

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# PIENTALON KUORMITUSTEN LAS- KENTAA JA RAKENTEIDEN VER- TAILUA EXCEL-OHJELMAN AVULLA

TEKIJÄ/T Arttu Lehtola

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Arttu Lehtola	
Työn nimi Pientalon kuormitusten laskentaa ja rakenteiden vertailua Excel-ohjelman avulla	
Päiväys 5.4.2022	Sivumäärä/Liitteet 35/10
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Haloo Arkkitehdit Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä tavoitteena oli laatia Haloo Arkkitehdit Oy:lle pientalojen kuormitusten laskentaan muokattavissa oleva laskentapohja. Laskentapohjan tarkoituksena olisi tehostaa laskentaa ja luoda helppokäyttöinen ohjelma, jonka avulla kokemattomat rakennesuunnittelijat saisivat käsityksen pientalon suunnittelussa vaadittavista laskelmista. Tavoitteena oli myös kehittää työn tekijän ammattitaitoa rakennesuunnittelussa ja rakennesuunnittelussa käytettävien apuohjelmien käytössä. Opinnäytetyössä esimerkkikohteena toimi Kuopion vuoden 2022 aikana rakennettava rankarunkoinen pientalo.</p> <p>Opinnäytetyössä tarkastelun kohteena olivat pientaloon kohdistuvat pysty- ja vaakakuormat ja niiden määrittäminen. Lumikuormat, oma painot ja hyötykuorma ovat pientaloon kohdistuvia pystykuormia. Vaakakuormista keskityttiin merkittävimpään eli tuulikuormaan. Lisäksi opinnäytetyössä perehdyttiin pientalon jäykistämiseen. Työn aluksi perehdyttiin pientalon mitoitusmääräyksiin ja ohjeisiin sekä materiaalivalmistajien mitoitusohjeisiin. Aineistojen avulla aloitettiin kokoamaan laskentapohjaa. Laskentapohjaksi tehtiin Excel-ohjelmaan laskentataulukoita. Lisäksi opinnäytetyön raportissa on perehdytty tarkemmin pientalon suunnitteluun. Excel-ohjelmassa ja liitteissä tehty rakenteiden mitoitus ja kuormien laskenta tehtiin Eurokoodien mukaisesti.</p> <p>Työ tuotoksena saatiin toimiva Excel-ohjelmaan tehty laskentataulukko, jota voidaan hyödyntää vähällä soveltamisella monenlaisten pientalojen laskennassa, sekä opinnäytetyöraportti, jota kokemattomat rakennesuunnittelijat voivat hyödyntää pikaohjeena pientalojen suunnittelussa. Yrityksen ja tekijän tavoitteet opinnäytetystä täyttyivät erinomaisesti. Laskentapohjaa tullaan käyttämään yrityksessä pientalojen kuormitusten laskennassa ja raporttia voidaan hyödyntää apuna laskentapohjan ymmärtämisessä.</p>	
Avainsanat kuormat, pientalo, puurakenteet	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author Arttu Lehtola	
Title of Thesis Calculation of Detached House Loads and Comparison of Structures Using Excel	
Date March 3, 2022	Pages/Appendices 35/10
Client Organisation Haloo Arkkitehdit Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The objective of this thesis was to create a customizable calculating tool to calculate the loads of the detached houses for architecture firm Haloo Arkkitehdit Oy. The purpose of the tool was to make calculation more effective and create an easy-to-use program that would allow inexperienced civil engineers to gain understanding of the structural design of a detached house. Another objective was to develop the author's professional skills in structural design and in the utility programs used in structural design. As a pilot project in the thesis was a house to be built in Kuopio during 2022.</p> <p>First, the vertical and horizontal loads of the detached house were examined and determined. Snow loads, dead weights of the structures and payloads are vertical loads on a detached house. In horizontal loads the focus was on the most significant, i.e. wind load. The stiffening of a detached house was also examined. Material was collected on the topic and it was used to make the calculation tool for Excel. In addition, the design of the detached house was discussed in more detail.</p> <p>As a result was a working calculation tool made in Excel. The tool can be utilized with little customization in the calculation of a wide range of detached houses. The goals of the thesis were fully met. The calculation tool will be used by the company to calculate the loads on detached houses.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>loads, detached house, wooden structures</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	KUORMAT .....	7
2.1	Lumikuormat .....	7
2.2	Oma painot .....	13
2.3	Hyötykuormat .....	14
2.4	Tuulikuormat .....	15
3	JÄYKISTYS .....	19
3.1	Levyjäykistys .....	19
3.2	Alapaarretason jäykistys .....	21
3.3	Yläpaarretason jäykistys .....	24
4	EXCEL-OHJELMAN ESITTELY .....	25
4.1	Lähtötiedot .....	25
4.2	Kuormat .....	25
4.3	Jäykistys .....	27
4.4	Tuulensuojalevyjen jäykistyskapasiteettien vertailutaulukko .....	29
4.5	Alapaarretason vinolaudoitus .....	29
4.6	Kantavien linjojen kuormat .....	31
5	ESIMERKKIKOHDE .....	32
5.1	Lähtötiedot .....	32
5.2	Rakenneratkaisut .....	33
	LÄHTEET .....	35
6	LIITTEET .....	36

## KUVALUETTELO

KUVA 1.	Lumen ominaiskuormat maanpinnalla, yksikkö kN/m <sup>2</sup> (1, s. 98) .....	8
KUVA 2.	Lumikuorman kuormituskaavio pulpettikatolla (1, s. 102) .....	10
KUVA 3.	Harjakaton lumikuorman kuormituskaavio (1, s. 102) .....	10
KUVA 4.	Korkeampaa rakennusosaa vasten olevien kattojen muotokertoimet (1, s. 106) .....	12
KUVA 5.	Sahakaton lumikuorman kuormituskaaviot (1, s. 103) .....	13
KUVA 6.	Maastoluokat (1, s. 131) .....	17
KUVA 7.	Jäykistävät seinälohkot (3, s. 7) .....	19

KUVA 8. Periaatekuva alapaarretason jäykistyksestä vinolaudoituksella (4, s. 120) .....	22
Kuva 9. Vinolaudoitus NR-ristikon yläpaarteen alapintaan. (9, s. 15) .....	24
Kuva 10. Yläpaarretasolle tuleva tuulikuorma. (9, s. 21) .....	24
KUVA 11. Rakennuksen mitat Excel-ohjelmassa .....	25
KUVA 12. Yläpohjan oma painon laskentataulukko Excel-ohjelmassa .....	25
KUVA 13. Lumikuorman laskentataulukkoa Excel-ohjelmassa .....	26
KUVA 14. Korotetun lumikuorman laskentataulukko Excel-ohjelmassa .....	26
KUVA 15. Tuulikuorma laskentataulukko Excel-ohjelmassa.....	27
KUVA 16. 1-kerroksinen rakennuksen jäykistävien seinien kuormien laskentataulukko Excel-ohjelmassa .....	28
KUVA 17. 2-kerroksinen rakennuksen jäykistävien seinien kuormien laskentataulukko Excel-ohjelmassa .....	28
KUVA 18. Tuulensuojalevyjen jäykistyskapasiteettitaulukko.....	29
KUVA 19. Vinolaudoituksessa käytettävien lautojen kestävyden laskentataulukko Excel-ohjelmassa .....	30
KUVA 20. Vinolaudoituksen ja lautajaon laskentataulukko Excel-ohjelmassa.....	30
KUVA 21. Naulan leikkauskestävyys ja tarvittava naulamäärä vinosidelaudalle .....	31
KUVA 22. Kantavien linjojen kuormat .....	31
KUVA 23. Esimerkkikohteen pohjakuva .....	32
KUVA 24. Esimerkkikohteen leikkauskuva .....	33
KUVA 25. Esimerkkikohteen ristikkokaavio. ....	34

#### TAULUKKOLUETTELO

TAULUKKO 1. Katon tuulensuojaisuuskertoimen arvot $C_e$ (2, s. 17) .....	9
TAULUKKO 2 Lumikuorman muotokertoimet, kun lunta ei estetä liukumasta (1, s. 102) .....	9
TAULUKKO 3. Rakennusten hyötykuormat (2, s. 5) .....	14
TAULUKKO 4. Suorakulmaisen rakennuksen tehollinen hoikkuusluku $\lambda$ (1, s. 140) .....	15
TAULUKKO 5. Voimakerroin $c_f$ numeerisesti esitettynä. (1, s. 141) .....	16
TAULUKKO 6. Voimakertoimen $c_f$ määrittäminen graafisesti (1, s. 141) .....	16
TAULUKKO 7. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo maastoluokissa graafisesti (1, s. 136).....	18
TAULUKKO 8. Puuskanopeuspaineen ominaisarvo maastoluokissa numeerisesti (1, s. 137).....	18
TAULUKKO 9. Gyproc Oy:n kipsilevyjen jäykistyskapasiteetit, kun levyn korkeus on 2,4metriä (3, s. 8) .....	20

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyöraportin tavoitteena oli tarkastella rankarunkoisen puurakenteisen pientalon kuormituksia ja niiden laskentaa ja dokumentoida se siten, että työn tilaajan uudet kokemattomat rakennesuunnittelijat voivat hyödyntää työtä pikaohjeena vastaavanlaisten pientalojen suunnittelussa. Opinnäytetyön tuotoksena on tavoitteen mukaan muodostaa pientalon kuormitusten laskentaa varten Excel-laskentapohja, jonka on tarkoitus tehostaa tilaajan rakennesuunnittelua. Laskentapohjan idea on olla helppokäyttöinen, että sitä voi hyödyntää myös uudet kokemattomimmat rakennesuunnittelijat.

Pientalon mitoituksessa huomioitavat kuormitukset käydään läpi opinnäytetyössä. Lisäksi käydään läpi rakennuksen jäykistämistä levyjäykisteellä ja yläpohjan vinolaudoituksella. Tarkemmat laskelmat tehdään myös Excel-ohjelman laskentapohjaan. Laskelmat tehdään opinnäytetyössä pilottihankkeena toimivaan pientaloon. Laskentapohjaan on tavoitteena luoda rakennuksen mittojen perusteella mahdollisimman paljon laskentaa suorittavat taulukot, jotta sitä pystytään hyödyntämään myös muissa vastaavan tyyppisissä kohteissa.

## 2 KUORMAT

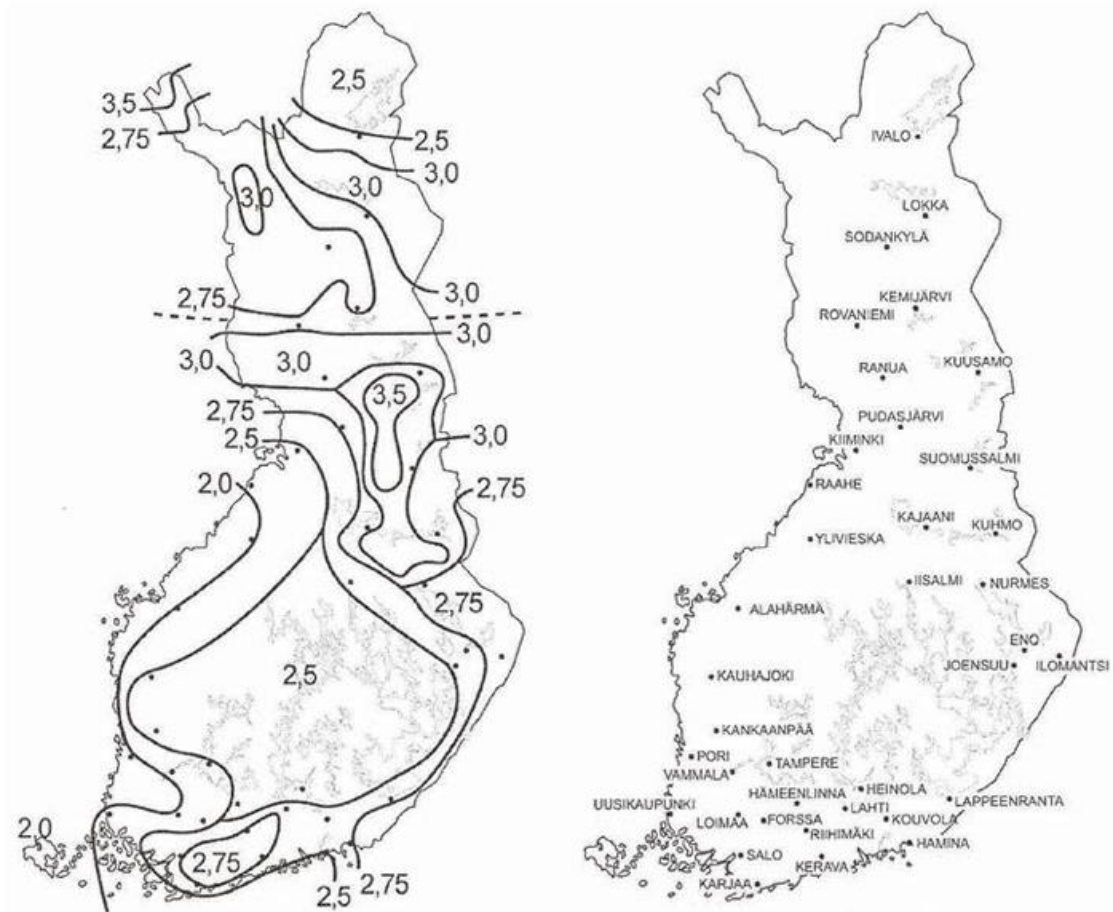
Puurankaisen pientalon suunnittelussa tulee hyödyntää standardia SFS-EN 1991 ja sen kansallisista liitteitä ja RIL 201-1-2017, sillä niistä saadaan suunnittelussa käytettävät kuormat. Myös tarkemmin kuormia läpikäydessä on käytetty lähteenä RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat – kirjaa, joka on lyhennetty ohje eurokoodistandardeista EN1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Kirjan on julkaissut Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, vuonna 2017.

Pientaloon kohdistuvat kuormat ovat pysty- ja vaakakuormia. Kuormien luokkia ovat pysyvät kuormat, muuttavat kuormat ja onnettomuuskuormat. Pysyviä kuormia rakennuksissa on esim. rakenteiden omat painot ja kiinteiden laitteiden ja huonekalujen omat painot, jotka vaikuttavat jatkuvasti ilman ajallista vaihtelua. Pientalossa pysyvät kuormat johtuvat yleensä ulko- ja väliseinistä, ylä-, alaja välipohjista. Muuttuvia kuormia ovat esim. rakennuksen välipohjaan, palkkeihin ja vesikattoon kohdistuvat hyötykuormat, lumikuormat ja tuulikuormat. Myös kevyet väliseinät, kalusteet ja ihmiset aiheuttavat muuttuvia kuormia. Kuormia luokitellaan myös, välittömiksi kuormiksi tai välillisiksi kuormiksi, kiinteiksi kuormiksi tai liikkuviksi kuormiksi ja staattisiksi kuormiksi tai dynaamisiksi kuormiksi. Kuorman kiinteys tai liikkuvuus määräytyy sen mukaan vaikuttaako kuorma aina kiinteästi samassa kohdassa vai onko se liikkuva. Pientalossa kuormat ovat käytännössä staattisia kuormia. Onnettomuuskuormat ovat dynaamisia kuormia, ja niitä ei yleensä tarvitse huomioida pientalosuunnittelussa.

### 2.1 Lumikuormat

Rakennukseen kohdistuvan lumikuorman määrittäminen tapahtuu standardissa SFS-1991-1-3 Osa 1-3: Rakenteiden kuormat - Yleiset kuormat: Lumikuormat. Sijainti, kaltevuus, katon muoto ja lumen kiinnostuminen vaikuttavat katolle tulevaan lumikuormaan.

Katon lumikuorman määrittämiseksi on tiedettävä rakennuksen maantieteellisen sijainnin mukainen maanpinnan lumikuorma  $S_k$ . Maassa olevan lumikuorman ominaisarvo toistuu tai ylittyy keskimäärin 50-vuoden välein, eli sen vuosittaisen ylittymisen keksimääräinen todennäköisyys on 0,02. Maanpinnan lumikuorman mukaiset ominaisarvot voidaan katsoa kuvasta 1. Jos rakennuspaikka sijaitsee alueella, missä arvo ei ole vakio, väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti suhteessa etäisyyksiin lähimmistä käyristä.



KUVA 1. Lumen ominaiskuormat maanpinnalla, yksikkö kN/m<sup>2</sup> (1, s. 98)

Lumi voi kinostua katolla useisiin erilaisiin muotoihin, mikä pitää ottaa huomioon suunnittelussa. Ominaisuuksia ja muita tekijöitä, jotka aiheuttavat erilaista kinostumista voivat olla, katon muoto, katon lämpöominaisuudet, katon alla syntyvä lämpömäärä, pinnan karheus, viereisten rakennusten läheisyys, ympäröivä maasto ja paikallinen ilmasto. (1, s. 100)

Katon ominaislumikuorma  $S$  saadaan kaavasta 1. Lumikuormalla tulee kuitenkin käyttää vähintään arvoa  $0,5\text{kN/m}^2$ .

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k \quad (1)$$

missä,

$\mu_i$  = Lumikuorman muotokerroin

$S_k$  = maanpinnalla olevan lumikuorman ominaisarvo (kN/m<sup>2</sup>)

$C_e$  = tuulensuojaiskerroin

$C_t$  = lämpökerroin, jonka arvo on tavallisesti 1,0

Katon tuulensuojaukertoimen arvo  $C_e$  voidaan katsoa taulukosta 1. Taulukosta voidaan nähdä, että tuulisessa maastossa voidaan  $C_e$ :n arvona käyttää 0,8, mutta yleensä käytetään kuitenkin arvoa 1,0. Myös lämpökerrointa  $C_t$  voidaan pienentää tarkemman selvityksen perusteella, jos kattorakenteen lämmöneristys on vähäinen. Kuitenkin tavallisesti lämpökertoimenä käytetään arvoa 1,0.

TAULUKKO 1. Katon tuulensuojaisuuskertoimen arvot  $C_e$  (2, s. 17)

Maastotyyppi	$C_e$
Tuulinen	0,8 (1,0, mikäli lyhyempi sivumitta > 50 m)
Normaali	1,0
Suojainen	1,2

Tuulinen maasto: laakea, esteetön, joka puolelle avoin alue, jolloin maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut eivät suojaa tai suojaavat vain vähän.  
 Normaali maasto: alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.  
 Suojainen maasto: alue, jolla tarkasteltava rakennuskohde on huomattavasti alempana kuin ympäröivä maasto tai se on korkeiden puiden tai itseään korkeampien rakennuskohteiden ympäröimä.

Koska lämpökertoimen ja tuulensuojaukertoimen arvo on yleensä 1,0, pientaloissa käytetään yleensä kaavaa 2.

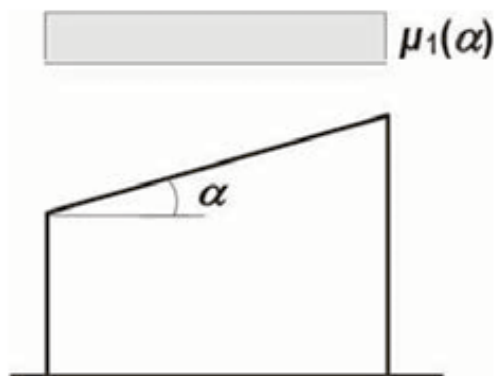
$$S = \mu_i * S_k \quad (2)$$

Katon muotokerroin  $\mu_i$  kanssa tulee erityisen tarkka, kun katto on ulkomuodoltaan sellainen, että se voi aiheuttaa merkittävää lisäystä lumikuorman verrattuna suoraviivaiseen kattoprofiiliin. Pientaloissa on kuitenkin tyypillisesti on pulpetti tai harjakatto, jolloin muotokerroin voidaan katsoa taulukosta 2. Nykyään pientalojen katoille suunnitellaan usein lumiesteet joka lappeelle, jolloin muotokerroin käytetään vähintään arvoa 0,8, koska, jos katolla on lumieste, jokin muu liukumiseste, tai alaräystäällä on kaide, tulee muotokerroin arvona käyttää vähintään kyseistä arvoa. (RIL 201-1-2017, 201, 101)

TAULUKKO 2 Lumikuorman muotokerroimet, kun lunta ei estetä liukumasta (1, s. 102)

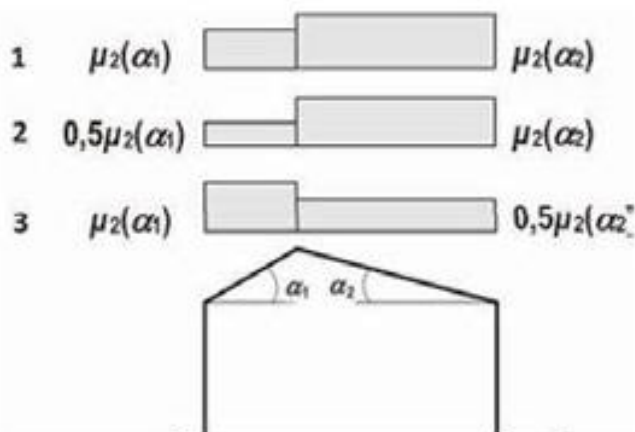
Katon kaltevuuskulma $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1, \mu_2$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_3$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	1,6

Kuvassa 2, esitetään pulpettikaton kuormituskaavio ja muotokerroin kuvassa 2 ja taulukossa 2.



KUVA 2. Lumikuorman kuormituskaavio pulpettikatolla (1, s. 102)

Kuvassa 3 esitetään harjakaton kuormituskaavio ja kuvassa 3 sekä taulukossa 2 harjakaton muotokerroin. Kuvassa 3 näkyy, miten harjakaton epäsymmetrisyys täytyy ottaa huomioon lumikuorman määrittämisessä. Katon suunnittelussa on otettava huomioon lumen poistaminen ja lumen uudelleen jakaantuminen. Ne otetaan huomioon jatkuvia rakenteita suunniteltaessa kuormituskaaviolla, jossa lumikuorma vaihtelee 100% ja 50% välillä eri lappeilla.



KUVA 3. Harjakaton lumikuorman kuormituskaavio (1, s. 102)

Pientaloissa on myös usein tilanteita, joissa katto tulee korkeampaa rakennuskohdetta vasten. Näissä tapauksissa muotokertoimet voidaan katsoa kaavoista 3 ja 4.

$$\mu_1 = \text{määräytyy alemman katon kaltevuuden mukaan} \quad (3)$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \quad (4)$$

missä,

$\mu_s$  = ylemmältä katolta liukuvan lumen aiheuttaman lumikuorman muotokerroin

$\mu_w$  = tuulesta johtuvan lumikuorman muotokerroin

Kinostumis pituus  $l_s$  saadaan kaavasta 5 ja kuvasta 4.

$$l_s = 2h \quad (5)$$

missä,

$h$  = tasoero kattojen välillä

Vaihteluväli kinostumispuiteudella on  $2\text{m} \leq l_s \leq 6\text{m}$ .

Liukumisesta johtuvan lumikuorman muotokerroin:

Kun  $\alpha \leq 15^\circ$ ,  $\mu_s = 0$ .

Kun  $\alpha > 15^\circ$ ,  $\mu_s$  = määritetään lisäkuormasta, joka on 50% ylemmän katon viereisenlaapteen laske-  
tusta maksimilumikuormasta, jos katolla ei ole liukuesteit.

Tuulesta johtuvan kinostumisen muotokerroin kaavasta 6 ja kuvasta 4:

$$\mu_w = (b_1 + b_2)/2h < \gamma h/S_k \quad (6)$$

missä,

$h$  = tasoero kattojen välillä

$b_1$  ja  $b_2$  = rakennuksen osien pituus

$\gamma$  = lumen tilavuuspaino, jolle käytetään arvoa  $2\text{kN/m}^3$

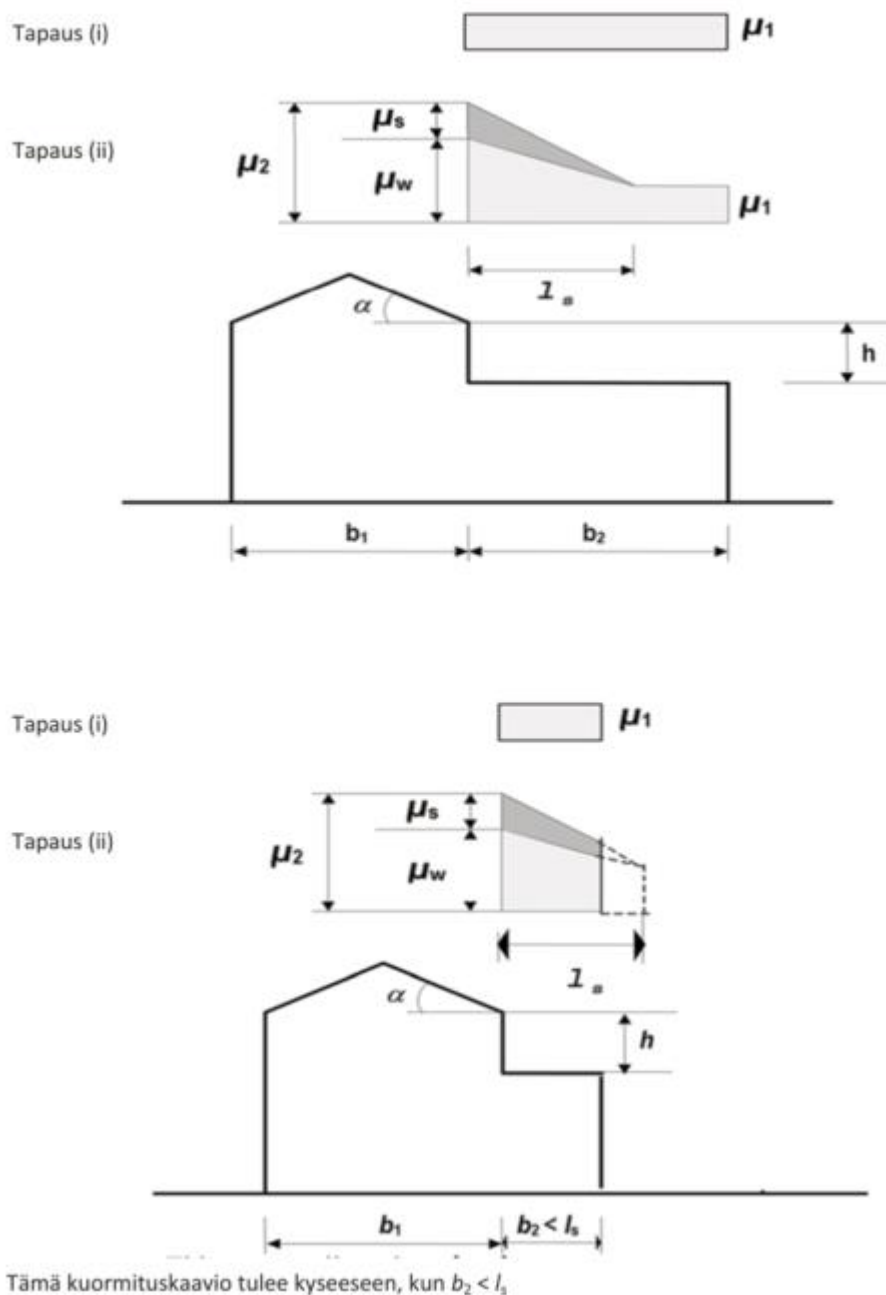
$S_k$  = maan pinnalla olevan lumen ominaiskuorma

Tuulesta johtuvan kinostumisen muotokertoimen vaihteluväli on:

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

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

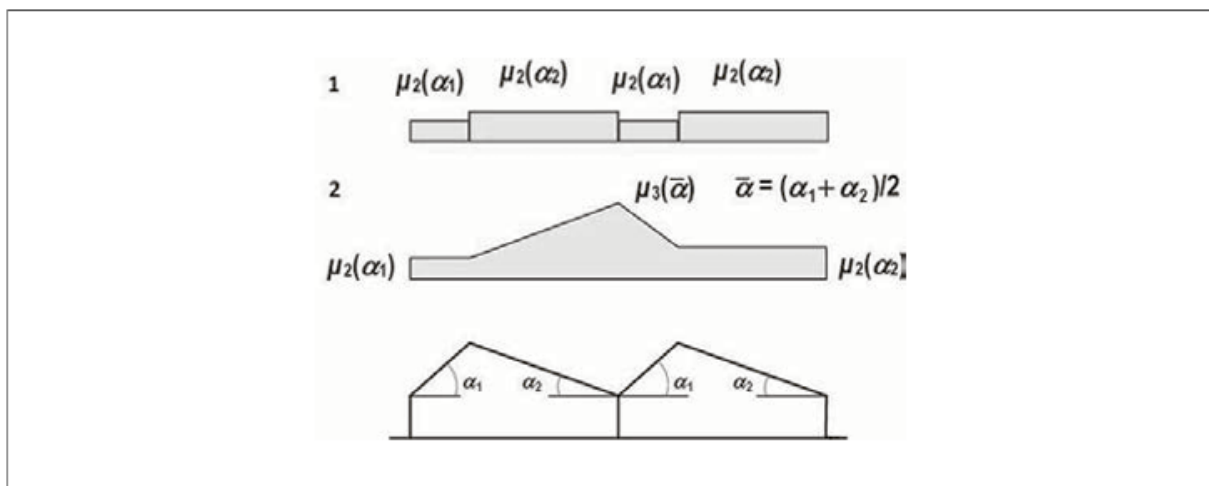
$$\mu_w = 0,8, \text{ kun alemman katon pinta-ala on } \leq 1\text{m}^2$$



KUVA 4. Korkeampaa rakennusosaa vasten olevien kattojen muotokerroimet (1, s. 106)

Pientaloissa korkeampaa rakennusosaa vasten olevan katon pituus on yleensä suhteellisen maltillinen, joten yleensä käytetään kuvassa 4 alempana olevaa kuormituskaaviota, näissä tapauksissa katon päässä oleva kerroin määritetään interpoloimalla välillä  $\mu_1$  ja  $\mu_2$  katkaistuna alemman katon päässä.

Pientalorakentamisessa harvinaisempien sahakattojen lumikuormia määrittäessä tulee hyödyntää sahakattojen kuormituskaaviota ja muotokerrointa  $\mu_3$ . Sahakattojen kuormituskaaviot on esitelty kuvassa 5 mukaista. Kuormituskaaviossa oleva muotokerroin  $\mu_3$  voidaan katsoa taulukosta 2.



KUVA 5. Sahakaton lumikuorman kuormituskaaviot (1, s. 103)

## 2.2 Oma painot

Omapaino on pysyvä ja kiinteä kuorma. Rakennusosan oma painon laskentaan vaikuttaa rakennusosan nimellismittojen ja tilavuuspainojen ominaisarvot. Omaan painoon lasketaan kantavat ja ei-kantavat rakennusosat, kiinteät laitteet, sekä mahdollisten maakerrosten painot. Tehdasvalmisteisille rakennusosille ja rakennuksissa käytettäville laitteille voidaan käyttää valmistajien antamia arvoja. Myös rakenteisiin kiinnitettyjen kantamattomien väliseinien oma paino otetaan yleensä huomioon tasaisena lattiakuormana, jolloin arvona tulee käyttää vähintään  $0,3\text{kN/m}^2$ . Siirrettävät väliseinät ja sermit tulee käsitellä hyötykuormana. Puurakenteisissa pientaloissa rakennuksen rungon oma paino pysyy maltillisena, koska puu on materiaalina kevyt ja pientalossa käytettävät poikkileikkaukset ovat kohtalaisen pieniä. Kuivatulle havupuutavaralle ja siitä valmistetuille liimapuille käytetään yleensä tilavuuspainoa  $5,0\text{kN/m}^3$ , mutta tilavuuspaino voidaan myös laskea kaavalla 7.

$$\gamma = \rho * g \quad (7)$$

missä,

$\gamma$  = tilavuuspaino

$\rho$  = tiheys

$g$  = putoamiskiihtyvyys

Kun tilavuuspaino on saatu laskettua, voidaan osan oma paino laskea kaavalla 8.

$$G = \gamma * V \quad (8)$$

missä,

$G$  = kappaleen oma paino

$\gamma$  = tilavuuspaino

$V$  = kappaleen tilavuus

## 2.3 Hyötykuormat

Hyötykuormat on liikkuvia kuormia, jotka aiheutuvat tilojen käytöstä, eli ihmisistä ja liikuteltavista tavaroista. Hyötykuormat tarkastellaan rakenteen kannalta epäedullisimmassa osassa. Yleisimpien hyötykuormien ominaisarvot on esitelty taulukossa 3. Pientalot kuuluvat lähes poikkeuksetta luokkaan A, joten mitoitus tehdään sen mukaan. Hyötykuorman paikallisia vaikutuksia tarkastellessa vaikutusalaksi oletetaan  $2500\text{mm}^2$ , kun pistekuorman  $Q_k$  arvo on pienempi kuin  $2\text{kN}$ , muissa tapauksissa oletetaan vaikutusalaksi  $10\,000\text{mm}^2$ .

TAULUKKO 3. Rakennusten hyötykuormat (2, s. 5)

Kuormitettujen tilojen luokat	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]			$Q_k$ [kN] (portaat suluissa)
	Väliportaat	Portaat	Parvekkeet	
Luokka A Asunto- ja majoitustilat	2,0	2,0	2,5	2,0 (2,0')
Luokka B Toimistotilat	2,5	3,0	2,5	2,0 (2,0)
Luokka C Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua				
– C1	2,5	3,0	2,5	3,0 (2,0)
– C2	3,0	3,0	3,0	3,0 (2,0)
– C3	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
– C4	5,0	3,0	5,0	4,0 (2,0)
– C5	6,0	6,0	6,0	4,0 (2,0)
Luokka D Myyvälätilat				
– D1	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
– D2	5,0	6,0	5,0	7,0 (2,0)

\*Asunnon sisäiset portaat  $Q_k = 1,5\text{ kN}$

Hyötykuormille voidaan, tietyissä tapauksissa käyttää kuormitusalaan perustuvaa pienennyskerrointa  $\alpha_A$ . Pientaloissa pienennyskerroimen käyttö on harvinaista. Pienennyskerrointa ei voida myöskään soveltaa onnettomuustilanteissa. Jos pienennyskerrointa käytetään, siitä on tiedotettava rakennushankkeeseen ryhtyvälle ja se on merkittävä suunnitteluasiakirjoihin.

## 2.4 Tuulikuormat

Tuulikuorma ovat muuttuvia kiinteitä kuormia. Tuulikuormissa käytetään muuttuvan kuorman ominaisarvoa, joka on ilmastosta johtuvaa kuormaa, eli se perustuu tilastolliseen 50 vuoden toistumisjaksoon. Tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa rakennusta ympäröivän maaston avoimuus ja rakennuksen muoto. Pientaloissa tuulikuormaa tarkastellaan rakennuksen jäykistäviä rakenteita mitoittaessa. Tuulikuorman mitoituksessa käytetään joko kokonaistuulivoimaan perustuvaa menetelmää tai pintapaineisiin perustuvaa menetelmää. Pientaloissa käytetään yleensä kokonaistuulivoimaan perustuvaa menetelmää, sillä pientaloissa leveys on yleensä isompi kuin sen korkeus, joten tuulenpaineen katsotaan olevan sama rakennuksen kaikissa korkeusasemissa. Rakennukseen kohdistuvan tuulen kokonaisvoima lasketaan tällöin kaavalla 9.

$$F_w = c_{sCd} * c_f * q_p(h) * A_{ref} \quad (9)$$

missä,

$F_w$  = kokonaistuulivoima

$c_{sCd}$  = rakennekerroin

$c_f$  = voimakerroin

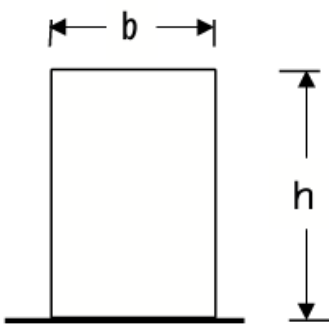
$q_p(h)$  = maaston pinnan muodon mukaan modifioitu nopeuspaine

$A_{ref}$  = tuulikuorman vaikutusala

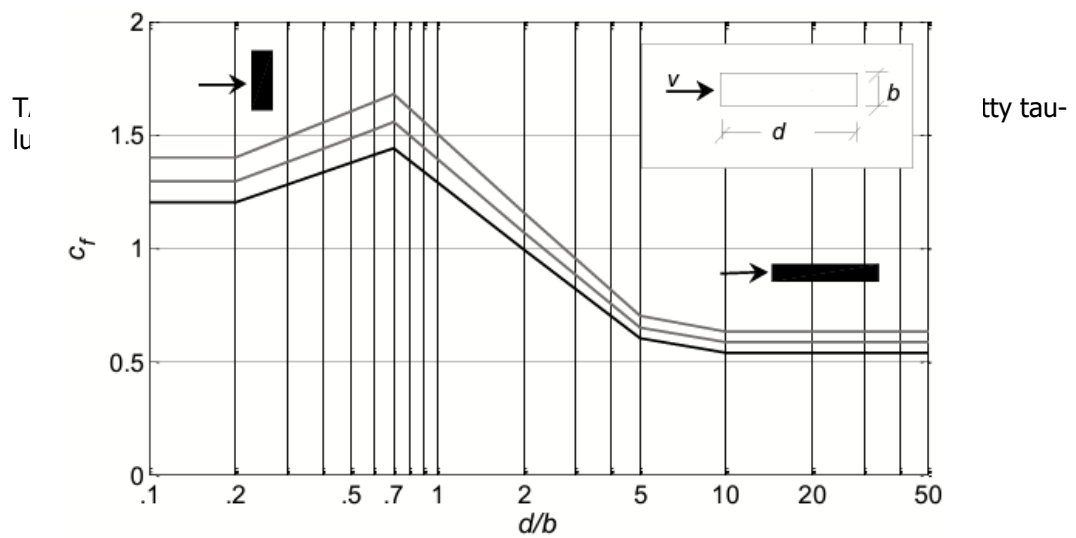
Rakennekertoimen  $c_{sCd}$  arvona voidaan matalien rakennusten, eli myös pientalojen suunnittelussa käyttää arvoa 1,0.

Voimakerroin  $c_f$  on kokonaisvoimakerroin, joka perustuu tuulitunnelikokeisiin. Voimakertoimeen vaikuttaa rakennuksen hoikkuus ja muoto, eli sen määrittämiseen tarvitaan hoikkuusluku  $\lambda$ , joka saadaan taulukosta 4. Kun hoikkuusluku on tiedossa, voimakerroin  $c_f$  voidaan katsoa numeerisesti taulukosta 5 tai graafisesti taulukosta 6.

TAULUKKO 4. Suorakulmaisen rakennuksen tehollinen hoikkuusluku  $\lambda$  (1, s. 140)

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

$\lambda$	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

TAULUKKO 6. Voimakertoimen  $c_f$  määrittäminen graafisesti 1, s. 141)

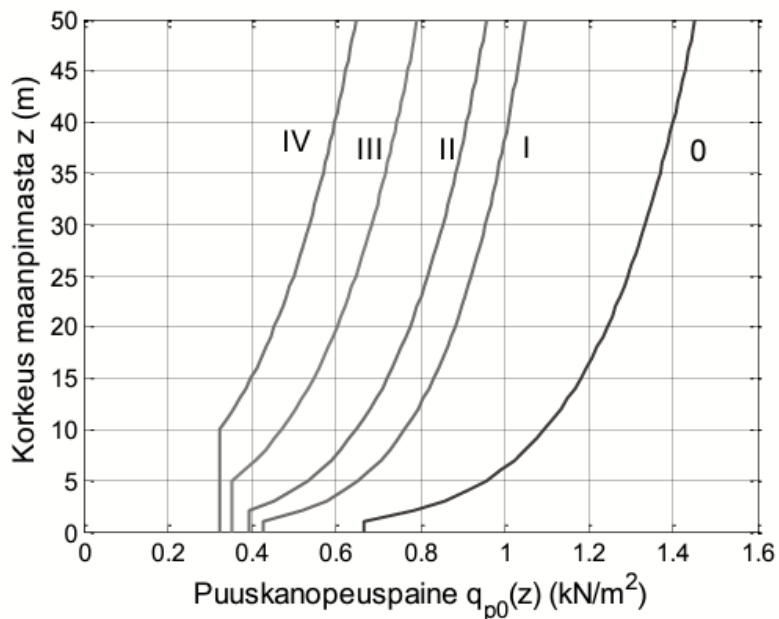
Tuulen nopeuspaineen ominaisarvoa  $q_{p0}(z)$  käytetään lähtökohtana tuulikuorman laskennassa. Nopeuspaineeseen vaikuttaa rakennuksen ympärillä sijaitsevan maaston muodot, rakennukset ja kasvillisuus. Maastotyyppit jaotellaan viiteen eri maastoluokkaan, jotka on esitelty kuvassa 5.



KUVA 6. Maastoluokat (1, s. 131)

Kun rakennusalueen maastoluokka on tiedossa, tuulen maaston pinnan muodon mukaan modifioitu nopeuspaine  $q_p(h)$  voidaan katsoa taulukosta 7 tai 8. Tuulivoimat kasvavat ilmastonmuutoksen takia, mikä on otettava huomioon nopeuspaineen perusarvoja määrittäessä. Taulukoiden 7 ja 8 mukaiset tuulenpaineet ovat varmallalla puolella vuoteen 2035 asti.

TAULUKKO 7. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo maastoluokissa graafisesti (1, s. 136)



TAULUKKO 8. Puuskanopeuspaineen ominaisarvo maastoluokissa numeerisesti (1, s. 137)

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

Tuulikuorman vaikutusala  $A_{ref}$  on rakennuksen tuulen vastainen ala, joka saadaan kaavalla 10.

$$A_{ref} = b * h \quad (10)$$

missä,

$b$  = rakennuksen leveys tuulen suunnassa

$h$  = rakennuksen korkeus tuulen suunnassa

### 3 JÄYKISTYS

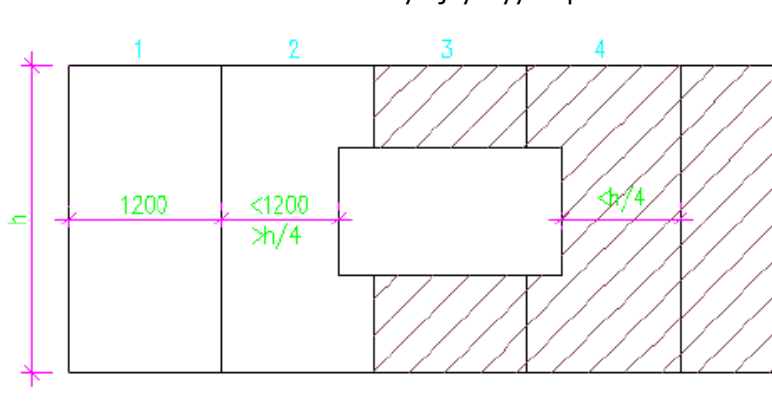
Jäykistys tapahtuu jäykistysrakenteiden avulla, joiden tehtävä on siirtää rakenteille tulevat vaakakuormat kantaville rakenteille ja sitä kautta maaperään. Yleisimmät pientaloon vaikuttavat vaakakuormat ovat tuulikuormia. Stabiilitetti tulee mitoittaa kahdelle eri tapaukselle, eli kun vaakakuorma vaikuttaa kohtisuoraa sivuseinää vasten ja kun vaakakuorma vaikuttaa kohtisuoraan päätyä vasten. Rakenteiden vinoudesta johtuvia lisävaakavoimia ei yleensä tarvitse ottaa huomioon pientaloissa. Puurankaiset pientalon jäykistetään pääsääntöisesti levyjäykistyksellä.

#### 3.1 Levyjäykistys

Opinnäytetyön esimerkkikohteessa levyjäykistys tehdään Gyproc Oy:n tuulensuojakipsilevyllä, joissa kiinnikkeinä käytetään huopanauloja tai ruuveja. Koska jäykistyksessä käytetään kyseistä levyä, tehdään mitoitus Gyproc Oy:n tuulensuojakipsilevyn tyyppihyväksynnän ja taulukkomitoitusohjeiden mukaan.

Opinnäytetyössä tehtävässä Excel-ohjelmaan on koottu eri valmistajien suunnitteluohjeista erilaisten levyjen jäykistyskapasiteetteja. Levyjen jäykistyskapasiteetin laskemiseen on myös valmiita ohjelmia, joita on hyvä käyttää apuna mitoituksessa. Esimerkiksi laskentapalvelut.fi internetsivustoa, jonka ylläpitämisessä Gyproc on mukana. Laskentapalvelut.fi sivuston jäykistyslaskurin avulla levyjen kapasiteetti pystytään tarkistamaan suhteellisen nopeasti. Myös Puuinfoilta löytyy levyjäykistyslaskentaan ohjelma. Loin kuitenkin myös Excel-ohjelmaan taulukon, mistä yhden levyn kapasiteetti voidaan tarkistaa nopeasti, eikä näin ollen tarvitse hyödyntää edellä mainittuja ohjelmia. Vertailun vuoksi opinnäytetyössä Excel-ohjelman taulukkoon tehtiin laskentaa myös Knauf Oy:n tyyppihyväksynnän mukaan, sekä laskettiin vaneri- ja OSB-levyjen jäykistyskapasiteetteja.

Gyproc Oy:n ohjeen mukaan rakennusta jäykistävät seinät jaetaan seinälohkoihin. Jäykistävinä lohkoina toimivat levyt, joiden leveys on vähintään  $h/4$  (Kuva 8). Leikattu levy on jäykkyyskapasiteetiltaan  $1/4$ -osa leikkaamattoman levyn jäykkyyskapasiteetista.



1. Huomioidaan kokonaisena levynä
2. Huomioidaan osalevynä, kapasiteetti 0,25 x täyden levyn kapasiteetti
3. Ei huomioida jäykistävänä rakenteena.
4. Ei huomioida jäykistävänä rakenteena.

KUVA 7. Jäykistävät seinälohkot (3, s. 7)

Levyjen jäykkyykskapasiteetit katsotaan taulukoista 9 ja 10. Taulukossa 9 on levyjen jäykistyskapasiteetit eri kiinnikeväleillä, kun levy on 2400mm korkea, muilla korkeuksilla katsotaan kerroin taulukosta 10. Levyt kiinnitetään kaikilta reunoiltaan niille valituin kiinnikevälein, seinien välitolpissa suurin liitinväli saa olla kaksinkertainen reunoihin nähden. Kiinnikeväli saa olla nauloilla maksimissaan 150mm ja ruuveilla 200mm ja minimissään kummallakin 70mm.

TAULUKKO 9. Gyproc Oy:n kipsilevyjen jäykistyskapasiteetit, kun levyn korkeus on 2,4metriä, muilla korkeuksilla katsotaan kerroin taulukosta 10. (3, s. 8)

Ranka	Kiinike	Lewytyyppi	Käyttöluokka	Ominaislujuus [kN]	Kiinnikkeiden väli [mm]						
					60	70	80	100	150	200	
<b>Puu</b>	QT29	GHO 13	1	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74	2,06	
	QMST 32	GHO 13	1	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74	2,06	
	QSTW/QMSTW 32	GHS 9	2 ja 3	0,43	-	6,32	5,53	4,42	2,95	2,21	
	QU 32	GHS 9	2 ja 3	0,49	-	7,20	6,30	5,04	3,36	2,52	
	QTR/QMTR 41	GFH 13	1	0,95	-	-	12,21	9,77	6,51	4,89	
	QU 32	GHU 13	2	0,45	-	6,61	5,79	4,63	3,09	2,31	
	QU 32	GHU 13	3	0,30	-	4,41	3,86	3,09	2,06	1,54	
	QSTW 32	GHU 13	2	0,30	-	4,41	3,86	3,09	2,06	1,54	
	QSTW 32	GHU 13	3	0,20	-	2,94	2,57	2,06	1,37	1,03	
	QMST 32	GN 13	1	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74	2,06	
	QGG 33	GL 15	1	0,65	-	9,55	8,36	6,69	4,46	3,34	
	QMST 32	GEK 13	1	0,65	-	9,55	8,36	6,69	4,46	3,34	
	QT57*	GF15 ja GEK 13	1	1,14	-	16,75	14,66	11,73	7,82	5,86	
	QT 29	GN 13	1	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74	2,06	
	QTR/QMTR 29	GEK 13	1	0,55	-	8,08	7,07	5,66	3,77	2,83	
	QT 41	GF 15	1	0,55	-	8,08	7,07	5,66	3,77	2,83	
	QU 32	GTS 9	2	0,45	-	6,61	5,79	4,63	3,09	2,31	
	QU 32	GTS 9	3	0,30	-	4,41	3,86	3,09	2,06	1,54	
	<b>Puu</b>	<b>Konenaulat</b>									
		BTC (NK-R)	GEK 13/GL 15	1	0,45	-	6,61	5,79	4,63	3,09	
DF		GEK 13/GL 15	1	0,45	-	6,61	5,79	4,63	3,09		
Senco		GEK 13/GL 15	1	0,45	-	6,61	5,79	4,63	3,09		
BTC (NK-R)		GFH 13	1	0,79	13,54	11,61	10,16	8,13	5,42		
DF		GFH 13	1	0,79	13,54	11,61	10,16	8,13	5,42		
Senco		GFH 13	1	0,79	13,54	11,61	10,16	8,13	5,42		
<b>Huopanaulat</b>											
(HJ15, DPN)		GHS 9	2 ja 3	0,18	-	2,64	2,31	1,85	1,23		
(HJ15, DPN)		GHU 13	2	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74		
(HJ15, DPN)		GHU 13	3	0,25	-	3,67	3,21	2,57	1,71		
(HJ15, DPN)		GTS 9	2	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74		
(HJ15, DPN)		GTS 9	3	0,25	-	3,67	3,21	2,57	1,71		
<b>Ruuvinaula</b>											
BTC (NKS)		GEK 13/GL15	1	0,50	-	7,35	6,43	5,14	3,43		

\* kapasiteetit koskien 1200 leveitä GF-levyjä ( kts. kohta 7)

Levymerkintöjen selitykset:

GHO 13 = Glasroc märkätilelevy, GHS 9=Glasroc tuulensuojalevy, GHU 13= Glasroc tuulensuojalevy, GN 13 = normaali sisäverhouslevy, GEK 13 = erikoiskova sisäverhouslevy, GF 15 = palonsuojakipsilevy Protect, GTS 9 = tuulensuojakipsilevy, GFH 13=Rigidur kuituvahvistelevy

TAULUKKO 10. Korjauskerroin levyjen jäykkyyskapasiteettiin (3, s. 9)

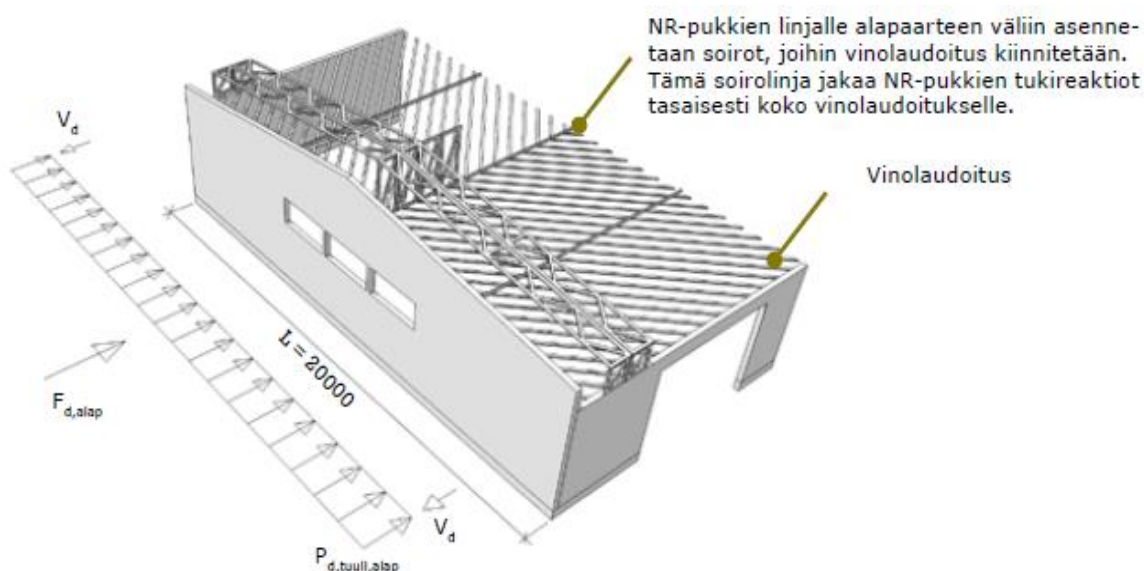
Levyn korkeus	1200mm leveä levy
2400	1
2500	0,96
2600	0,92
2700	0,88
2800	0,85
2900	0,82
3000	0,80
3100	0,77
3200	0,75

Huom! Käytettäessä jotain korkeutta lukuarvojen väliltä, on silloin käytettävä korkeamman korkeuden arvoa.

Jäykistävään seinään kohdistuvat tuulikuormat aiheuttavat seinään momenttia, joka pyrkii kaatamaan seinän. Jotta seinä pysyy pystyssä, tulee se ankkuroida perustuksiin. Ankkurointi voidaan tehdä seinän päistä, tai tasaisesti koko seinän matkalta.

### 3.2 Alapaarretason jäykistys

Alapaarretason jäykistyksen tarkoituksena on viedä jäykisteiden avulla kuormat jäykistävälle seinille. Pientaloissa alapaarretason jäykistys toteutetaan pääsääntöisesti joko levyjäykisteillä tai vinolaudoituksella. Levyjäykistyksessä käytetään yleensä kipsilevyjäykistystä, jolloin mitoituksessa käytetään kipsilevyvalmistajan mitoitusohjetta. Opinnäytetyössä alapaarretason jäykistys tarkasteltiin RIL 248-2008 mukaan. Vinolaudoituksen periaate on esitelty kuvassa 10. Vinolaudoituksessa on tärkeää, ettei voiman kulkureitti katkea, eli vinolaudoituksen tulee jatkua yhtenäisenä koko alapaarretasolla jäykistävälle seinille. Paneelit eivät käy jäykisteeksi, joten vinolaudoituksen yksi iso etu on se, että sisäkatossa voidaan käyttää materiaaleja monipuolisemmin.



KUVA 8. Periaatekuva alapaarretason jäykistyksestä vinolaudoituksella (4, s. 120)

Alapaarretasoa kuormittaa päätysuunnassa päädyn tuulikuorma ja sivusuunnassa sivun tuulikuorma. Vinolaudoitus naulataan alapaarteen yläpintaan 45°:n kulmaan. Vinolaudoituksen puristuskestävyys mitoitus aloitetaan laskemalla laudan hoikkuusluku  $\lambda_z$  kaavoilla 11, 12, 13, ja 14 ja muunnettu hoikkuusluku kaavalla 15. Laskennassa on hyödynnetty puuinfon materiaalia EC5 sovelluslaskelmat - Hallirakennus. Toinen painos. 2010.

$$L_{c,y} = 1 * L \quad (11)$$

missä,

$L$  = laudan jänneväli

$L_{c,y}$  = laudan nurjahduspituus

$$I_z = \frac{b * h}{12} \quad (12)$$

missä,

$I_z$  = poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

$b$  = laudan leveys

$h$  = laudan paksuus

$$i_z = \frac{\sqrt{I_z}}{A} \quad (13)$$

missä,

$i_z$  = poikkileikkauksen jäyhyys säde z-akselin suhteen

$A$  = poikkileikkausala

$$\lambda_z = \frac{L_{c,y}}{i_z} \quad (14)$$

missä,

$\lambda_z$  = hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (15)$$

missä,

$\lambda_{rel,z}$  = muunnettu hoikkuusluku

$f_{c,0,k}$  = puristuslujuus syysuuntaan

$E_{0,05}$  = kimmomoduuli

Puristuskestävyyden laskennassa tarvittava  $k_z$ -kerroin saadaan kaavasta 16.

$$k_z = 0,5 * (1 * \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (16)$$

missä,

$\beta_c$  = alkukäyryydestä riippuva kerroin sahatavaralle, joka on 0,2

Nurjahduskerroin  $k_{c,z}$  saadaan kaavasta 17.

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \leq 1 \quad (17)$$

Puristuslujuus saadaan kaavasta 18.

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} * k_{mod}}{\gamma_m} \quad (18)$$

missä,

$k_{mod}$  = muunnoskerroin 1,1

$\gamma_m$  = materiaalin osavarmuusluku 1,3

Ja lopullinen puristuskestävyys saadaan kaavasta 19.

$$N_{R,d} = k_{c,z} * f_{c,0,d} * A \quad (19)$$

Tuulikuorman aiheuttama leikkausvoima alapaarretasoon lasketaan kaavalla 20. Yhden vinosidelaudan tuoma leikkausvoimaa tästä kuormasta lasketaan kaavalla 21.

$$V_d = \frac{P_{d,tuuli} * L}{2} \quad (20)$$

missä,

$P_{d,tuuli}$  = tuulen viivakuorma alapaarteelle

$L$  = alapaarteen pituus

$$V_{R,d} = N_{R,d} * \cos \alpha \quad (21)$$

missä,

$\alpha$  = vinolaudoituksen kulma ulkoseinään nähden

Koko leikkausvoiman viemiseksi jäykistävälle sivuseinälle, lasketaan kaavalla 22 laudoituksen leikkausvoimakestävyys ulkoseinän suunnassa tietyllä k-jaolla.

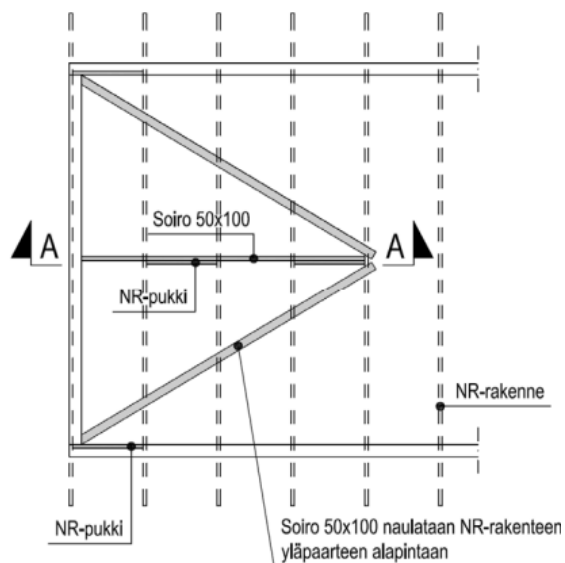
$$V_{R,d,seinä} = \frac{L}{s} * V_{R,d} = \text{Vinolaudoituksen kestävyys} \quad (22)$$

missä,

$s$  = vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa

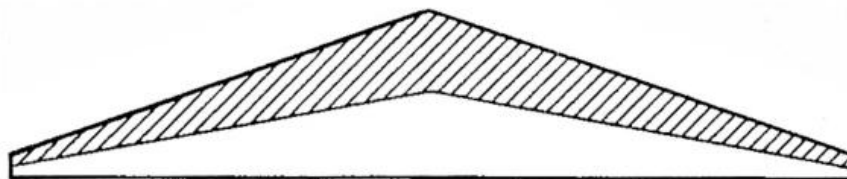
### 3.3 Yläpaarretason jäykistys

Yläpaarretaso voidaan jäykistää ristikon yläpaarteisiin kiinnitettyllä puulevyllä tai korkeaprofiilisella pellillä, jolloin se voidaan laskea levyjäykisteenä ja kuormat johdetaan alas esimerkiksi tehdasvalmis- teisilla NR-pukeilla, tai yleisemmin pientaloissa käytettävillä paikalla rakennettavilla vinojäykisteillä. Jos jäykistäminen edellä mainituilla tavoilla ei onnistu, voidaan NR-rakenteen yläpaarretaso jäykistää pientaloissa myös yläpaarteen alapintaan asennettavalla vinolaudoituksella. Kyseisellä jäykistysme- netelmällä tuulikuorma siirretään vinolaudoituksella NR-pukeille. (5, s 30-31)



Kuva 9. Vinolaudoitus NR-ristikon yläpaarteen alapintaan. (9, s. 15)

Yläpaarretason vinolaudoitukselle tuleva tuulikuorman ala saadaan kuvasta 10.



Kuva 10. Yläpaarretasolle tuleva tuulikuorma. (9, s. 21)

NR-pukkeja voidaan tarvittaessa sijoittaa koko katon matkalle. Pientaloissa voidaan ristikoiden kaa- tuminen estää myös hyödyntämällä tuulensuojalevytystä, kun ne kiinnitetään ristikoiden pystydiago- naaleihin, jos tämä ei ole mahdollista tai levyillä tuentaa ei saada riittäväksi, voidaan jäykistämiseen käyttää myös ristikon kainaloihin tulevia vinolautoja. NR-ristikkoyläpohjan jäykistykseen löytyy hyödyllisiä työkaluja. Esimerkiksi Puuinfon Excel-pohjaisella NR-yläpohjan jäykistykseen mitoi- tus – laskurilla voidaan mitoittaa yläpohjan vaatimia jäykisteitä.

## 4 EXCEL-OHJELMAN ESITTELY

### 4.1 Lähtötiedot

Opinnäytetyössä laadittuun Excel-ohjelmaan syötetään rakennuksen lähtötiedoiksi rakennuksen mittoja, joiden perusteella ohjelma tekee laskentaa.

Rakennuksen mitat	
Korkeus	8,2 m
Leveys	10,7 m
Pituus	18,96 m
g räystään mitta	0,2 m
a yläpohjan projektion korkeus	4,4 m
b välipohjan paksuus	0,3 m
c perusmuurin korkeus	0,5 m
h huonekorkeus	3 m
H rakennuksen korkeus	8,2 m
L rakennuksen pidemmän sivun mitta	18,96 m
B rakennuksen leveys	10,7 m
Kerroksia	1

KUVA 11. Rakennuksen mitat Excel-ohjelmassa

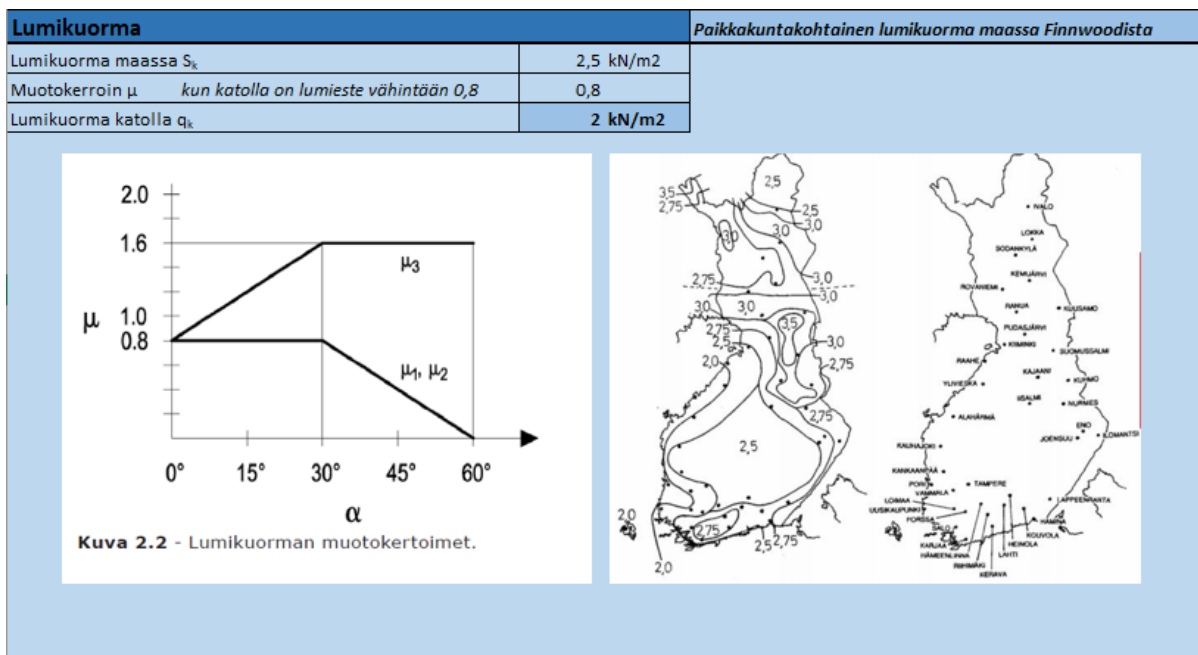
### 4.2 Kuormat

Kuormat välilehdellä Excel-ohjelmassa on erilaisia taulukoita rakennuksen kuormien laskentaan. Rakennuksen oma painoja laskentaan on muokattava taulukko, jota voidaan käyttää tarvittaessa. Oma painojen laskennassa joudutaan syöttämään tietoja suurelta osin manuaalisesti.

Yläpohja	kg/m <sup>3</sup>	mm	mm	kpl/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Pelti					7	0,0700
Aluskate					2	0,0200
Ruode	500	100	22	3,33	3,67	0,0367
Tuuletusrima	500	100	22	1,11	1,22	0,0122
Yläpaarre	500	150	50	1,11	4,17	0,0417
Alapaarre	500	150	50	1,11	4,17	0,0417
Villa	40	1000	500	1	20	0,2000
Sisäkoolaus	500	100	22	1,67	1,83	0,0183
Sisäverhous	500	1000	26	1,00	13,00	0,1300
<b>yhteensä</b>						<b>0,57</b>

KUVA 12. Yläpohjan oma painon laskentataulukko Excel-ohjelmassa

Lumikuorman laskentataulukoita on kaksi erilaista. Toisella voidaan laskea katolla oleva lumikuorma harjakatoissa ja pulpettikatoissa ja toisella korotettu lumikuorma korkeampaa rakennusosaa vasten olevalla rakennusosalla. Pientaloissa käytetään nykyään usein lumiasteita joka lappeella, joten lumikuorman muotokerroin on taulukossa automaattisesti 0,8. Laskentataulukkoon on liitetty kuva myös lumikuorman muotokertoimen taulukosta, josta voidaan kätevästi tarkastaa muotokerroin, jos katolla ei ole lumiestettä tai muuta liukumisen estettä. Korotetun lumikuorman laskentataulukko laskee mittojen perusteella korotetun lumikuorman.



KUVA 13. Lumikuorman laskentataulukkoa Excel-ohjelmassa

Korotettu lumikuorma		
$S_k$	Lumikuorma maassa	2,5 kN/m <sup>2</sup>
$b_1$	Ylemmän lappeen pituus	10,4 m
$b_2$	Alemmän lappeen pituus	7,6 m
$h$	Kattojen tasoero	0,5 m
$l_s$	Kinostumis pituus $2m < l_s < 6m$	2,0 m
$\mu_1$	Muotokerroin	0,8
$\mu_2$	Muotokerroin	1,6
$\mu_s$	Liukumisesta johtuva muotokerroin	0,8
$\mu_w$	Tuulesta johtuva muotokerroin $0,8 < \mu_w < 2,5$	0,8
Lumikuorma alemmalla katolla		3,2 kN/m <sup>2</sup>

KUVA 14. Korotetun lumikuorman laskentataulukko Excel-ohjelmassa

Tuulikuorman laskentaan on opinnäytetyössä taulukko, jossa pitää muuttaa ainoastaan tuulen nopeuspaine. Muut tuulikuorman laskemiseen tarvittavat tiedot taulukko poimii aikaisemmista taulukoista. Taulukko laskee erikseen rakennuksen sivuihin ja pätyihin vaikuttavan tuulen kokonaistuulivoimamenetelmän avulla.

Tuulikuorma	
Rakennuksen korkeus	8,2 m
Maastoluokka	III
$C_s, C_d$ rakennekerroin kun $h < 15m = 1$	1
Nopeuspaine $q_s(h)$	0,44 kN/m <sup>2</sup>
<b>Sivu</b>	
Rakennuksen mitat	
$d$ pituus tuulen suunnassa	10,7 m
$h$ rakennuksen korkeus	8,2 m
$b$ rakennuksen leveys tuulta vastaan	19,0 m
jäykistävät seinät	
Hoikkuus	
$\lambda$ $2h/b$ , kun rakennus $< 15m$	0,86
Sivusuhte	
$d/b$	0,56
Voimakerroin	
$C_{f,sivu}$	1,39
Projektion ala	
$A_{ref}$	155,5 m <sup>2</sup>
Kokonaistuulikuorma	
$F_{w,k}$ Kokonaistuulikuorman resultantti	95,3 kN
$q_{w,k}$ tasainen kuorma	0,77 kN/m <sup>2</sup>
<b>Pääty</b>	
Rakennuksen mitat	
$d$ pituus tuulen suunnassa	18,96 m
$h$ rakennuksen korkeus	8,2 m
$b$ rakennuksen leveys tuulta vastaan	10,7 m
jäykistävät seinät	
Hoikkuus	
$\lambda$ $2h/b$ , kun rakennus $< 15m$	1,53
Sivusuhte	
$d/b$	1,77
Voimakerroin	
$C_{f,1}$	1,31
$C_{f,2}$	1,01
$C_{f,pääty}$	1,08
Projektion ala	
$A_{ref}$	87,74 m <sup>2</sup>
Kokonaistuulikuorma	
$F_{w,k}$ Kokonaistuulikuorman resultantti	41,6 kN
$q_{w,k}$ tasainen kuorma	0,59 kN/m <sup>2</sup>

Maastoluokat:	
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko
I	Järvet tai tasanko, jolla on enintään vähäistä kasvillisuutta eikä tuuliesteitä
II	Alue, jolla on matalaa heinää tai siihen verrattavaa kasvillisuutta ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), joiden etäisyys toistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus
III	Alueet, joilla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä tuuliesteitä, joiden keskinäinen etäisyys on enintään 20 kertaa esteen korkeus (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)
IV	Alueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennusten peitossa ja niiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m

**Katso nopeuspaine taulukoista!**

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

$\lambda$	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
19	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

**Taulukko 2.3** - Voimakerron  $c_f$  huomioiden rakennuksen mittasuhteiden ja hoikkuuden vaikutus. Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti. Hoikkuus  $\lambda$  lasketaan kaavalla (2.13). Sivumitta  $d$  on rakennuksen pituus tuulen suunnassa.

KUVA 15. Tuulikuorma laskentataulukko Excel-ohjelmassa

### 4.3 Jäykistys

Rakennuksen jäykistysrakenteiden mitoittamiseen opinnäytetyöstä löytyy laskentataulukko, joka laskee jäykistävälle seinille tulevat metrikuormat ja jäykistävälle seinille tulevat kuormat aikaisempia taulukoita hyödyntäen. Jäykistävien seinien määrää tulee muokata kohteen mukaan. Jos jäykistävät seinät eivät sijaitse symmetrisesti, voidaan taulukosta hyödyntää metrikuormaa, mutta kuormitusalat täytyy laskea muilla tavoin. Taulukot löytyy 1- ja 2-kerroksisille taloille ja tilanteen mukaan käytetään tarvittavaa taulukkoa.

1.kerroksinen			
RAKENNUKSESSA ON 1 KERROS			
Sivuseinään kohdistuva viivakuorma		Jäykistävien seinien määrä	3
$W_{k,sivu}$	KRT		3,80 kN/m
Jäykisteseinän 1 ja 3 kuorma			
$F_{d,1}$	KRT		18,01 kN
$F_{d,1}$	MRT		27,01 kN
Jäykisteseinän 2 kuorma			
$F_{d,1}$	KRT		36,01 kN
$F_{d,1}$	MRT		54,02 kN
Päätyseinään kohdistuva viivakuorma		Jäykistävien seinien määrä	2
$W_{k,pääty}$	KRT		2,94 kN/m
Jäykisteseinän 4 ja 5 kuorma			
$F_{d,1}$	KRT		15,74 kN
$F_{d,1}$	MRT		23,61 kN

KUVA 16. 1-kerroksinen rakennuksen jäykistävien seinien kuormien laskentataulukko Excel-ohjelmassa

2.kerroksinen			
RAKENNUKSESSA EI OLE KAHTA KERROSTA			
Väliopohjatasoon kohdistuva sivussa		Jäykistävien seinien määrä	3
$W_{k,1}$			2,02 kN/m
Yläopohjatasoon kohdistuva viivakuorma si		Jäykistävien seinien määrä	3
$W_{k,2}$			3,61 kN/m
Alemman jäykisteseinän kuorma seinät 1 ja 3			
$F_{d,1}$	KRT		26,72 kN
$F_{d,1}$	MRT		40,08 kN
Ylemmän jäykisteseinän kuorma seinät 1 ja 3			
$F_{d,1}$	KRT		17,14 kN
$F_{d,1}$	MRT		25,70 kN
Väliopohjatasoon kohdistuva viivakuorma		Jäykistävien seinien määrä	2
$W_{k,pääty}$	KRT		1,57 kN/m
Yläopohjatasoon kohdistuva viivakuorma p		Jäykistävien seinien määrä	2
$W_{k,pääty}$	KRT		2,80 kN/m
Alemman jäykisteseinän 4 ja 5 kuorma			
$F_{d,1}$	KRT		23,36 kN
$F_{d,1}$	MRT		35,04 kN
Ylemmän jäykisteseinän kuorma seinät 1 ja 3			
$F_{d,1}$	KRT		14,98 kN
$F_{d,1}$	MRT		22,47 kN

KUVA 17. 2-kerroksinen rakennuksen jäykistävien seinien kuormien laskentataulukko Excel-ohjelmassa

## 4.4 Tuulensuojalevyjen jäykistyskapasiteettien vertailutaulukko

Opinnäytetyössä on taulukko tuulensuojalevyjen jäykistyskapasiteeteista. Taulukon avulla voidaan vertailla erilaisten yleisesti käytettyjen levyjen kapasiteetteja ja tarkastaa kätevästi yhden levyn kapasiteetti. Taulukossa muuttujina on liitinväli ja levyn korkeus, mitkä vaikuttavat levyn jäykistyskapasiteettiin.

Gyproc		Seinälöhkön leveys	Liitinväli	Levyn korkeus	Lujuus1	Lopullinen lujuus $F_{v,Rd}$
Glasroc GTS 9	1200 mm		80 mm	2400 mm		
Ruuvi QSTW/QMSTW 32 3,9*32					5,53 kN	5,53 kN
Ruuvi QU 32 4,2x32					5,79 kN	5,79 kN
Huopanaula (HJ15, DPN) 3*32					5,14 kN	<b>5,14 kN</b>
Glasroc GN 13	1200 mm		90 mm			
Ruuvi QMST 32 3,9*32					4,62 kN	4,62 kN
Ruuvi QT 29					4,62 kN	4,62 kN
Huopanaula (HJ15, DPN) 3*32					2,08 kN	<b>2,08 kN</b>
Glasroc GEK 13	1200 mm		90 mm			
Ruuvi QMST 32 3,9*32					7,53 kN	7,53 kN
Ruuvi QTR/QMTR 29					6,36 kN	6,36 kN
Huopanaula (HJ15, DPN) 3*32					4,63 kN	<b>4,63 kN</b>
Knauf		Seinälöhkön leveys	Liitinväli	Levyn korkeus	Lujuus1	Lopullinen lujuus $F_{v,Rd}$
KXT 9	1200 mm		90 mm	2400 mm		
Ruuvi Sen Senco 39A32MC (3,9*32)					6,21 kN	6,21 kN
Hakanen Senco P15BABB (1,57*32*25,4)					5,98 kN	5,98 kN
Hakanen BeA 155/38 VZHZ (1,59*38*10,9)					3,95 kN	3,95 kN
Naula Senco JH15ASAVR (3,1*32)					5,64 kN	<b>5,64 kN</b>
Naula BeA TC 25 x 35, kampa (2,5x35)					3,79 kN	<b>3,79 kN</b>
Ruuvinaul TC 30 x 45 NK PH2 (3,0x45)					5,23 kN	5,23 kN
KXT 13	1200 mm		70 mm			
Ruuvi Senco 39A32MC (3,9*32)					9,57 kN	9,57 kN
Hakanen Senco P15BABB (1,57*32*25,4)					7,69 kN	7,69 kN
Hakanen BeA 155/38 VZHZ (1,59*38*10,9)					6,82 kN	6,82 kN
Naula Senco JH15ASAVR (3,1*32)					7,25 kN	7,25 kN
Naula BeA TC 25 x 35, kampa (2,5x35)					4,88 kN	4,88 kN
Ruuvinaul TC 30 x 45 NK PH2 (3,0x45)					6,73 kN	6,73 kN
Vaneri/OSB		Seinälöhkön leveys	Liitinväli	Levyn korkeus	$F_{f,Rd}$	Lopullinen lujuus $F_{v,Rd}$
18 mm	1200 mm		70 mm	3100 mm		
Naula 2,1 mm			$k_1$	1,21	0,52 kN	<b>6,93 kN</b>
Naula 2,5 mm				1,10	0,64 kN	<b>8,45 kN</b>
Naula 2,8 mm				1,04	0,73 kN	<b>9,64 kN</b>
Naula 3,2 mm				0,97	0,85 kN	<b>11,32 kN</b>
Naula 3,9 mm				0,88	1,09 kN	<b>14,46 kN</b>

KUVA 18. Tuulensuojalevyjen jäykistyskapasiteettitaulukko

## 4.5 Alapaarretason vinolaudoitus

Alapaarretasoon tulevan vinolaudoituksen laskenta on usein vajavaista pientalorakentamisessa, joten opinnäytetyössä on 3 taulukkoa, joiden avulla voidaan laskea alapaarretason jäykistys vinolaudoituksella. Yhden taulukon avulla lasketaan lautojen kestävyyttä.

Vinolaudoitusjäykistys			
$\lambda_z$	hoikkuusluku	pysyvillä rakenteilla max 200	176,67
$L_{c,y}$	nurjahduspituus		1275 mm
$i_z$	poikkileikkauksen jäyhyysäde z-akselin suhteen		7,22
A	poikkileikkausala		2500 mm <sup>2</sup>
$I_z$	poikkileikkauksen jäyhyysmomentti		130208,33 mm <sup>4</sup>
b	laudan leveys		100 mm
h	laudan paksuus		25 mm
$A_{rel,z}$	muunnettu hoikkuusluku		3,00
$f_{c,0,k}$	puristuslujuus syysuuntaan		21 N/mm <sup>2</sup>
$E_{0,05}$	kimmomoduuli		7400 N/mm <sup>2</sup>
$k_z$			2,92
$\beta_c$	alkuköyrydestä riippuva kerroin sahatavaralle		0,2
$k_{c,z}$			0,158
$f_{c,0,d}$	mitoitettava puristuslujuus		17,77 N/mm <sup>2</sup>
$k_{mod}$	muunnoskerroin		1,1
$\gamma_m$	materiaalin osavarmuusluku sahatavara		1,3
$N_{R,d}$	vinolautojen puristuskestävyys		7,04 kN

KUVA 19. Vinolaudoituksessa käytettävien lautojen kestävyiden laskentataulukko Excel-ohjelmassa

Toisen taulukon avulla saadaan vinolaudoitukselle lautajako ja laudoituksen kestävyys leikkausvoimalle nurjahduskestävyyden perusteella ja kolmannessa taulukossa on eri puutavaraluokkien ominaisuuksia, joita toiset taulukota hyödyntävät laskelmissaan.

Pitkäsivu			
$V_d$	vinolaudoitukselle tuleva leikkausvoima	25,40	kN
$V_{R,d}$	yhden vinosidelaudan tuoma leikkausvoima	4,97	kN
cos45		0,707	
$V_{R,d,seinä}$	Seinän kokonaisleikkauskestävyys	35,49	kN
s	lautajako	1,5	m
Vinolaudoituksen käyttöaste		71,6	%

KUVA 20. Vinolaudoituksen ja lautajaon laskentataulukko Excel-ohjelmassa

Lisäksi on vielä taulukko, mikä laskee vinolaudoituksessa olevien nauhojen leikkauskestävyyden ja sen avulla voidaan myös laskea tarvittava naulamäärä yhdelle vinosidelaudalle.

Naulan leikkauskestävyys		
$R_d$	<i>naulan leikkauskestävyys</i>	<b>0,51 kN</b>
$R_k$	<i>naulan ominaisleikkauskestävyys esiporaamattomana</i>	821,29 N
$k_t$	<i>leikkauskestävyyden korotuskerroin, jos <math>t_1 &gt; 8d</math> ja <math>t_2 &gt; 12d</math></i>	1,10
8d		24,8 mm
12d		37,2 mm
d	<i>naulan halkaisija</i>	3,10 mm
L	<i>naulan pituus</i>	100,00 mm
$t_1$	<i>laudan paksuus</i>	22,00 mm
$t_2$	<i>naulaun tunkeuma</i>	78,00 mm
$\gamma_m$		1,30
$k_{mod}$		0,80
$N_d$		4,53 kN
<b>n</b>	<b><i>naulojen määrä</i></b>	<b>9 kpl</b>
$R_d \cdot n$		4,55
<b>Käyttöaste</b>		<b>99,67 %</b>

KUVA 21. Naulan leikkauskestävyys ja tarvittava naulamäärä vinosidelaudalle

#### 4.6 Kantavien linjojen kuormat

Kantaville linjoille tuleville kuormille olevassa taulukossa on laskettu metrikuormat, joiden avulla voidaan laskea kantaville rakenteille tulevia kuormia. Kantavien rakenteiden kuormitusalat ovat joka kohteessa niin erilaisia, ettei metrikuormia tarkempia kuormia voida kätevästi laskea samalla taulukolla useille kohteille. Yleensä metrikuorma myös riittää, kun mitoitetaan kantavia rakenteita mitoitussohjelmien avulla. Taulukossa on myös laskettu suoraan ristikoille tuleva kuorma, sillä se on tarpeellinen NR-ristikoiden kannatuspalkin laskennassa.

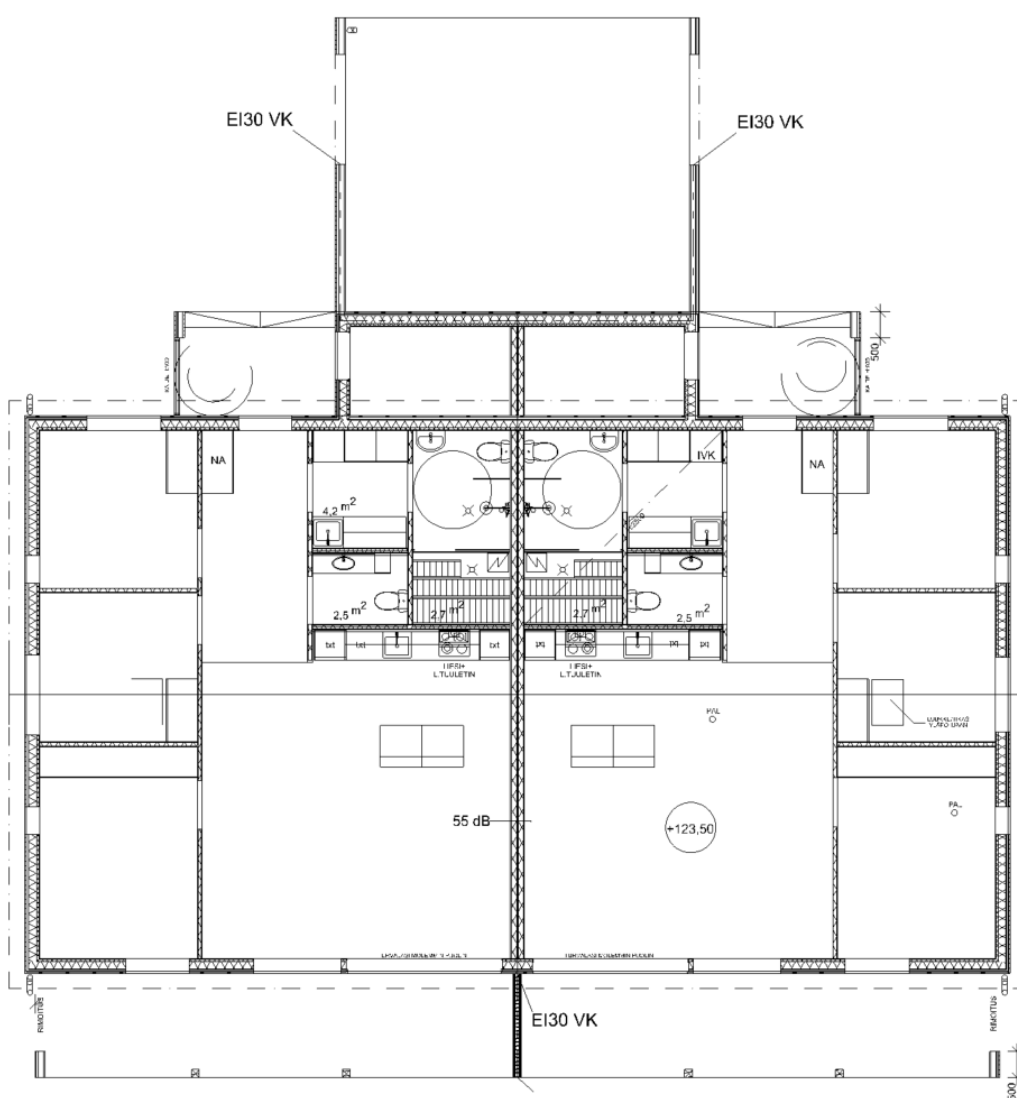
Kantavien linjojen kuormat	
Rakennuksen leveys	10,70 m
Kuormitus leveys	5,35 m
Omapaino	3,2 kN/m
Lumikuorma	10,7 kN/m
<b>yhteensä</b>	<b>13,9 kN/m</b>
Ristikolle tuleva kuorma	12,5 kN
k-jako	0,9 m

KUVA 22. Kantavien linjojen kuormat

## 5 ESIMERKKIKOHDE

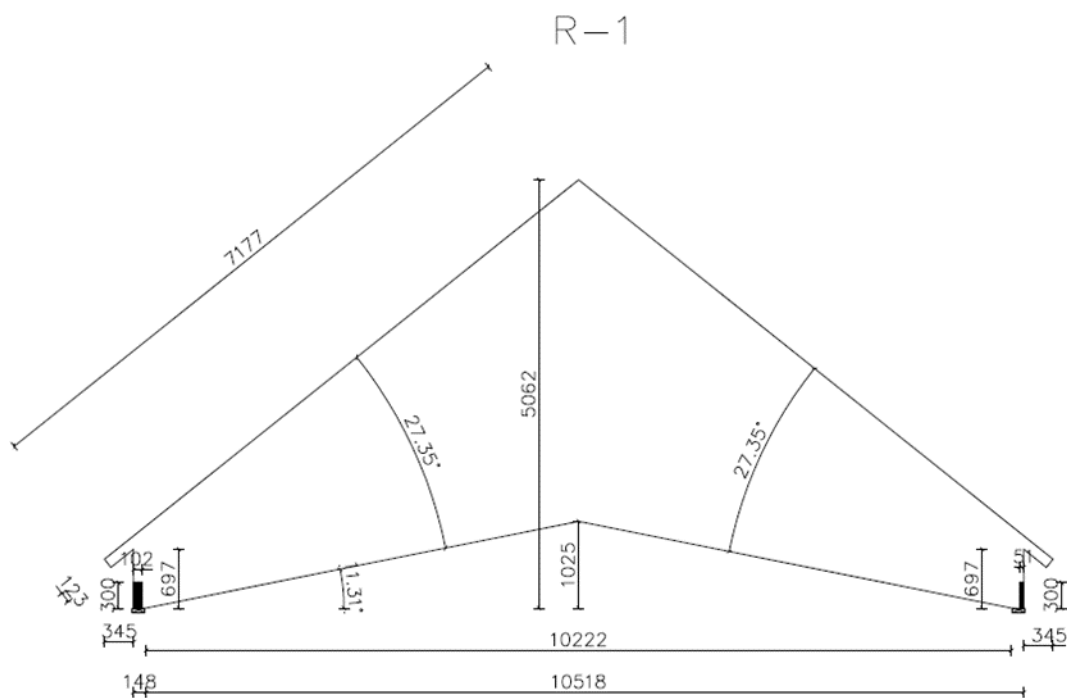
## 5.1 Lähtötiedot

Esimerkkikohteena on kesällä 2022 Kuopioon rakennettava elementtirakenteinen puurunkoinen 1-kerroksinen paritalo. Paritalon huoneistot ovat samanlaiset. Rakennus rakennetaan esikaupunkialueelle. Arkkitehtisuunnittelun kohteeseen on tehnyt Haloo Arkkitehdit Oy. Kuvassa 6 esitelty esimerkkikohteen pohjakuva, jonka perusteella rakennesuunnittelua alettiin tekemään ja kuvassa 7 arkkitehdin leikkauskuva kohteesta.



KUVA 23. Esimerkkikohteen pohjakuva





KUVA 25. Esimerkkikohteen ristikkokaavio.

Saksiristikossa voi olla vaakasuuntaista siirtymää, joten se tulee estää ristikon suuntaisilla jäykistävillä seinillä, tai rajoittamalla ristikon vaakasuuntaista siirtymää. Tässä kohteessa ristikkosuunnittelijalle on annettu ristikon vaakasiirtymän maksimiarvo, jonka mukaan ristikko suunnitellaan. Rakennustöiden yleisten laatuvaatimusten mukaan alle 3 metristen seinien suurin sallittu poikkeama asennustarkkuudessa on  $\pm 5$  mm, joten ristikon vaakasiirtymän maksimiarvo määräytyy sen mukaan.

## LÄHTEET

1. RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. 2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
2. Ympäristö ministeriön kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-1-1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, omapaino ja rakennusten hyötykuormat.
3. Glasroc-komposiittikipsilevyjen GHO 13, GHU 13, GHS 9 ja Rigidur kuituvahvistelevyjen GFH 12 sekä Gyp-roc rakennuslevyjen GN 13, GEK 13, GF 15, GTS 9 ja GL 15 käyttö rakennusten jäykistämiseen. 2011. Gyp-roc Oy.
4. EC5 sovelluslaskelmat – Hallirakennus. Toinen painos. 2010. Puuinfo Oy.
5. RIL 248-2008. NR-kattorakenteen jäykistyksen suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
6. EC5 Sovelluslaskemat – Asuinrakennus. Toinen painos. 2010. Puuinfo Oy..
7. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje. Viides painos. 2020. Puuinfo Oy.
8. Vänttilä, Ville. 2017. Paritalon NR-kattorakenteen jäykistäminen. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan osasto.
9. RIL 248-2013. NR-kattorakenteen jäykistyksen suunnittelu ja toteuttaminen. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL
10. RT-14-11016 RunkoRYL 2010 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen runkotyöt., Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy

## 6 LIITTEET

**Esimerkkikohteen laskenta****Lumikuorma**

Rakennus sijaitsee Kuopiossa, joten

$$S_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Katolla on lumiesteet kummallakin lappeella, joten muotokerroin

$$\mu_1 = 0,8$$

Saadaan lumikuorma katolla:

$$q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Korotettu lumikuorma autokatoksen katolla:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 1,6$$

$\mu_s = 0,8$ , koska ylemmällä katolla on lumieste

$$\mu_w = (10,4\text{m} + 7,6\text{m}) / 2 \cdot 0,5\text{m} < 2 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,5\text{m} / 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Alemman katon pinta-ala on  $> 6 \text{ m}^2$ , joten  $0,8 \leq \mu_w \leq 2,5$ . Muotokertoimen arvoksi tulee siis  $0,8$

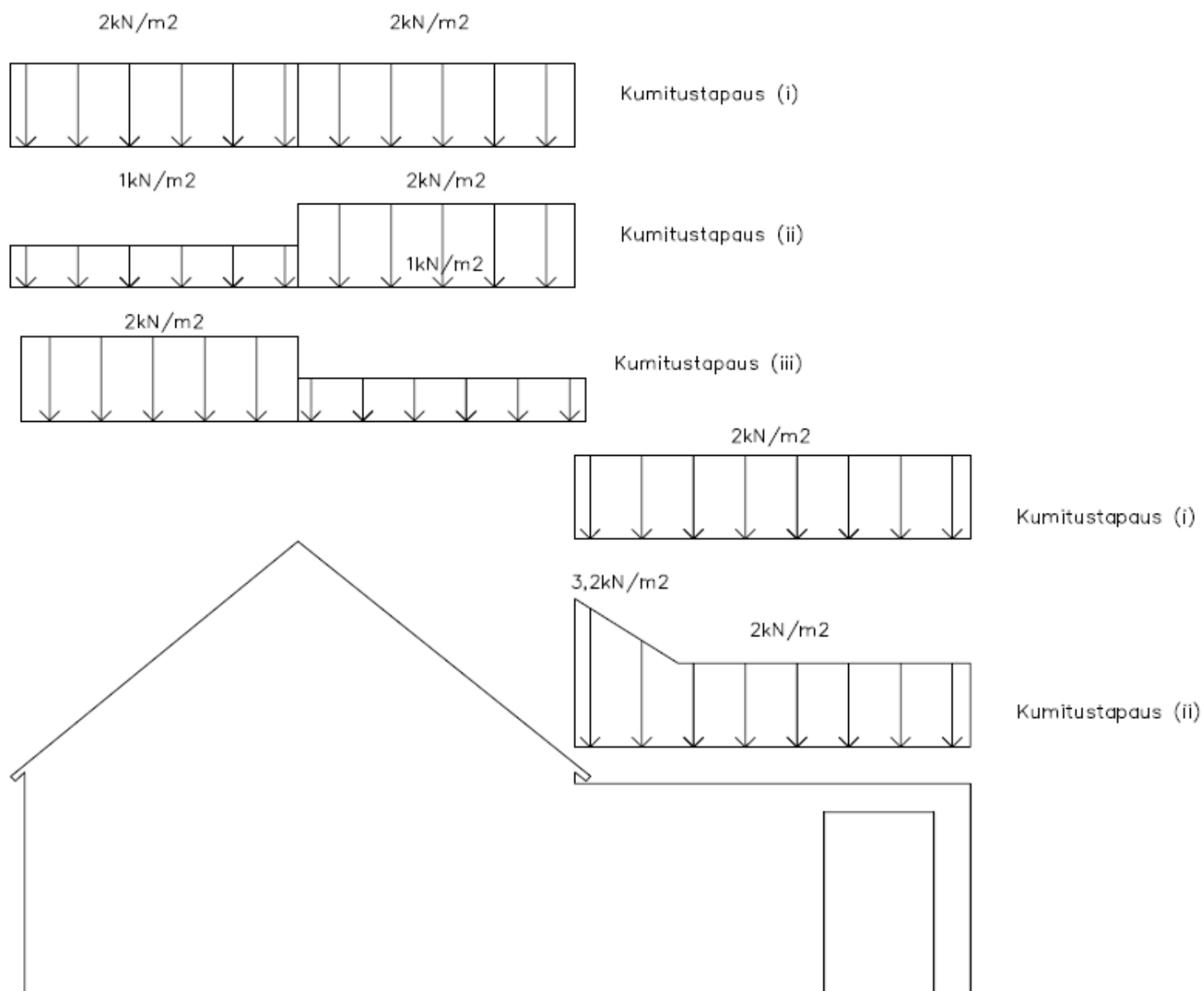
Kinostumis pituus:

$$L_s = 2h$$

Vaihteluväli kinostumis pituudella on  $2\text{m} \leq l_s \leq 6\text{m}$ , joten

$$L_s = 2\text{m}$$

$$\text{Lumikuorma alemmalla katolla} = 3,2 \text{ kN/m}^2$$



KUVA 1. Esimerkkikohteen lumikuormien kuormituskaaviot

## Omapainot

Yläpohjan rakennekerrokset:

Pelti

Aluskate

Ruode

Tuuletusrima

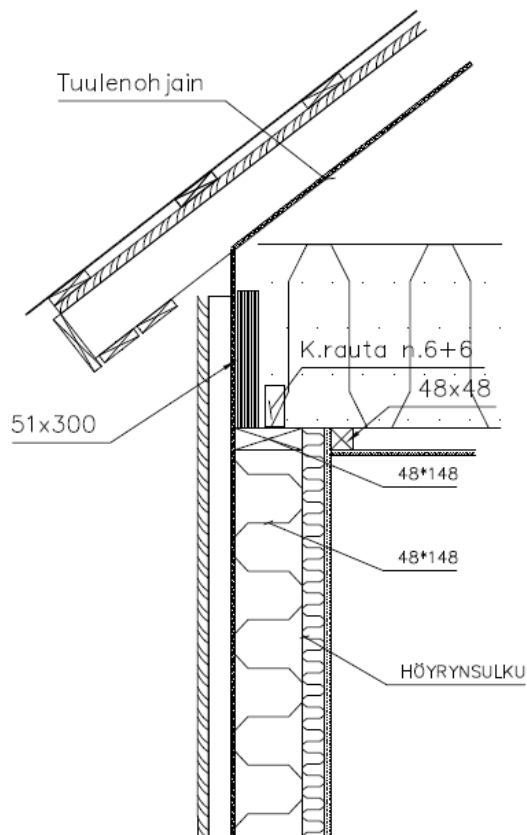
Yläpaarre

Alapaarre

Villa

Sisäkoolaus

Sisäverhouslevy



KUVA 1. Yläpohjarakenne.

## Yläpohjan paino

Valmistajan pellille ilmoittama paino = **0,07kN/m<sup>2</sup>**

Valmistajan aluskatteelle ilmoittama paino = **0,02kN/m<sup>2</sup>**

Ruoteiden paino neliöllä:

Tilavuuspaino = 500kg/m<sup>3</sup>

Tilavuus = 100\*22 = 2200mm<sup>2</sup>

Kpl/m<sup>2</sup> = noin. 1000mm/300mm = 3,33kpl

Paino = 0,1m\*0,022m\*500kg/m<sup>3</sup>\*3,33 = 3,67kg/m<sup>2</sup> = **0,0367kN/m<sup>2</sup>**

Tuuletusrimojen paino neliöllä:

Tilavuuspaino = 500kg/m<sup>3</sup>

Tilavuus = 50\*22 = 1100mm<sup>2</sup>

Kpl/m<sup>2</sup> = noin. 1000mm/900mm = 1,11kpl

Paino = 0,05m\*0,022m\*500kg/m<sup>3</sup>\*1,11 = 0,61kg/m<sup>2</sup> = **0,0061kN/m<sup>2</sup>**

Ristikon paino neliöllä:

## Tuulikuormat

Esimerkkikohteeseen kohdistuvat tuulikuormat kokonaisvoimatuulimenetelmän avulla.

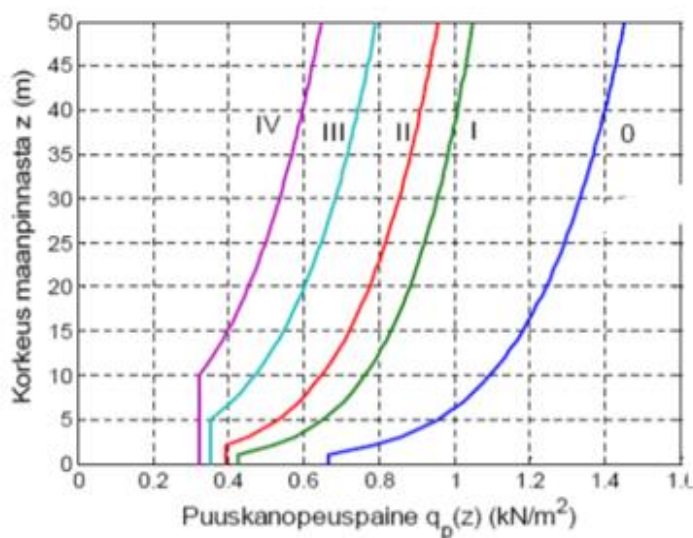
Rakennus sijaitsee asuinalueella, jossa on suojainen maasto, eli valitaan maastoluokka III.

Rakennukselle tuleva tuulen puuskanopeuspaine saadaan rakennuksen harjakorkeuden taulukoiden mukaan.

Harjakorkeus = 8,2m

Taulukoista saadaan puuskanopeuspaineeksi  $0,44\text{kN/m}^2$

TAULUKKO 1



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

Rakennuksen pitkälle sivulle tuleva tuuli:

Mitat:

$$d = 10,7\text{m}$$

$$b = 19,0\text{m}$$

$$h = 8,2\text{m}$$

Rakennuksen hoikkuusluku lasketaan kaavalla  $2h/b$ , kun rakennuksen korkeus  $<15\text{m}$ .

$$\text{Hoikkuusluku } \lambda = 2 \cdot 8,2 / 19 = 0,86$$

$$\text{Sivusuhte } = d/b = 0,56$$

Voimakerron katsotaan taulukosta 2 ja interpoloidaan lineaarisesti, kun arvo ei täsmää suoraan taulukon arvoihin.

$$\text{Voimakerron } C_{f,\text{sivu}} = 1,37 + ((1,44 - 1,36) / (0,7 - 0,5)) \cdot (0,56 - 0,5) = 1,39$$

TAULUKKO 1

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
19	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

$$\text{Projektion ala} = 19\text{m} \cdot 8,2\text{m} = 155,5\text{m}^2$$

$$\text{Kokonaistuulikuorman resultantti } F_{w,k} = 0,44 \cdot 1,39 \cdot 155,5 = 95,3 \text{ kN}$$

$$\text{Tasainen kuorma } q_{w,k} = 1,25 \cdot 1 \cdot 95,3 / 155,5 = 0,77 \text{ kN/m}$$

Rakennuksen lyhyelle sivulle tuleva tuuli:

Mitat:

$$d = 18,96\text{m}$$

$$b = 10,7\text{m}$$

$$h = 8,2\text{m}$$

Rakennuksen hoikkuusluku lasketaan kaavalla  $2h/b$ , kun rakennuksen korkeus  $<15\text{m}$ .

$$\text{Hoikkuusluku } \lambda = 2 \cdot 8,2 / 10,7 = 1,53$$

$$\text{Sivusuhte } = d/b = 1,77$$

Voimakerron katsotaan taulukosta 2 ja interpoloidaan lineaarisesti, kun arvo ei täsmää suoraan taulukon arvoihin.

$$\text{Voimakerroin } C_{f,1} = 1,28 + ((1,38 - 1,28) / (3 - 1)) * (1,53 - 1) = 1,31$$

$$\text{Voimakerroin } C_{f,2} = 0,99 + ((1,07 - 0,99) / (3 - 1)) * (1,53 - 1) = 1,01$$

$$\text{Voimakerroin } C_{f,\text{pääty}} = 1,31 + ((1,01 - 1,31) / (2 - 1)) * (1,77 - 1) = 1,08$$

$$\text{Projektion ala} = 19\text{m} * 8,2\text{m} = 87,74\text{m}^2$$

$$\text{Kokonaistuulikuorman resultantti } F_{w,k} = 0,44 * 1,08 * 87,74 = 41,6\text{kN}$$

$$\text{Tasainen kuorma } q_{w,k} = 1,25 * 1 * 41,6 / 87,74 = 0,59\text{kN/m}$$

### Jäykistäville seinille tulevat tuulikuormat:

$$\text{Pitkälle sivulle tuleva kuorma} = 0,77\text{kN/m}$$

$$\text{Välipohjan korkeus} = 0,3\text{m}$$

$$\text{Yläpohjan projektion korkeus} = 4,4\text{m}$$

$$\text{Huonekorkeus} = 3\text{m}$$

$$\text{Viivakuorma} = 0,77\text{kN/m} * ((0,3\text{m} + 4,4\text{m}) + 3\text{m} / 2) = 4,75\text{kN/m}$$

Pitkällä sivulla jäykistäviä seiniä päätyseinät ja huoneistojen välinen seinä.

Pääty seinille tuleva kuorma murtorajatilassa:

$$F_{d,1} = 1,5 * 4,75\text{kN/m} * 18,96\text{m} / 4 = \mathbf{33,76\text{kN}}$$

HVS:lle tuleva kuorma:

$$F_{d,2} = 1,5 * 4,75\text{kN/m} * 18,96\text{m} / 2 = \mathbf{67,52\text{kN}}$$

$$\text{Päätyyn tuleva kuorma} = 0,59\text{kN/m}$$

$$\text{Välipohjan korkeus} = 0,3\text{m}$$

$$\text{Yläpohjan projektion korkeus} = 4,4\text{m}$$

$$\text{Huonekorkeus} = 3\text{m}$$

$$\text{Viivakuorma} = 0,59\text{kN/m} * ((0,3\text{m} + 4,4\text{m}) + 3\text{m} / 2) = 3,68\text{kN/m}$$

Päädystä jäykistäviä seiniä ovat päätyseinät ja 2 väliseinää.

Pääty seinälle 1 tuleva kuorma murtorajatilassa:

$$F_{d,1} = 1,5 * 3,68\text{kN/m} * 2,1\text{m} = \mathbf{11,58\text{kN}}$$

Pääty seinälle 2 tuleva kuorma murtorajatilassa:

$$F_{d,2} = 1,5 * 3,68\text{kN/m} * 1,6\text{m} = \mathbf{8,82\text{kN}}$$

Päädyn väliseinälle 1 tuleva kuorma murtorajatilassa:

$$F_{d,3} = 1,5 * 3,68\text{kN/m} * 3,62\text{m} = \mathbf{19,9\text{kN}}$$

Päädyn väliseinälle 2 tuleva kuorma murtorajatilassa:

$$F_{d,3} = 1,5 * 3,68\text{kN/m} * 3,2\text{m} = \mathbf{17,66\text{kN}}$$

## Levyjäykistys

Levynä toimii Gyproc Glasroc GTS 9 ulkoseinissä ja väliseinissä Glasroc GEK 13

Levyn jäykistys kapasiteetti voidaan tarkastaa [www.laskentapalvelut.fi](http://www.laskentapalvelut.fi) sivuston seinälohkon jäykistys sovelluksella, josta saadaan, että 2700mm korkean GTS 9 levyn kapasiteetti 80mm liitin välillä on 4,6kN. Liittimenä huopanaulat.

2700mm korkean GEK 13 levyn kapasiteetti 100mm liitin välillä on saman sovelluksen mukaan on 5,7kN.

Pitkäsivun ulkoseinille tuleva kuorma oli 33,76kN, joten päätyjen vaadittu levymäärä on:

$33,76\text{kN}/4,6\text{kN} = 7,3$ , eli 8kpl, eli vähintään 8kpl GTS 9 levyjä 80mm liitin välillä.

HVS:lle tuleva kuorma oli 67,52kN, joten siihen vaadittu levymäärä:

$67,52\text{kN}/5,7\text{kN} = 11,8\text{kpl}$ , eli vähintään 12kpl GEK 13 levyjä 100mm liitin välillä.

Päädyn ulkoseinälle 1 tuleva kuorma oli 11,58kN, joten sille vaadittu levymäärä:

$11,58\text{kN}/4,6\text{kN} = 2,5$ , eli vähintään 3 kpl GTS 9 levyä 80mm liitin välillä.

Päädyn ulkoseinälle 2 tuleva kuorma oli 8,82kN, joten sille vaadittu levymäärä:

$8,82\text{kN}/4,6\text{kN} = 1,9$ , eli vähintään 2kpl GTS 9 levyä 80mm liitin välillä.

Päädyn väliseinälle 1 tuleva kuorma oli 19,97kN, joten sille vaadittu levymäärä:

$19,97\text{kN}/5,7\text{kN} = 3,5$ , eli vähintään 4kpl GEK 13 levyä 100mm liitin välillä.

Päädyn väliseinälle 2 tuleva kuorma oli 17,66kN, joten sille vaadittu levymäärä:

$17,66\text{kN}/5,7\text{kN} = 3,09$ , eli vähintään 4kpl GEK 13 levyä 100mm liitin välillä.



**Alapaarretason jäykistys vinolaudoituksella**

Puumateriaalin lujuusluokka		C24
fm,k	taivutus	24N/mm <sup>2</sup>
ft,0,k	veto	14,5N/mm <sup>2</sup>
ft,90,k	veto	0,4N/mm <sup>2</sup>
fc,0,k	puristus	21N/mm <sup>2</sup>
fc,90,k	puristus	2,5N/mm <sup>2</sup>
fv,k	leikkaus	4,0N/mm <sup>2</sup>
E0,mean	kimmomoduuli	11000N/mm <sup>2</sup>
E0,05	kimmomoduuli	7400N/mm <sup>2</sup>
E90,mean	kimmomoduuli	370N/mm <sup>2</sup>
Gmean	liukumoduuli	690N/mm <sup>2</sup>
Pk	ominaistiheys	350kg/m <sup>3</sup>
Pmean	tiheyden keskiarvo	420 kg/m <sup>3</sup>

**Vinolaudoitusjäykistys**

Laudan mitat:

b	laudan leveys	100mm
h	laudan paksuus	25mm
Lc,y	nurjahsduspituus	1275mm
A	poikkileikkausala	=100mm*25mm = 2500mm <sup>2</sup>
Iz	jäyhyysmomentti	= (100*25 <sup>3</sup> )/12 = 130208,33mm <sup>4</sup>
iz	jäyhyyssäde z-akselin suhteen	= $\sqrt{\frac{88733,33}{2200}} = 6,35$
λz	hoikkuusluku	= 1275/2500=176,67
Arel,z	muunnettu hoikkuusluku	= $\left(\frac{176,67}{\pi}\right) * \sqrt{\frac{21}{7400}} = 3$
Bc	sahatavaran alkukäyryyskerroin	= 0,2
kz		= 0,5*(1+0,2*(3-0,3)*3 <sup>2</sup> ) = 2,92
kc,z		= 1/(2,92 + $\sqrt{2,92^2 + 3}$ ) = 0,158
kmod		= 1,1

$\gamma_m$		= 1,3
$f_{c,0,d}$	mitoitettava puristuslujuus	= $21 \cdot 1,1 / 1,3 = 17,77 \text{ N/mm}^2$
$N_{R,d}$	vinolautojen puristuskestävyys	= $0,158 \cdot 17,77 \cdot 2500 / 1000 = 7,04 \text{ kN}$
Vinolaudoituksen lautajako		
S		= 1,5m
Yhdelle vinolaudalle tuleva kuorma:		
V <sub>d</sub>		= $10,7 \cdot 4,75 / 2 = 25,4 \text{ kN}$
Yhden vinosidelaudan tuoma leikkausvoima:		
V <sub>R,d</sub>		= $\cos 45^\circ \cdot 7,04 = 4,97 \text{ kN}$
Vinolaudoituksen kokonainleikkauskestävyys:		
V <sub>R,d,seinä</sub>		= $10,7 / 1,35 \cdot 4,97 = 35,5 \text{ kN}$
Eli vinolaudoituksen käyttöaste		
		= $25,4 / 35,5 = 72\%$

Naulan leikkauskestävyys vinolaudoituksessa

d	naulan halkaisija	= 3,1mm
L	naulan pituus	= 100mm
t <sub>1</sub>	laudan paksuus	= 22mm
t <sub>2</sub>	naulan tunkeuma	= 78mm
$\gamma_m$		= 1,3
k <sub>mod</sub>		= 0,8
R <sub>k</sub>	naulan ominainleikkauskestävyys esiporaamattomana	= $120 \cdot 3,1^{1,7} = 821,29 \text{ N}$
kt	leikkauskestävyyden korotuskerroin, jos $t_1 > 8d$ ja $t_2 > 12d$	= $\max(1 + 0,3 \cdot ((22 - 8 \cdot 3,1) / (8 \cdot 3,1)); 1 + 0,3 \cdot ((78 - 8 \cdot 3,1) / (8 \cdot 3,1))) = 1,86$

korotuskerroin on sileillä pyöreillä nautoilla maksimissaan 1,1

$t_1 < 8d$ , joten ei käytetä korotuskerrointa

R <sub>d</sub>	naulan leikkauskestävyys	= $((0,8 \cdot 821,29) / 1,3) / 1000 = 0,51 \text{ kN}$
----------------	--------------------------	---

Tarvittava nautojen määrä:

n		= $N_d / R_d = 4,53 / 0,51 = 8,8$ eli 9 naulaa/lauta
---	--	--

Laitetaan 3 naulaa lautojen jokaiseen liitokseen.