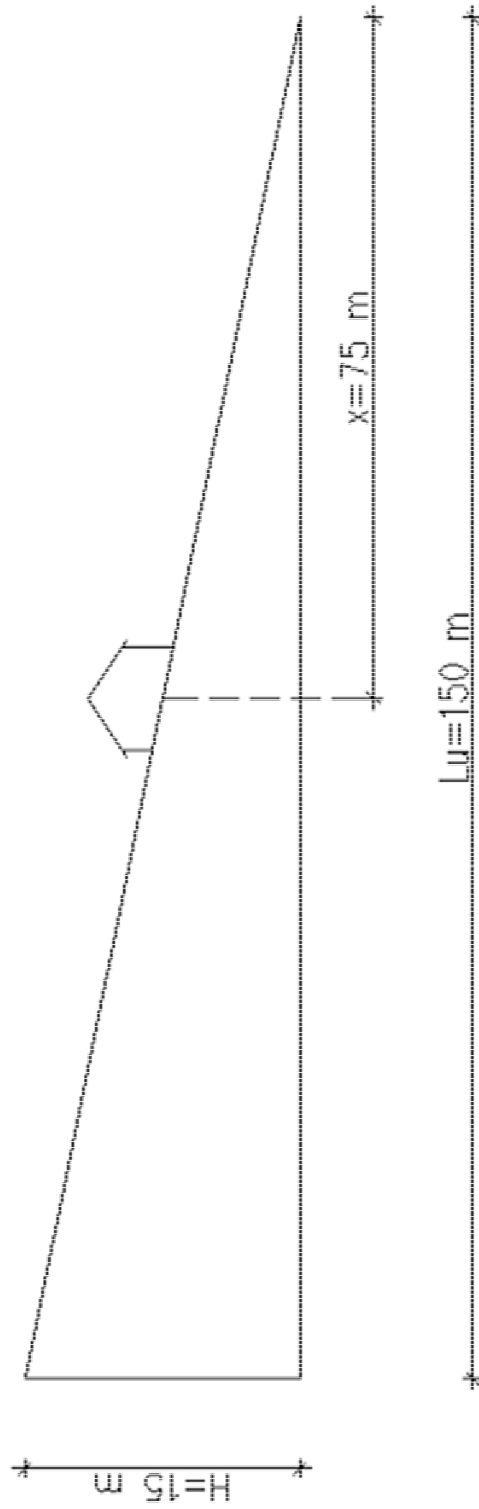
KUVA 4. Esimerkkikohde 2: Julkisivu 2 (ei mittakaavassa)



KUVA 5. Esimerkkikohde 2: Leikkaus (ei mittakaavassa)



6 (6)



Kuva 6. Esimerkkikohde 2: Rakennuksen sijainti rinteessä (ei mittakaavassa)

## Liite 4: Laskuesimerkki 2

1 (25)

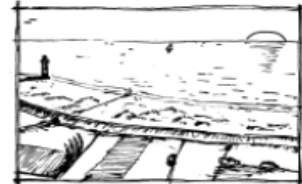
**Laskutehtävä A**

Laske Parkanossa sijaitsevaan puolitoistakerroksiseen omakotitaloon kohdistuva tuulikuorma kokonaistuulivoimamenetelmällä. Rakennuksen mitat ja muut tarvittavat tiedot löytyvät liitteen 3 piirustuksista.

Aloitetaan määrittämällä rakennuspaikan maastoluokka liitteen 3 asemapiirustuksen ja kuvan 1 avulla

**Maastoluokka 0**

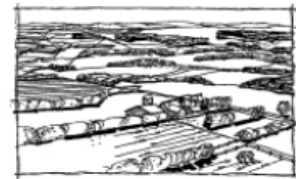
Meri, avoimen meren äärellä oleva rannikkoalue

**Maastoluokka I**

Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä

**Maastoluokka II**

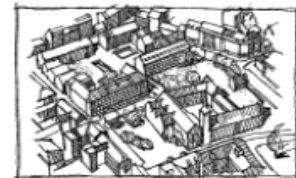
Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta, kuten heinää tai ruohoa ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan

**Maastoluokka III**

Alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)

**Maastoluokka IV**

Alue, jolla vähintään 15 % alasta on rakennusten peitossa ja joiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m

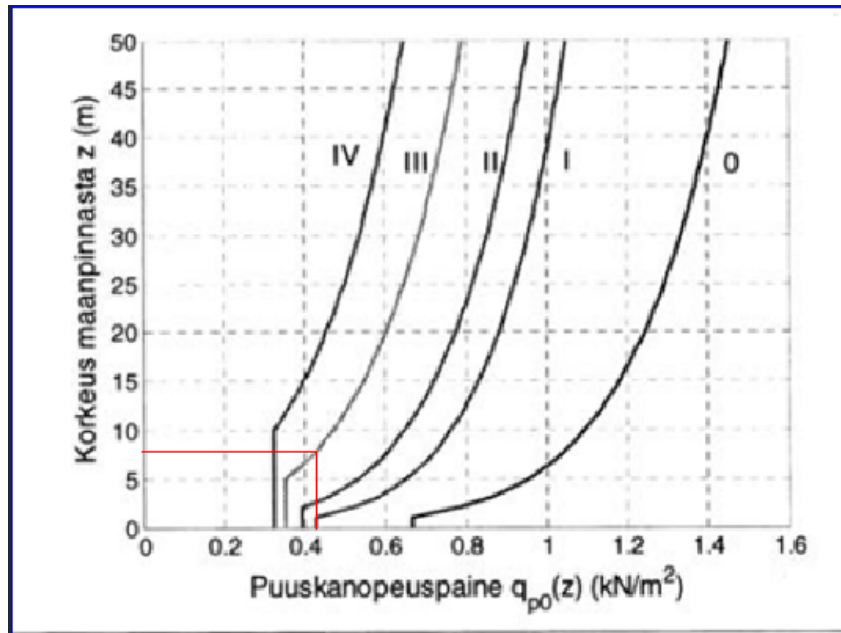


KUVA 1. Maastoluokat (RIL 201-1-2011, 127)

(jatkuu)

2 (25)

Rakennus sijaitsee metsän keskellä, joten valitaan maastoluokka III. Tämän jälkeen määritetään puuskanopeuspaine maastoluokan ja rakennuksen harjakorkeuden mukaan kuvasta 2.



KUVA 2. Puuskanopeuspaineen graafinen määrittäminen (RIL 201-1-2011, 132)

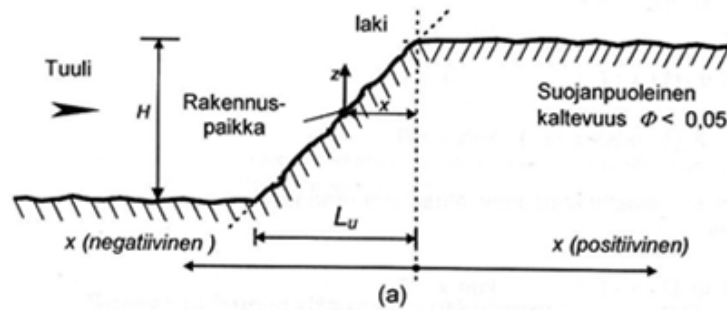
Rakennuksen korkeus:

$$h = 7.8 \text{ m}$$

Puuskanopeuspaine:

$$q_{p0}(z) = 0.43 \text{ kN/m}^2$$

Rakennus sijaitsee rinteessä, joten tarkastetaan maaston paikallisen pinnanmuodon vaikutus nopeuspaineeseen kuvien 3 ja 4 avulla.



KUVA 3. Nopeuspaineen suurennuskerroin toispuoleisille maastonkohoumille (osa 1/2) (RIL 201-1-2011, 129)

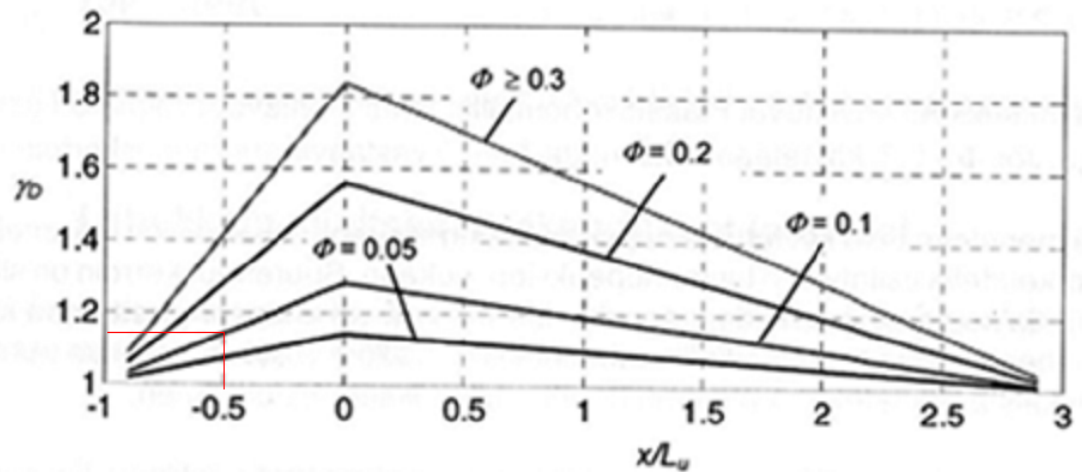
$$H = 15 \text{ m}$$

$$L_u = 150 \text{ m}$$

$$x = 75 \text{ m}$$

$$\phi = \frac{H}{L_u} = \frac{15 \text{ m}}{150 \text{ m}} = 0.1$$

$$\frac{x}{L_u} = \frac{-75 \text{ m}}{150 \text{ m}} = -0.5$$



KUVA 4. Nopeuspaineen suurennuskerroin toispuoleisille maastonkohoumille (osa 2/2) (RIL 201-1-2011, 129)

Kuvasta 4 saadaan suurennuskertoimen  $\gamma_D$  arvoksi  $\gamma_D = 1.17$ .

4 (25)

Lasketaan tuulen modifioitu nopeuspaine:

$$q_p(z) = \gamma_D \cdot q_{p,0}(z) = 1.17 \cdot 0.43 \text{ kN/m}^2 = 0.50 \text{ kN/m}^2$$

### Tuuli pitkälle sivulle

Lasketaan ensin kokonaistuulivoima niin, että tuuli puhaltaa rakennuksen pitkälle sivulle.

Rakennuksen mitat:

$$b = 17 \text{ m}$$

$$d = 11.5 \text{ m}$$

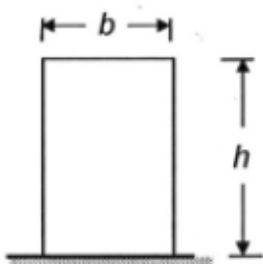
$$h = 7.8 \text{ m}$$

Kokonaistuulivoima:

$$F_w = c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref}$$

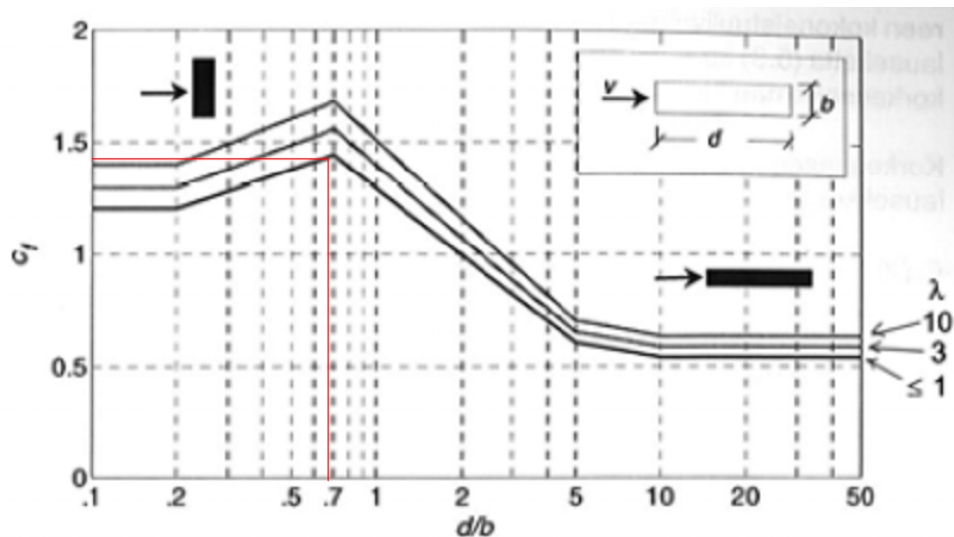
Voimakertoimen  $c_f$  määrittämiseen tarvitaan tehollista hoikkuutta  $\lambda$ , joka saadaan taulukosta 1.

TAULUKKO 1. Tehollinen hoikkuus (RIL 201-1-2011, 136)

Rakenteen mittasuhteet, tuuli kohtisuoraan tasoa vasten	Tehollinen hoikkuus $\lambda$
	kun $h < 15 \text{ m}$ , $\lambda = 2 h/b$ kun $h \geq 50 \text{ m}$ , $\lambda = 1,4 h/b$  Välialueella $15 \text{ m} < h < 50 \text{ m}$ sovelletaan interpolointia.  Huom: Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia, joille $\lambda > 10$ .

$$h < 15 \text{ m, joten } \lambda = 2 \cdot \frac{h}{b} = 2 \cdot \frac{7.8 \text{ m}}{17 \text{ m}} = 0.92 < 1$$

Voimakerroin  $c_f$  saadaan kuvasta 5.



KUVA 5. Voimakertoimen graafinen määrittäminen (RIL 201-1-2011, 137)

Sivusuhte:

$$\frac{d}{b} = \frac{11.5 \text{ m}}{17 \text{ m}} = 0.676$$

Voimakertoimen  $c_f$  arvoksi saadaan  $c_f = 1.45$ .

Tuulikuorman vaikutusala:

$$A_{ref} = b \cdot h = 17 \text{ m} \cdot 7.8 \text{ m} = 132.6 \text{ m}^2 \approx 133 \text{ m}^2$$

Kokonaisvoima pitkälle sivulle:

$$F_w = c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} = 1.45 \cdot 0.50 \text{ kN/m}^2 \cdot 133 \text{ m}^2 = 96.4 \text{ kN}$$

Saatu voimaresultantti vaikuttaa keskellä rakennusta  $0.6h = 4.7 \text{ m}$  korkeudella maanpinnasta.

6 (25)

**Tuuli lyhyelle sivulle**

Seuraavaksi lasketaan kokonaistuulivoima, kun tuuli puhaltaa lyhyemmälle sivulle.

Rakennuksen mitat:

$$b = 11.5 \text{ m}$$

$$d = 17 \text{ m}$$

$h_k = 5.8 \text{ m}$ , koska pääty ei ole suorakulmio, käytetään keskimääräistä korkeutta

Kokonaistuulivoima:

$$F_w = c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref}$$

Määritetään tehollinen hoikkuus  $\lambda$  taulukosta 2.

$$h < 15 \text{ m, joten } \lambda = 2 \cdot \frac{h_k}{b} = 2 \cdot \frac{5.8 \text{ m}}{11.5 \text{ m}} = 1.01 \approx 1.0$$

Määritetään voimakerroin  $c_f$  käyttämällä taulukkoa 2.

TAULUKKO 2. Voimakertoimen numeerinen määrittäminen (RIL 201-1-2011, 137; liite 3)

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

Sivusuhte:

$$\frac{d}{b} = \frac{17 \text{ m}}{11.5 \text{ m}} = 1.478$$

Interpoloidaan voimakertoimen  $c_f$  arvo:

$$c_f = 1.28 - (1.28 - 0.99) \cdot (1.478 - 1) = 1.14$$

Tuulikuorman vaikutusala:

$$A_{ref} = b \cdot h_k = 11.5 \text{ m} \cdot 5.8 \text{ m} = 66.7 \text{ m}^2 \approx 68 \text{ m}^2$$

Kokonaisvoima lyhyelle sivulle:

Tuulen suunnan takia käytetään tuulenpaineelle modifioimatonta arvoa

$$q_{p0}(z) = 0.43 \text{ kN/m}^2.$$

$$F_w = c_f \cdot q_{p0}(z) \cdot A_{ref} = 1.14 \cdot 0.43 \text{ kN/m}^2 \cdot 68 \text{ m}^2 = 41.2 \text{ kN}$$

Saatu voimaresultantti vaikuttaa keskellä rakennusta  $0.6h = 3.5 \text{ m}$  korkeudella maanpinnasta.



**Laskutehtävä B**

Laske rakennukseen kohdistuvat tuulivoimat pintapainemenetelmällä ja piirrä näistä tuulivoimakuvaajat.

Tuulen puuskanopeuspaineelle käytetään kohdassa 2A laskettua modifioitua arvoa.

$$q_p(z) = 0.50 \text{ kN/m}^2$$

**Tuuli pitkälle sivulle**

Lasketaan ensin pintapaineet, kun tuuli puhaltaa pidemmälle sivulle.

Rakennuksen mitat:

$$h = 7.8 \text{ m}$$

$$b = 17 \text{ m}$$

$$d = 11.5 \text{ m}$$

Määritetään seinien vyöhykkeet kuvan 6 avulla.

$$e = \min(b; 2h) = 2h = 15.6 \text{ m}$$

$$e > d$$

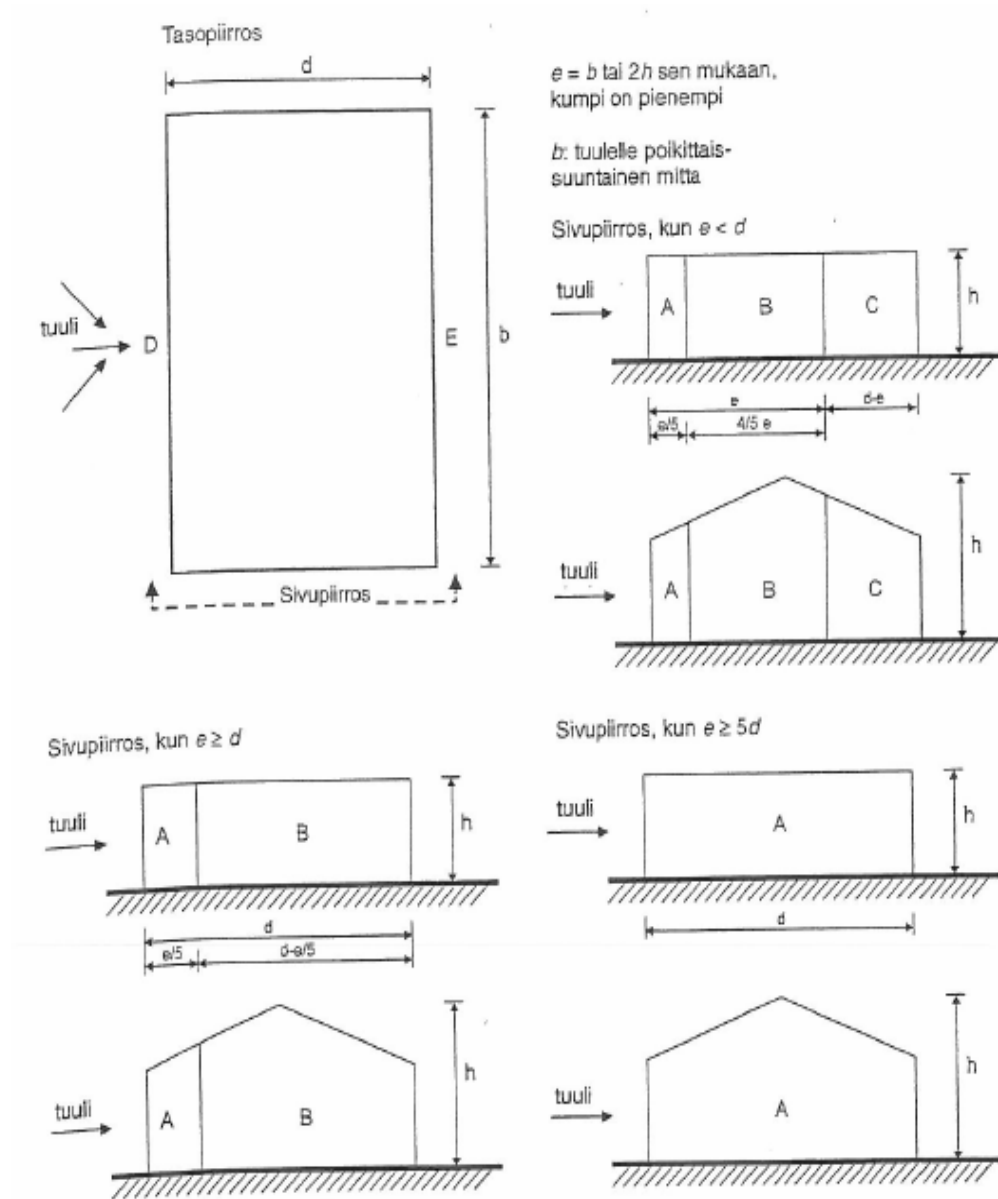
Koska  $e > d$ , tarkastellaan tapausta, jossa päädyissä on kaksi vyöhykettä A ja B.

Vyöhykkeen A pituus:

$$\frac{e}{5} = \frac{15.6 \text{ m}}{5} = 3.12 \text{ m}$$

Vyöhykkeen B pituus:

$$d - \frac{e}{5} = 11.5 \text{ m} - 3.12 \text{ m} = 8.38 \text{ m}$$



KUVA 6. Seinien vyöhykkeet (RIL 201-1-2011, 146)

10 (25)

Määritetään ulkopuolisen paineen kertoimet taulukosta 3. Saadut arvot on esitetty taulukossa 4. Negatiiviset arvot ovat seinästä poispäin kohdistuvaa imua ja positiiviset seinään kohdistuvaa painetta.

TAULUKKO 3. Ulkopuolisen paineen kertoimet (RIL 201-1-2011, 146)

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
$h/d$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		+0.8	+1.0	-0.7	
1	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		+0.8	+1.0	-0.5	
$\leq 0,25$	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		+0.7	+1.0	-0.3	

$$\frac{h}{d} = \frac{7.8 \text{ m}}{11.5 \text{ m}} = 0.678$$

TAULUKKO 4. Vyöhykkeiden ulkopuolisen paineen kertoimet

Vyöhyke	A	B	D	E
$c_{pe,10}$	-1.2	-0.8	0.8	-0.4

Seuraavaksi määritetään sisäpuoliset painekertoimet.

Rakennuksessa ei ole määrääviä seiniä, joten sisäpuolinen painekerroin määritetään aukkosuhteen avulla.

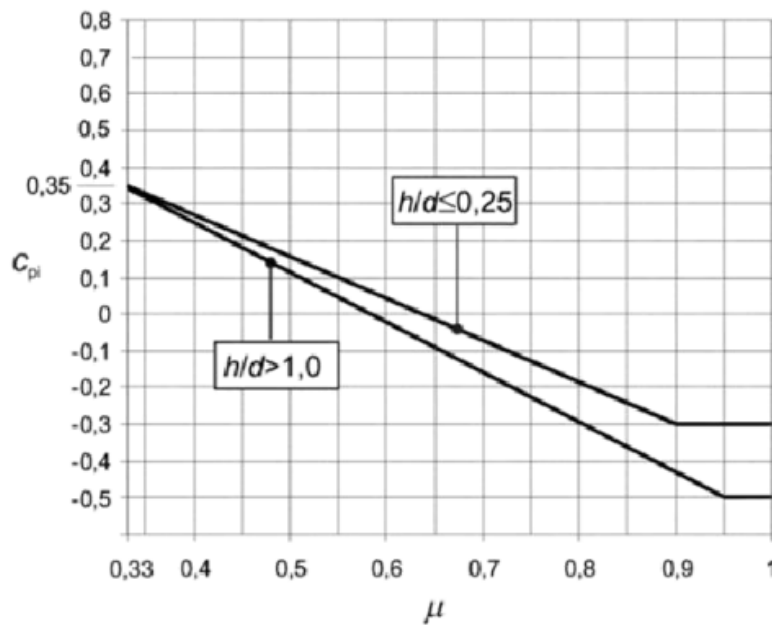
Aukkosuhde:

Oletetaan, että kaikki seinät ovat yhtä tiiviitä, joten aukkosuhde saadaan suoraan seinien suhteilla.

$$\mu = \frac{\Sigma \text{niiden aukkojen pinta-ala, joiden kohdalla } c_{pe} \leq 0.0}{\Sigma \text{kaikkien aukkojen pinta-ala}}$$

$$\mu = \frac{2 \cdot d + b}{2 \cdot d + 2 \cdot b} = \frac{2 \cdot 11.5 \text{ m} + 17 \text{ m}}{2 \cdot 11.5 \text{ m} + 2 \cdot 17 \text{ m}} = 0.7$$

Määritetään sisäpuolisen paineen kerroin kuvasta 7.



KUVA 7. Sisäisen paineen kerroin aukkosuhteen funktiona (RIL 201-1-2011, 158)

$$\frac{h}{d} = \frac{7.8 \text{ m}}{11.5 \text{ m}} = 0.678$$

$$c_{pi} = -0.08, \text{ kun } h/d \leq 0.25$$

$$c_{pi} = -0.16, \text{ kun } h/d > 1$$

Interpoloidaan kertoimen  $c_{pi}$  arvo väliarvolle  $h/d = 0.678$ .

$$c_{pi} = -0.137$$

Negatiivinen  $c_{pi}$ :n arvo tarkoittaa, että tuuli aiheuttaa sisäseiniin imua.

Seuraavaksi lasketaan vyöhykkeiden nettopaine kertoimet ja niiden perusteella lopulliset tuulenpainet. Saadut arvot on esitetty taulukossa 5. Nettopaine kertoimien laskennassa on huomioitava se, onko kyseessä imu vai paine (-/+).

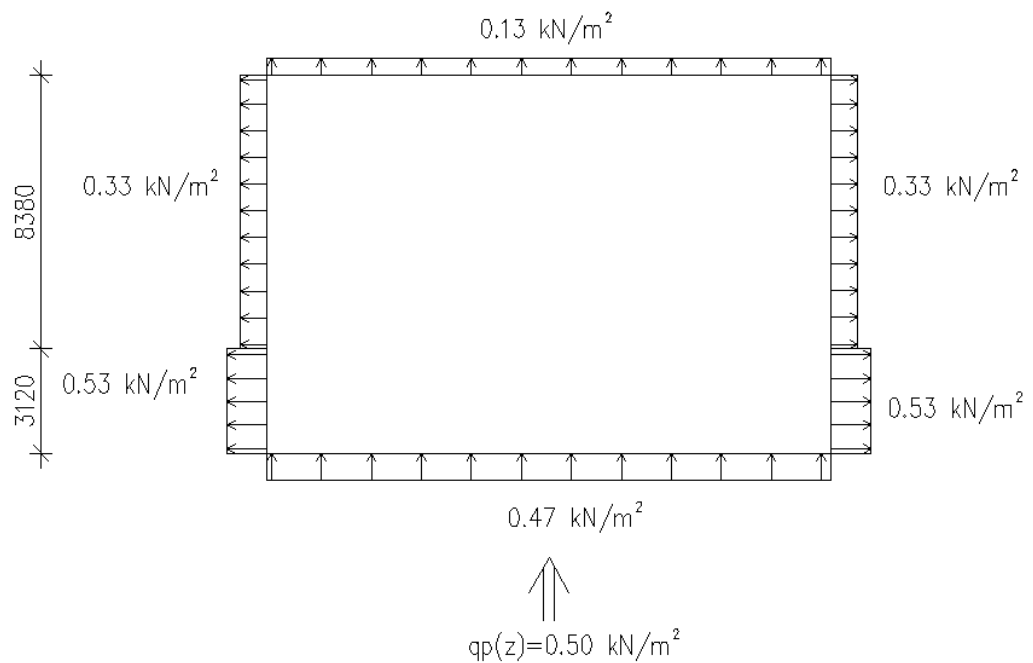
TAULUKKO 5. Vyöhykkeiden nettopainekertoimet ja lopulliset tuulenpainheet

	A	B	D	E
$c_{pe}$	-1.2	-0.8	0.8	-0.4
$c_{pi}$	-0.137	-0.137	-0.137	-0.137
$c_{p,net}$	-1.063	-0.663	0.937	-0.263
$w_{net} = q_p(z) \cdot c_{p,net}$	0.53 kN/m <sup>2</sup>	0.33 kN/m <sup>2</sup>	0.47 kN/m <sup>2</sup>	0.13 kN/m <sup>2</sup>

$$w_{net} = q_p(z) \cdot c_{p,net}$$

$$w_{net,A} = 0.50 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.063 = 0.53 \text{ kN/m}^2$$

Saatujen tuulenpaineeiden perusteella piirretään tuulivoimakuvaaja, jossa näkyy tuulenpaineeet vyöhykkeittään (kuva 8).



Kuva 8. Tuulen nettopaineeet, kun tuulee pitkälle sivulle.

**Tuuli lyhyelle sivulle**

Lasketaan pintapaineet, kun tuuli puhaltaa lyhyemmälle sivulle.

Rakennuksen mitat:

$$h = 7.8 \text{ m}$$

$$b = 11.5 \text{ m}$$

$$d = 17 \text{ m}$$

Määritetään seinien vyöhykkeet kuvan 6 avulla.

$$e = \min(b; 2h) = b = 11.5 \text{ m}$$

$e < d \Rightarrow$  Tässä tapauksessa päädyille tulee kolme vyöhykettä A, B ja C.

Vyöhykkeen A pituus:

$$\frac{e}{5} = \frac{11.5 \text{ m}}{5} = 2.3 \text{ m}$$

Vyöhykkeen B pituus:

$$\frac{4}{5}e = \frac{4}{5} \cdot 11.5 \text{ m} = 9.2 \text{ m}$$

Vyöhykkeen C pituus:

$$d - e = 17 \text{ m} - 11.5 \text{ m} = 5.5 \text{ m}$$

Määritetään ulkopuolisen paineen kertoimet taulukosta 3. Saadut arvot on esitetty taulukossa 6.

$$\frac{h}{d} = \frac{7.8 \text{ m}}{17 \text{ m}} = 0.459$$

TAULUKKO 6. Vyöhykkeiden ulkopuolisen paineen kertoimet

Vyöhyke	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1.2	-0.8	-0.5	0.8	-0.4

Seuraavaksi määritetään sisäpuoliset painekertoimet:

Rakennuksessa ei ole määrääviä seiniä, joten sisäpuolinen painekerroin, määritetään aukkosuhteen avulla. Oletetaan, että kaikki seinät ovat yhtä tiiviitä, joten aukkosuhde saadaan suoraan seinien suhteilla.

Aukkosuhde:

$$\mu = \frac{\Sigma \text{niiden aukkojen pinta-ala, joiden kohdalla } c_{pe} \leq 0.0}{\Sigma \text{kaikkien aukkojen pinta-ala}}$$

$$\mu = \frac{2 \cdot d + b}{2 \cdot d + 2 \cdot b} = \frac{2 \cdot 17 \text{ m} + 11.5 \text{ m}}{2 \cdot 17 \text{ m} + 2 \cdot 11.5 \text{ m}} = 0.8$$

Sisäisen paineen kerroin kuvasta 7:

$$\frac{h}{d} = \frac{7.8 \text{ m}}{17 \text{ m}} = 0.459$$

$$c_{pi} = -0.18, \text{ kun } h/d \leq 0.25$$

$$c_{pi} = -0.29, \text{ kun } h/d > 1$$

Interpoloidaan kertoimen  $c_{pi}$  arvo väliarvolle  $h/d = 0.459$ .

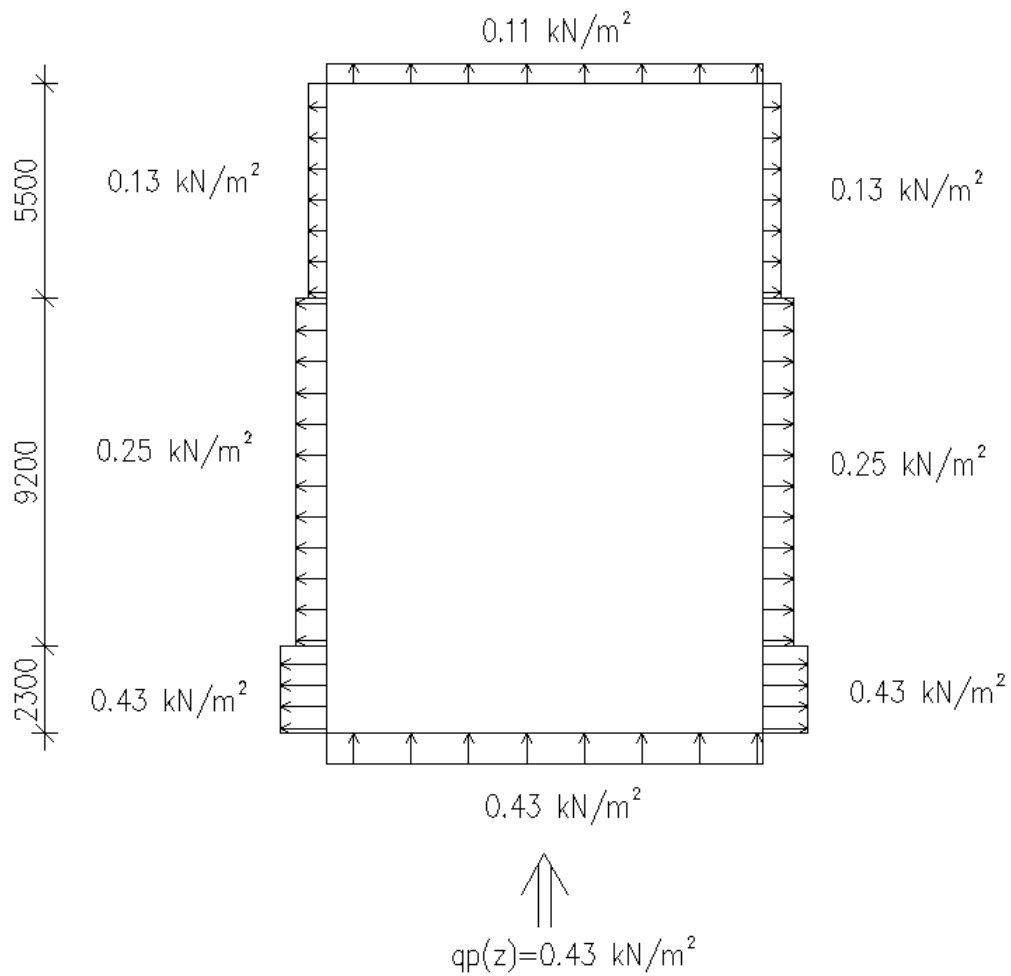
$$c_{pi} = -0.207$$

Seuraavaksi lasketaan vyöhykkeiden nettopainekertoimet ja niiden perusteella lopulliset tuulenpaineet. Saadut arvot on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Vyöhykkeiden nettopainekertoimet ja lopulliset tuulenpaineet

	A	B	C	D	E
$c_{pe}$	-1.2	-0.8	-0.5	0.8	-0.4
$c_{pi}$	-0.207	-0.207	-0.207	-0.207	-0.207
$c_{p,net}$	-0.993	-0.593	-0.293	1.007	-0.263
$w_{net}$	0.43 kN/m <sup>2</sup>	0.25 kN/m <sup>2</sup>	0.13 kN/m <sup>2</sup>	0.43 kN/m <sup>2</sup>	0.11 kN/m <sup>2</sup>

Saatujen tuulenpaineiden perusteella piirretään tuulivoimakuvaaja, jossa näkyy tuulenpaineet vyöhykkeittäin (kuva 9).



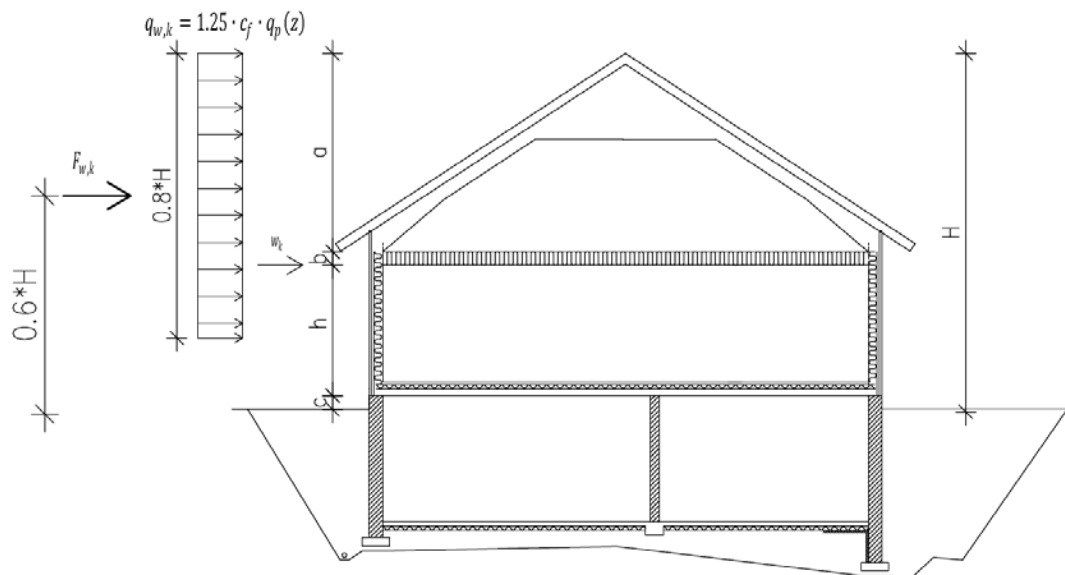
KUVA 9. Tuulen nettopaineet, kun tuulee lyhyelle sivulle



**Laskutehtävä C**

Mitoita rakennuksen jäykistys vaakakuormia vastaan. Mitoitetaan päätyseinien (tuuli pitkälle sivulle) levyjäykistys.

Lasketaan ensin viivakuorma, joka kohdistuu seinän yläjuoksun tasoon (kuva 10).



KUVA 10. Seinän yläreunan viivakuorman määrittäminen

$F_{w,k} = 96.4 \text{ kN}$	kohdassa 2A laskettu kokonaistuulivoima pitkälle sivulle
$c_f = 1.174$	voimakertoimen arvot pitkälle sivulle
$H = 7.8 \text{ m}$	rakennuksen korkeus
$a = 4.3 \text{ m}$	yläpohjan projektion korkeus
$b = 0.3 \text{ m}$	välipohjan korkeus
$h = 2.9 \text{ m}$	jäykistävän seinän korkeus
$c = 0.3 \text{ m}$	sokkelin korkeus
$L = 17 \text{ m}$	rakennuksen leveys

Kun tuulivoimaresultantti, joka vaikuttaa korkeudella  $0.6H$ , muutetaan jakaantuneeksi kuormaksi, saadaan jakaantuneen kuorman korkeudeksi  $0.8H$ . Tämän perusteella kokonaistuulivoima voidaan muuttaa jakaantuneeksi kuormaksi kertoimen  $1.25$  avulla.

17 (25)

Kokonaistuulivoimaa  $F_{w,k}$  vastaava jakaantunut tuulikuorma:

$$q_{w,k} = \frac{F_{w,k}}{0.8 \cdot A_{ref}} = 1.25 \cdot c_f \cdot q_p(z) = 1.25 \cdot 1.43 \cdot 0.50 \text{ kN/m}^2 = 0.89 \text{ kN/m}^2$$

Yläjuoksun tasoon kohdistuva viivakuorma:

$$w_k = q_{w,k} \cdot (0.8 \cdot H) = 0.89 \text{ kN/m}^2 \cdot (0.8 \cdot 7.8 \text{ m}) = 5.6 \text{ kN/m}$$

Kyseinen viivakuorma jaetaan kahdelle päädyille, jolloin saadaan yhteen jäykistävään seinään kohdistuva leikkausvoima.

$$F_v = w_k \cdot \frac{L}{2} = 5.6 \text{ kN/m} \cdot \frac{17 \text{ m}}{2} = 47.6 \text{ kN}$$

### Levyjäykistys

Jäykistävänä levynä toimii 9 mm tuulensuojavaneri. Liittiminä käytetään 2.8x75 kokenauloja.

Lähtötiedot:

$t = 9 \text{ mm}$	vanerilevyn paksuus
$d = 2.8 \text{ mm}$	naulan halkaisija
$h = 2900 \text{ mm}$	seinän korkeus
$b_i \leq \frac{h}{4} = \frac{2900 \text{ mm}}{4} = 725 \text{ mm}$	jäykistävän lohkon minimileveys

Naulan leikkauskestävyys:

$$F_{f,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_l \cdot 120 \cdot d^{1.7}$$

Katsotaan kertoimet  $k_{mod}$  ja  $\gamma_M$  taulukoista 8 ja 9.

TAULUKKO 8. Muunnoskerroimen  $k_{mod}$  arvot (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 17)

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, Pyöreä puu, Liimapuu, LVL, Vaneri	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90
Lastulevy P4 <sup>1)</sup> , OSB/2 <sup>1)</sup> , Kova kuitulevy EN 622-2	1	0,30	0,65	1,10
	2	0,20	0,45	0,80
Lastulevy P6 <sup>1)</sup> , OSB/3 ja OSB/4	1	0,40	0,70	1,10
	2	0,30	0,55	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA <sup>1)</sup> , MBH.HLS, MDF.LA <sup>1)</sup> ja MDF.HLS	1	0,20	0,60	1,10
	2	-	-	0,80

Koska tuulikuorma on määrävänä kuormana, valitaan hetkellinen aikaluokka.

$$k_{mod} = 1.1$$

TAULUKKO 9. Materiaalien osavarmuusluku  $\gamma_M$  (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 15)

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

Osavarmuusluku  $\gamma_M$  valitaan runkotolpan materiaalin mukaan.

$$\gamma_M = 1.4$$

Kerroin  $k_l$ :

$$k_l = \left(0.5 + \frac{t}{12d}\right) \cdot k_\rho, \text{ edellyttäen, että } t \geq 2d \text{ ja } d \leq 5\text{mm}$$

$$k_\rho = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} = \sqrt{\frac{350}{350}} = 1.0$$

$\rho_k =$  liitospuun tiheyden ominaisarvo  $350 \text{ kg/m}^3$

$$k_l = \left(0.5 + \frac{9 \text{ mm}}{12 \cdot 2.8 \text{ mm}}\right) \cdot 1.0 = 0.768$$

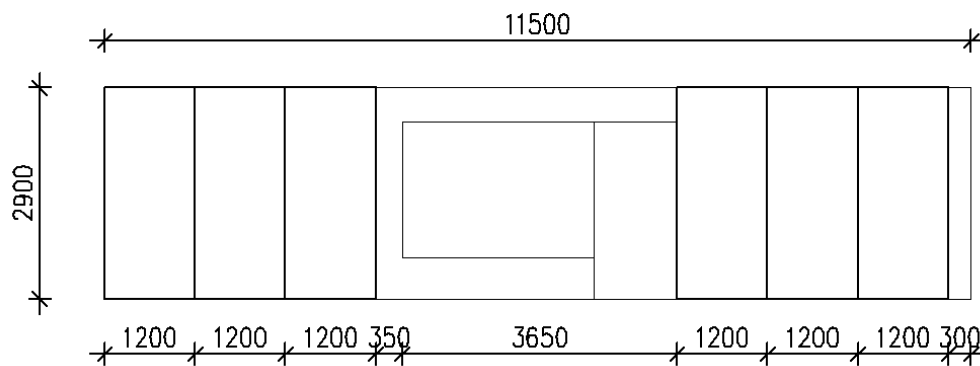
Naulan leikkauskestävyys levyssä:

$$F_{f,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_l \cdot 120 \cdot d^{1.7} = \frac{1.1}{1.4} \cdot 0.768 \cdot 120 \cdot 2.8^{1.7} = 416.8 \text{ kN}$$

Jäykistyslaskennassa naulan leikkauskestävyyttä levyssä saadaan korottaa kertoimella 1.2.

$$F_{f,Rd} = 1.2 \cdot R_d = 1.2 \cdot 416.8 \text{ kN} \approx 500 \text{ kN}$$

Seuraavaksi jaetaan jäykistävä seinä lohkoihin levyjaon mukaan (kuva 11). Alle 725 mm leveitä lohkoja ei huomioida jäykistyksessä.



KUVA 11. Jäykistävän seinän levyjako

Seinälohkon leikkausvoimakestävyys:

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{s}$$

$b_1 = 1200 \text{ mm}$  lohkon leveys

$s = 40 \text{ mm}$  liitinväli

$$c_i = \begin{cases} 1, & \text{kun } b_i \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2b_i}{h}, & \text{kun } b_i < \frac{h}{2} \end{cases}$$

$$\frac{h}{2} = \frac{2900 \text{ mm}}{2} = 1450 \text{ mm}$$

$$c = \frac{2 \cdot 1200 \text{ mm}}{2900 \text{ mm}} = 0.828$$

$$F_{1,v,Rd} = \frac{500 \text{ kN} \cdot 1.20 \text{ m} \cdot 0.828}{0.04 \text{ m}} = 12.4 \text{ kN}$$

Summataan seinälohkojen leikkausvoimakestävyydet, jotta saadaan koko seinän leikkausvoimakestävyys. Kuten kuvasta 2 nähdään, seinälohkoja on 6 kappaletta.

$$F_{v,Rd} = \Sigma F_{i,v,Rd} = 6 \cdot 12.4 \text{ kN} = 74.5 \text{ kN}$$

Tarkastetaan, että seinän leikkausvoimakestävyys täyttää mitoitus ehdon. Käytetään tuulikuormalle laskennallista arvoa, eli kerrotaan se eurokoodin mukaisella varmuuskerrotoimella 1.5.

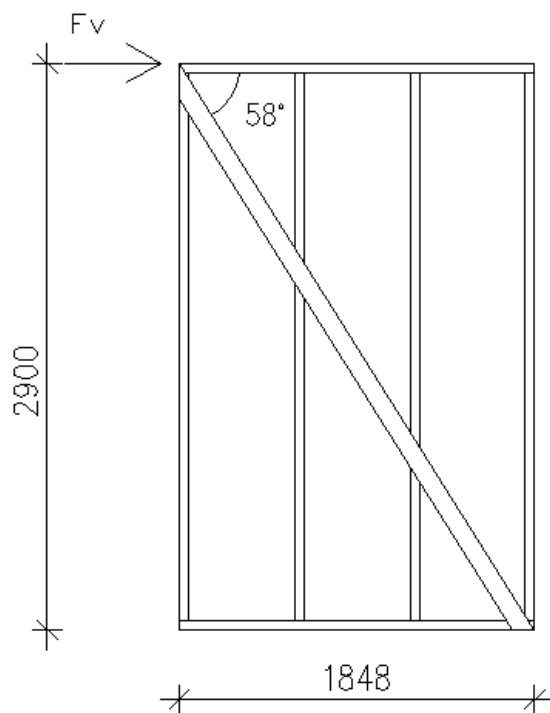
$$\frac{1.5 \cdot F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{1.5 \cdot 47.6 \text{ kN}}{74.5 \text{ kN}} = 0.93 < 1.0 \text{ OK}$$

### Laskutehtävä D

Mitoitetaan pidemmän sivun työnaikainen jäykistys vinosidejäykistykseenä tilanteessa, jossa toinen ensimmäisen kerroksen päädyistä on jo levytetty ja näin ollen kerää tuulikuormaa.

### Vinosidejäykistys

Valitaan siteeksi 22x100 lauta, lujuusluokka C24. Lautaa naulataan kiinni ylä- ja alajuoksuihin niin, että se kulkee neljän runkotolpan halki (kuva 12). Lasketaan vinositeen kestävyys sekä veto- että puristusrasitukselle.



KUVA 12. Vinositeen sijoitus

Aloitetaan määrittämällä seinän yläjuoksun tasoon vaikuttava leikkausvoima  $F_{v,Ed}$ . Koska työnaikaisessa tilanteessa vain päädyn ensimmäinen kerros on levytetty, niin lasketaan päädyn kohdistuva kokonaistuulivoima ensimmäisen kerroksen pinta-alalle ja käytetään tätä voimaa mitoittavana leikkausvoimana. Käytetään taas laskennallista arvoa, eli kerrotaan leikkausvoima varmuuskertoimella 1.5.

22 (25)

$$F_{v,Ed} = 1.5 \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot (2.9 \text{ m} \cdot 11.5 \text{ m}) = 1.174 \cdot 0.43 \text{ kN/m}^2 \cdot 33.35 \text{ m}^2$$

$$= 25.3 \text{ kN}$$

Vinositeeseen kohdistuva rasitus

$$F_{side} = \frac{F_{v,Ed}}{\cos \alpha} = \frac{25.3 \text{ kN}}{\cos 58^\circ} = 47.7 \text{ kN}$$

Siteeseen kohdistuva jännitys

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{side}}{A} = \frac{47.7 \cdot 10^3 \text{ N}}{22 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}} = 21.7 \text{ N/mm}^2$$

### Vetokestävyys

Lasketaan vinositeen vetolujuuden mitoitusarvo.

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

Katsotaan kaavassa esiintyvät muuttujat taulukoista 10, 11 ja 12.

TAULUKKO 10. Aikavaikutuskertoimen  $k_{mod}$  arvot (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 17)

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, Pyöreä puu, Liimapuu, LVL, Vaneri	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90
Lastulevy P4 <sup>3)</sup> , OSB/2 <sup>3)</sup> , Kova kuitulevy EN 622-2	1	0,30	0,65	1,10
	2	0,20	0,45	0,80
Lastulevy P6 <sup>3)</sup> , OSB/3 ja OSB/4	1	0,40	0,70	1,10
	2	0,30	0,55	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA <sup>3)</sup> , MBH.HLS, MDF.LA <sup>3)</sup> ja MDF.HLS	1	0,20	0,60	1,10
	2	-	-	0,80

23 (25)

TAULUKKO 11. Materiaalien osavarmuusluku  $\gamma_M$  (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 15)

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

TAULUKKO 12. Sahatavaran ja liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet yleisimmissä lujuusluokissa. (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 17)

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu	
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL28c	GL32c
Ominaislujuudet (N/mm <sup>2</sup> )						
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	28	32
Veto	$f_{t,0,k}$	11	14	18	16,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	23	24	26,5
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,7	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	2,7	3,2
Jäykkyysominaisuudet (N/mm <sup>2</sup> )						
Kimmomoduuli	$E_{mean}$	9000	11000	12000	12600	13700
	$E_{90,mean}$	300	370	400	390	420
Liukumoduuli	$G_{mean}$	560	690	750	720	780
Tiheydet (kg/m <sup>3</sup> )						
Ominaistiheys	$\rho_k$	320	350	380	380	410
Tiheyden keskiarvo	$\rho_{mean}$	380	420	460	430	470

$$k_{mod} = 1.1$$

$$\gamma_M = 1.4$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d} = 1.1 \cdot \frac{14 \text{ N/mm}^2}{1.4} = 11 \text{ N/mm}^2$$



Tarkistetaan mitoitus ehdon perusteella montako sidettä tarvitaan:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} < 1.0 \Rightarrow \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{21.7 \text{ N/mm}^2}{11 \text{ N/mm}^2} = 1.97 \approx 2$$

Yksi side molemmille sivuille riittää.

### Puristussauva

Lasketaan vinositeen puristuslujuuden mitoitusarvo

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 1.1 \cdot \frac{21 \text{ N/mm}^2}{1.4} = 16.5 \text{ N/mm}^2$$

Seuraavaksi määritetään nurjahduspituus  $L_c$  taulukosta 13.

TAULUKKO 13. Puristussauvan nurjahduspituuksia (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 26; liite 4)

Tuentatapa	Nurjahduspituus $L_c$
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta ja nivelellisesti toisesta päästään (esim. jäykkäkantainen hallin päädyn "tuulipilari")	0,85 $L$
Sauva on nivelöity molemmista päistään (normaali tapaus)	1,0 $L$
Sauva on poikittaistuettu nurjahduksen suunnassa välein $a$	1,0 $a$
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästään ja on vapaa toisesta päästään ("mastopilari")	2,5 $L$

Vinoside naulataan jokaiseen neljään runkotolppaan, joten nurjahduspituus on  $L_c = 1.0a$ .

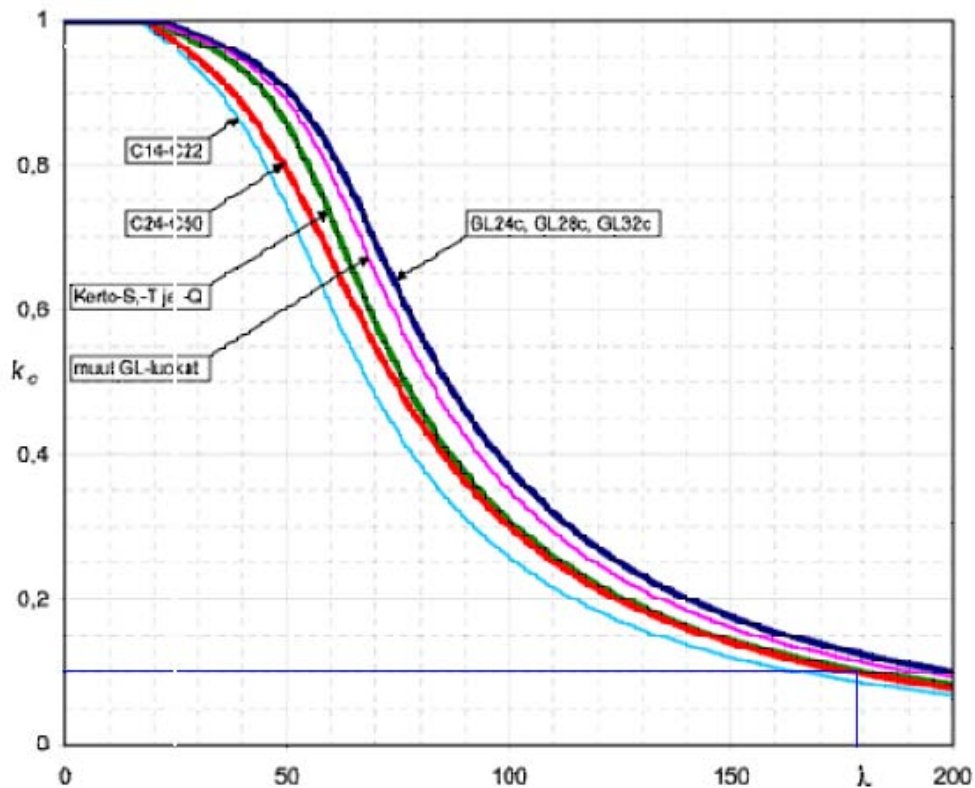
$$L_c = 1.0a = 1.0 \cdot \frac{600 \text{ mm}}{\cos 58^\circ} = 1132 \text{ mm}$$

25 (25)

Seuraavaksi määritetään hoikkuusluku. Vinosidettä ei ole tuettu heikompaan suuntaan, joten  $h = 22$  mm.

$$\lambda = \frac{L_c}{i} = \frac{L_c}{\frac{h}{\sqrt{12}}} = \frac{1132 \text{ mm}}{\frac{22 \text{ mm}}{\sqrt{12}}} = 178.3$$

Määritetään nurjahduskerroin  $k_c$  hoikkuusluvun  $\lambda$  avulla kuvasta 13.



KUVA 13. Nurjahduskerroimen määrittäminen (Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje, 27).

$$k_c = 0.1$$

Tarkistetaan puristuskestävyyden mitoitus ehdon perusteella kuinka monta sidettä tarvitaan.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} < 1.0 \Rightarrow \frac{10.42 \text{ N/mm}^2}{0.1 \cdot 16.5 \text{ N/mm}^2} = 13.1$$

Tarvitaan seitsemän sidettä molemmille sivuille.