

Joonas Alamäki

## **PUUKERROSTALON TILAELEMENTTIRAKENTEIDEN SUUNNITTELU**

# PUUKERROSTALON TILAELEMENTTIRAKENTEIDEN SUUNNITTELU

Joonas Alamäki  
Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Joonas Alamäki  
Opinnäytetyön nimi: Puukerrostalon tilaelementtirakenteiden suunnittelu  
Työn ohjaajat: lehtori Pekka Harju ja tekninen johtaja Antti Lääkkö  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021  
Sivumäärä: 48 + 1 liite

---

Betoni on ollut rakennusmateriaalina jo pitkään johtavassa asemassa kerrostalorakentamisessa. Uudistettujen paloturvallisuusmääräysten, puutuotteisen teollistumisen sekä puun ekologisten arvojen myötä puu on nousemassa erittäin varteenotettavaksi vaihtoehdoksi kerrostalorakentamiseen.

Puukoti Group Oy:llä on tarkoitus aloittaa puukerrostalorakentaminen tilaelementteinä lähivuosina. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella tilaelementtien rakenteet puukerrostaloon ja tehdä konseptimalli neljäkerroksisesta puukerrostalosta Vertex BD -suunnitteluohjelmistolla.

Puukerrostalon suunnittelu vaatii suunnittelijalta erityistä osaamista, etenkin tilaelementeillä toteutettavassa mallissa. Rakennejärjestelmiä on useita, joista yleisimpiä ovat kantaviin ulkoseiniin perustuva rankarakenteiset taso- ja tilaelementit. Samalla rakennustavalla käytetään myös CLT:tä (cross laminated timber) eli ristiinliimattua puuta. On myös olemassa pilari-palkkijärjestelmä, jonka kantava runko tehdään LVL:stä (laminated veneer lumber), viilupuisista pilareista ja palkeista. Puukerrostalo voidaan myös tehdä painumattomasta hirrestä.

Opinnäytetyössä käytiin läpi puukerrostalojen historiaa ja perehdyttiin puukerrostalojen ääneneristykseen ja paloturvallisuuteen liittyviin erityisvaatimuksiin. Samalla perehdyttiin myös tilaelementeillä rakennettavaan puukerrostaloon. Puukerrostalon suunnittelussa pyrittiin käyttämään hyödyksi tilaajan jo olemassa olevia tilaelementtimalleja ja niiden rakenneratkaisuja. Puukerrostalosta tehtiin neljäkerroksinen konseptimalli, johon mitoitettiin runkotolpat ja tehtiin tarvittavat laskelmat. Konseptimallista saatiin luotua myös piirustuksia, rakennedetaljeja ja muita julkisivukuvia.

Opinnäytetyössä saatiin laadittua puukerrostalon suunnitteluun toimiva pohja, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa. Seuraavaksi tulisi vertailla eri puutuotteiden rakennejärjestelmien hintoja ja selvittää, mikä olisi kustannuksiltaan järkevin ratkaisu.

---

Asiasanat: Puukerrostalo, tilaelementti, rakennesuunnittelu

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Civil Engineering, Option of Structural Engineering

---

Author: Joonas Alamäki

Title of thesis: Module Element Structure Design of Wooden Block of Flats

Supervisors: Lecturer Pekka Harju and Technical Director Antti Lääkkö

Term and year when the thesis was submitted: spring 2021

Number of pages: 48 + 1 appendix

---

Concrete has been the main building material in the construction of block of flats. Due to modernized fire safety regulations, ecological values of wood and improved production of wooden structures wood have become more popular option for building block of flats.

The assigner of this thesis, Puukoti Group company is going to start building wooden block of flats in the near future. The objective of this thesis was to design a concept model of a wooden block of flats which can be used in the designing of real-life buildings.

Many different structural systems were studied in this thesis. For example, a pillar-beam system which bearing frame is built with laminated veneer lumber (LVL). However, the focus was on the box element structural system which is based on bearing exterior walls. This structural system can also construct by cross laminated timber (CLT).

In this thesis, the concept model of wooden block of flats was made. Load bearing frames of exterior walls were designed, and all necessary calculations were made in the concept model. The floor plan drawings and façade drawings were acquired from the concept model.

In this thesis, a functioning layout was made for the wooden block of flats. This layout will benefit the assigner in the future. Different materials and their costs were not compared to one another in this thesis. Next it would be recommended to find out which materials and structural systems are the most cost-effective.

---

Keywords: Wooden block of flats, module element, structural engineering

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	PUUKERROSTALO.....	8
2.1	Puu materiaalina .....	9
2.2	Puukerrostalojen historiaa .....	10
3	TILAELEMENTTI .....	12
4	PUUKERROSTALON RAKENTEIDEN- JA LIITOSTEN SUUNNITTELU .....	15
4.1	Puurakenteiden suunnitteluperusteiden vaatimukset .....	15
4.2	Puurakenteiden palotekniset vaatimukset .....	15
4.2.1	Paloluokitus.....	16
4.2.2	Palosuojaus .....	16
4.2.3	Palo-osastointi .....	17
4.2.4	Suojaverhous .....	18
4.2.5	Ulkoverhous.....	19
4.2.6	Sprinklaus.....	20
4.3	Puurakenteiden äänitekniset vaatimukset .....	21
4.3.1	Ilmaääneneristys.....	21
4.3.2	Askelääneneristys.....	21
4.3.3	Puukerrostalon ääneneristys.....	22
5	PUUKERROSTALON SUUNNITTELUN KUORMAT JA JÄYKISTÄMINEN .....	24
5.1	Omapaino.....	24
5.2	Hyötykuormat .....	24
5.3	Lumikuorma.....	24
5.4	Tuulikuorma.....	25
5.5	Puurakenteiden jäykistäminen.....	27
5.5.1	Jäykistävän seinän levykohtaiset voimat.....	30
5.5.2	Ankkuroitava voima.....	31
5.5.3	Jäykistysseinän puristetun runkotolpan nurjahduskestävyys .....	32
5.5.4	Runkotolpan tukipainekestävyys alaohjauspuussa .....	36
6	PUUKERROSTALON RAKENTEIDEN- JA LIITOSTEN SUUNNITTELU .....	38
6.1	Konseptimalli .....	38
6.2	Rakenteiden suunnittelu .....	43

7	YHTEENVETO .....	45
	LÄHTEET .....	46
	LIITTEET .....	46

# 1 JOHDANTO

Kerrostalarakentaminen on painottunut suurilta osin betonirakentamiseen, mutta tänä päivänä puu on tullut osaksi kerrostalarakentamista uusien palomääräysten ja puun hyvän ekologisuuden myötä. Yleistymässä on myös perinteisen puurakentamisen siirtyminen tehtaisiin, joissa saadaan rakentamisolosuhteet optimoitua ja rakentamisen kuivaketju säilymään. Tilaelementtitekniikalla voidaan tehdä tehdasolosuhteissa jopa kokonainen asunto lähes valmiiksi ja näin ollen työmaa-aika saadaan minimoitua.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on optimoida ulkoseinän kantavat rakenteet Puukoti Group Oy:lle puukerrostalon tilaelementtiin. Tavoitteena on suunnitella tilaelementtinä toteutettava ranka-runkoinen rakenne.

Työ mallinnetaan Vertex BD -suunnitteluohjelmistolla. Puukerrostalosta tehdään konseptimalli, jossa hyödynnetään osittain jo toimiviksi havaittuja rakenne- ja mallinnusratkaisuja ja josta voidaan havainnoida mahdollisia ongelmakohtia.

Puukoti Group Oy on vuonna 2000 perustettu puurakentamisen ammattilainen. Yhtiö jakautui vuonna 2020 ja entinen nimi Puutölli Oy jäi historiaan. Yritys rakentaa pääkaupunkiseudulle ja sen kehityskuntiin, hyvien liikenneyhteyksien ja palvelujen lähelle puurunkoisia pari-, luhti- ja rivitaloja. Puukoti Group Oy:n tehdas sijaitsee Järvenpäässä, jossa tuotetaan tilaelementeistä koteja. Vuonna 2020 yrityksen liikevaihto oli 17,5 miljoonaa. Viime vuosina yritys on kehittänyt ja tehostanut toimintaansa sekä laajentanut tehdastaan. Yrityksessä työskentelee tällä hetkellä noin 50 henkilöä. (23.)

## 2 PUUKERROSTALO

Puukerrostaloksi kutsutaan kerrostaloa, jonka kantavat runkorakenteet ovat suurimmalta osin puuta. Puukerrostalon vähimmäisvaatimuksena on 2 kerrosta ja taulukkomitoituksella enintään 8-kerrosta. Yli 8-kerroksista rakennusta suunniteltaessa täytyy osoittaa tapauskohtaisesti rakennuksen täyttävän viranomaisen hyväksymän rakentamismääräysten olennaiset paloturvallisuusvaatimukset. Puukerrostalojen suunnittelua koskevat suurimmalta osin samat määräykset kuin kaikkia muitakin kerrostaloasuntoja. Puukerrostalojen tilat, tekniset laitteet ja tekniikka toimivat niin kuin kaikissa muissakin taloissa. Kuvassa 1 on havainnekuvia jo valmistuneista puisista kerrostaloista. (1.)



KUVA 1. Puukerrostaloja puisella ulkoverhouksella (2)



Puukerrostalon rakentamistapoja on useita. Niistä yleisimpiä ovat kantaviin ulkoseiniin perustuvat rankarakenteiset taso- ja tilaelementit. Samoilla rakentamistavoilla voidaan käyttää myös massiivipuulevyä, kuten CLT:tä (cross laminated timber), ristiinliimattua puuta. Näiden lisäksi on olemassa myös pilari-palkkijärjestelmä, jonka kantava runko muodostuu LVL:stä (laminated veneer lumber), viilupuisista pilareista ja palkeista. Mahdollisuus on myös tehdä painumattomasta hirrestä. (1.)

Puukerrostalon julkisivuissa voidaan alinta kerrosta lukuun ottamatta käyttää puuta, esimerkiksi umpinaista verhousta. Palomääräykset huomioon ottaen alimmassakin kerroksessa voidaan käyttää puuverhousta, kunhan se on palonsuojakäsitelty. Sisätilojen pintamateriaali voi olla puuta, kunhan huomioidaan automaattisen sammutusjärjestelmän suojaustaso. Tällöin runkoa vasten olevan suojaverhouksen pinta pitää olla A-luokkaa. (1.)

## 2.1 Puu materiaalina

Puurakentamisen lisääminen tuo työtä, toimeentuloa ja helpotusta ilmastonmuutokseen, ja sen suosio selittyy juuri puun ekologisuuden, tyylikkyyden ja kotimaisuuden kautta. Puu on ainut uusiutuva rakennusmateriaali, josta voidaan tehdä asuinrakennuksia Suomessa. Suomi on Euroopan metsäisin maa, Suomen pinta-alasta 71,6 % on metsää. Suomen metsänhoito on tärkeää hoitaa kestävästi, joka tarkoittaa, että hyvälaatuista puuta kasvaa enemmän kuin sitä hyödynnetään. (3.)

Tämän päivän kiristyvät energia-, ilmasto- ja ympäristöhaasteet ovat antaneet puulle erinomaisen edun vihreiden arvojen kasvaessa. Puutuotteiden hyödyntäminen on ekologista. Valmistus aiheuttaa pienemmän energia- ja luonnonvarojen kulutuksen, lisäksi hiilidioksidipäästöt ovat muiden materiaalien valmistusta pienemmät. Puun kasvaessa puuhun sitoutuu ilman hiilidioksidia minkä vuoksi puuta kutsutaan näin hiilivarastoksi. Puutuotteiden elinkaaren päätteeksi puuta poltettaessa vapautuu sama hiilidioksidimäärä kuin siihen kasvaessa on sitoutunut. (4.)

Suomalaisille rakentajille puu on tuttu rakennusmateriaali. Nykyisin lähes kaikki vapaa-ajan rakennukset sekä noin neljä viidestä Suomen pien- ja rivitaloista ovat puurakenteisia. Puuta osataan käyttää myös sisustuksessa, huonekaluteollisuudessa ja pienmittakaavaisessa julkisessa rakentamisessa. (5, s. 12.)

Puun lujuusominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi se, kuormitetaanko puuta syiden suunnassa vai kohtisuoraan syitä vastaan. Kuormitettaessa syiden suuntaisesti puun taivutuslujuus kasvaa suoraan verrannollisesti puun tiheyden kanssa. Vetolujuuskin riippuu puun tiheydestä, mutta ei ole suoraan verrannollinen. Puun vetolujuus voi olla jopa 20-kertainen syiden suunnassa kuin kohtisuoraan syitä vastaan. (5.)

Puupohjaiset tuotteet ovat palavia materiaaleja. Puun syttymiseen vaikuttaa sen ympärillä oleva lämpötila tai puun pintaan kohdistuva lämpösäteily ja puun kosteuspitoisuus. Puu syttyy 250–300 °C:ssa. Syttymisensä jälkeen puu hiiltyy pinnaltaan noin 0,8 mm minuutissa. Puun pinnalle muodostuva hiilikerros hidastaa lämmön siirtymistä. (6, s. 1.)

Puun kosteuspitoisuus vaihtelee ilman suhteellisen kosteuden mukaan pyrkien tasapainokosteuden ympäristönsä kanssa, eli puu on hygroskooppinen materiaali. Puumateriaalin kuivuesssa puuhun voi tulla pintahalkeamia ja muodonmuutoksia. Samalla puu kutistuu. Kuivumisen takia puun lujuustekniset ominaisuudet kasvavat. Puun muodonmuutosvaihtelut on syytä ottaa huomioon suunniteltaessa yksityiskohtia, esimerkiksi ponttilaudoituksia. (7, s. 4.)

## **2.2 Puukerrostalojen historiaa**

Suomalaiset ovat osanneet hyödyntää puuta rakentamisessa jo pitkään. Kerrostalorakentamisessa puun käyttöä ovat rajoittaneet pitkään palomääräykset, mutta Suomen liittyminen Euroopan unioniin 1990-luvulla mahdollisti monikerroksisten puurunkoisten talojen rakentamisen palomääräysten yhtenäistämistavoitteiden myötä. (8, s. 16.)

Ensimmäiset puukerrostalot rakennettiin Suomessa koerakentamishankkeina vuosina 1995–1997, jotta saatiin tietoa arkkitehtuurista, rakenteista ja suunnitteluratkaisuista. Kuvassa 2 on koerakentamishankkeena valmistunut puukerrostalo. Koerakentamisen positiivisten tulosten ansiosta paloturvallisuusmääräykset uudistettiin vuonna 1997 ja puuta oli mahdollista käyttää aiempaa enemmän kerrostalojen rungoissa ja julkisivuissa aina nelikerroksisiin rakennuksiin saakka. Vuosien 1996–2006 välillä tehtiin kahdeksan yli kaksikerroksista puukerrostaloa, jotka kaikki olivat osaltaan kokeiluluontoisia. (8, s. 16–17.)

2000-luvun puolivälissä oli hiljaisempi hetki puukerrostalorakentamisessa, mutta Ruotsista kuultiin positiivisia kokemuksia puukerrostaloista, minkä myötä Suomessa suuret metsäyhtiöt kiinnostuivat kehittämään puurakenteisia järjestelmiä ja puurakentaminen alkoi nopeasti teollistua. Vuonna 2011

uudistettiin rakentamismääräyksiä, mikä mahdollisti jopa kahdeksankerroksisten puisten kerrostalojen rakentamisen toiminnallisella palomitoituksella sekä helpotti puun asemaa rakennusmateriaalina betoniin nähden. Viimeisimmät uudistukset palomääräyksiin tehtiin vuonna 2018. Ne mahdollistivat yli kahdeksankerroksisten puukerrostalojen rakentamisen toiminnallisella paloturvallisuustarkastelulla. (8, s. 17–19.)



*KUVA 2. Koerakentamishankkeena tehty ensimmäinen puukerrostalo (9)*

### 3 TILAELEMENTTI

Tilaelementtijärjestelmässä tilaelementti on valmiin rakennuksen yksi lohko, joka voi olla esimerkiksi yksi kokonainen asunto. Tilaelementissä ovat siis yleensä valmiina jo lattia, seinät ja katto. Elementit ovat tehdasolosuhteissa valmistettavia itsenäisiä lohkoja, jotka voidaan yhdistämällä koota yhdeksi asuinrakennuskokonaisuudeksi hyvinkin nopeasti kuvan 3 mukaisesti. Tilaelementtien valmiusaste on hyvin korkea, sillä niihin asennetaan jo tehtaalla LVIS-asennukset, kiintokalusteet, ikkunat ja ovet. (8, s. 48.)

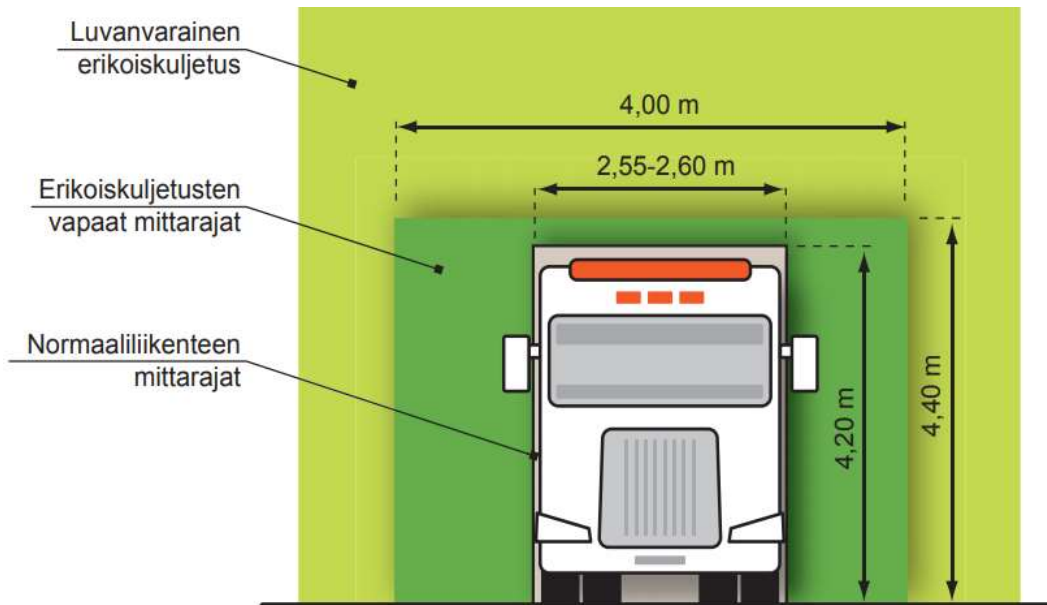
Tilaelementtirakentaminen soveltuu parhaiten sellaisiin kohteisiin, joissa huoneistojen ja huonetilojen toistuvuus on suuri. Tilaelementtejä käytetään paljon myös pelkästään rakennuksen pienten osien valmistukseen, kuten kylpyhuonerakentamisessa. Kantavina rakenteina tilaelementeissä ovat yleensä rankarakenteiset tasoelementit, mutta myös CLT-levyä käytetään hyvin paljon tilaelementtien rakenteissa. (8, s. 48.)



KUVA 3. Tilaelementin asennusta

Tilaelementtien leveyden takia kuljetus menee yleensä erikois- tai luvanvaraisena erikoiskuljetuksena. Yli 4 metriä leveät kuljetukset tarvitsevat erikoiskuljetusluvan (kuva 4), jonka myöntää toimivaltainen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (10, s. 3–8.)

Luvanvaraisissa erikoiskuljetuksissa vaaditaan vähintään kolme varoitusautoa ja vapaiden mittarajojen sisällä olevat kuljetukset vaativat 1–2 varoitusautoa. Kuljetusten vapaa pituus on 30 metriä, joka ei tilaelementtejä kuljettaessa yleensä ylity. (11, s. 24–26.)



KUVA 4. Kuljetusten rajoitukset EU- ja ETA-maissa (10, s. 5)

Tilaelementtien kuljetukset pyritään järjestämään niin, että asennusjärjestys säilyy ja tilaelementit voidaan asentaa aina suoraan kuormasta. Näin vältetään välivarastoinnilta ja myös kuivaketju säilyy parhaiten. Mikäli kuitenkin välivarastointi joudutaan toteuttamaan työmaalla, on varmistettava, että välivarastoinnin pohja on riittävän kantava ja mahdollisimman suora. Välivarastoinnissa on huomioitava asennusjärjestys sekä tilaelementtien valmistajan asettamien ohjeiden mukaiset tuenat. (12, s. 9.)

Tilaelementtien nostamisessa on huomioitava valmistajan asettama oikea nostokohta ja nostoliinon kuntoa on tarkkailtava koko prosessin ajan. Nostot suoritetaan valmistajan asettamalla tavalla, yleensä nelipistenostoina. Myös sääolosuhteet on huomioonotettava, sillä tilaelementti reagoi tuuleen todella helposti sen suuren pinta-alansa takia. (12, s. 10.)

Nostettaessa tilaelementtejä on hyvä käyttää apuna ohjauksköyttä, jolla voidaan ohjata tilaelementtiä oikeaan paikkaan. Asennustyössä on oltava nosturikuskin ja asentajien välillä joko puheyhteys tai näköyhteys. Näin saadaan nostot tehtyä oikeaoppisesti oikeaan paikkaan. (12, s.10.)

Loppuvaiheessa nostoa, kun tilaelementti on lähellä asennuspaikkaansa, sitä on hyvä ohjata rautatangilla. Se kannattaa laskea mahdollisimman lähelle asennuspaikkaansa. Tilaelementtien väli voidaan tiivistää vinssillä valmistajan ohjeiden mukaiseksi ilmaväliksi. Tämän jälkeen tilaelementin paino voidaan laskea kokonaan asennusalustansa päälle. (12, s. 11.)

Nostoliinat voidaan poistaa, kun tilaelementti on tarkistettu ja kohdistettu oikeaan paikkaansa. Tilaelementtirakentamisessa toleranssit ovat tiukat, joten on varmistettava suunnitelmien mukaisuus ja tilaelementtien suoruus. Kun ehdot täyttyvät, voidaan tilaelementti kiinnittää alustaansa ja toisiinsa rakennesuunnitelmien edellyttämällä tavalla. (12, s. 11.)

Tilaelementtitekniikalla valmistettavan puukerrostalon valmiusaste voi olla parhaillaan jopa 90 % tilaelementtien asennuksien jälkeen. Jälkitöinä on esimerkiksi tilaelementtien välit, jotka täytetään elastisella polyuretaanivaahdolla ja peitetään saumalaudoilla. Myös LVIS-työt vaativat kytKentöjä, kulkuväylien toteutukset sekä mahdolliset hormitukset työstämistä. (12, s. 11; 8, s. 49.)

## **4 PUUKERROSTALON RAKENTEIDEN- JA LIITOSTEN SUUNNITTELU**

Puukerrostalon suunniteltavien puurakenteiden tulee noudattaa Suomen rakentamismääräyskoelman (RakMK) osaa rakenteiden lujuuden sekä vakauden suhteen ja ympäristöministeriön asetusta kantavista rakenteista (13, s. 25). Puutavaran ja rakenteiden liitosten lujuusmitoitusrivoin vaikuttavat rakenteiden käyttöluokka ja kuormituksen aikaluokka, jotka on otettava huomioon puurakenteiden mitoituksessa (8, s. 86).

### **4.1 Puurakenteiden suunnitteluperusteiden vaatimukset**

Puurakenteet suunnitellaan standardien SFS-EN 1990 Suunnittelun perusteet, SFS-EN 1991 Rakenteiden kuormitukset ja SFS-EN 1995 Puurakenteiden suunnittelu sekä niitä koskevien kansallisten liitteiden mukaan.

### **4.2 Puurakenteiden palotekniset vaatimukset**

Uusimmat paloturvallisuusmääräykset tulivat voimaan vuoden 2018 alussa. Puukerrostaloa suunniteltaessa paloturvalliseksi on noudatettava Ympäristöministeriön asetusta 848/2017, joka toi mukanaan lievennyksiä puukerrostalorakentamiseen. Tätä asetusta päivitettiin 1.1.2021 selkeyttämään määräysten tulkintaa, edistämään materiaalineutraaliutta ja pienentämään rakentamiskustannuksia. (15, s. 1.)

Puukerrostalo suunnitellaan ja toteutetaan paloturvalliseksi sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla. Olennaiset vaatimukset paloturvallisuuden suunnittelussa sekä näiden vaatimusten toteuttamiseen vaikuttavat tekijät on esitetty taulukossa 1. Kantavat rakenteet tulee suunnitella siten, että tulipalon sattuessa ne kestävät niille asetetun vähimmäisajan huomioiden kerrostalon sortumisen, poistumisen turvaamisen, pelastustoiminnan ja palon hallintaan saamisen. Palon ja siitä aiheutuvan savun kehittymistä ja lisääntymistä rakennuksessa sekä mahdollisesti vieressä oleviin rakennuksiin on pystyttävä rajoittamaan. (15, s. 1.)

TAULUKKO 1. Olennaiset vaatimukset paloturvallisuuden suunnittelussa (17, s. 11)

Olennainen vaatimus	Pääasiallisia tekijöitä paloturvallisuuden suunnittelussa
Kantavilla rakenteilla tulee olla vaadittu palonkestävyys	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakennuksen paloluokka</li> <li>Palokuormaryhmä</li> <li>Rakennusosien kantavuus R</li> </ul>
Palon ja savun kehittyminen ja leviäminen tulee olla rajoitettua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakennuksen paloluokka</li> <li>Palo-osaston koko</li> <li>Rakennusosien osastoivuus EI</li> <li>Sisäpuolisten pintojen luokka</li> <li>Julkisivun ja parvekkeiden pintojen luokka</li> <li>Katteen luokka</li> <li>Suojaverhous</li> <li>Sprinklaus</li> </ul>
Palon leviäminen viereisiin rakennuksiin tulee rajoittaa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suojaetäisyys viereisiin rakennuksiin</li> <li>Julkisivun ja parvekkeiden pintojen luokka</li> <li>Katteen luokka</li> <li>Palomuri</li> <li>Ulkovaipan osastoivuus EI</li> <li>Sprinklaus</li> </ul>
Palotilanteessa henkilöiden tulee voida poistua rakennuksesta tai heidät tulee voida pelastaa muiden avustuksella	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakennuksen paloluokka</li> <li>Henkilömäärä rakennuksessa</li> <li>Rakennuksen pinta-ala</li> <li>Rakennuksen korkeus</li> <li>Poistumisteiden rakennusosien kantavuus R</li> <li>Poistumisteiden rakennusosien osastoivuus EI</li> <li>Poistumisteiden lukumäärä</li> <li>Varapoistumistie</li> <li>Poistumisteiden mitat</li> <li>Poistumisteiden pintojen luokka</li> <li>Poistumisteiden merkinnät ja valaistus</li> <li>Palovaroittimet</li> <li>Paloilmaisimet</li> <li>Savunpoisto</li> <li>Ovien avautumissuunnat</li> <li>Sprinklaus</li> </ul>
Pelastushenkilöstön turvallisuus tulee ottaa huomioon	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakennuksen paloluokka</li> <li>Rakennusosien kantavuus R</li> <li>Rakennusosien osastoivuus EI</li> <li>Pelastustiet</li> <li>Sammutusreitit</li> <li>Savunpoisto</li> <li>Sprinklaus</li> </ul>

#### 4.2.1 Paloluokitus

Rakennukset jaotellaan paloteknisiltä ominaisuuksiltaan paloluokkiin, joita ovat P0, P1, P2 ja P3. P0-paloluokassa rakennus suunnitellaan osin tai kokonaan käyttäen oletettuun palonkehitykseen perustuvaa menettelyä ja palokuormat määritetään aina tapauskohtaisesti. P1-paloluokassa rakennuksen kantavien rakenteiden tulee kestää paloa, ilman palon sammuttamista. P2-paloluokassa rajoitukset tulevat pintaosille sekä paloturvallisuutta parantaville laitteille. P3-paloluokassa rajoitetaan rakennuksen henkilömäärää ja kokoa. Kantavien rakenteiden osalta ei vaadita palonkestävyyttä. Puukerrostalot kuuluvat taulukkomitoituksella paloluokkaan P2, kun se on enintään 28 m korkea, kerrosalaltaan enintään 12 000 m<sup>2</sup> ja maksimissaan kahdeksankerroksinen. Puukerrostaloon vaaditaan automaattinen sammutusjärjestelmä. (15, s. 9; 16, s. 3.)

#### 4.2.2 Palosuojaus

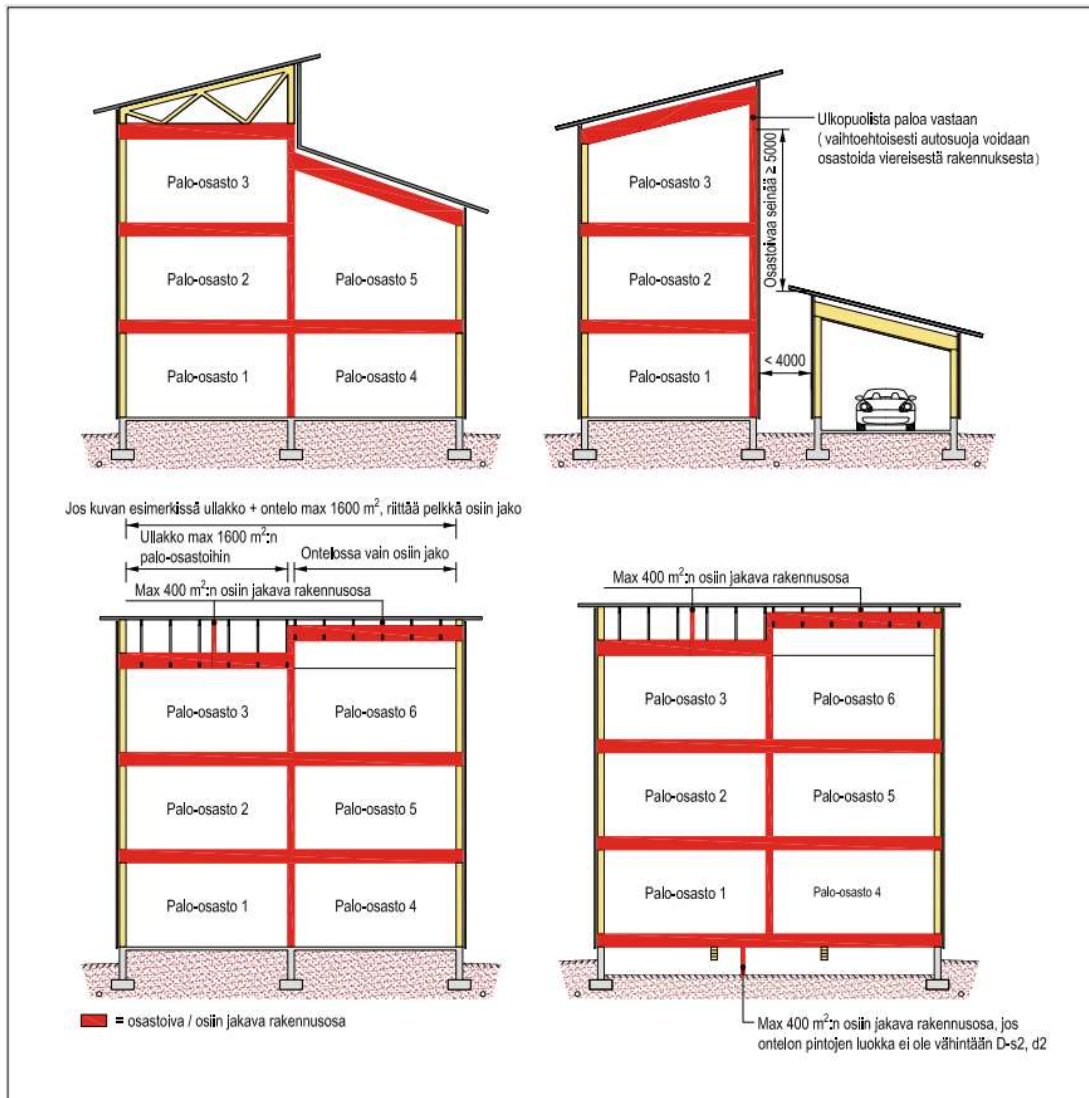
Palosuojuksella suojataan kantavia rakenteita ja lisätään niiden palonkestoa määritellyn paloaltistuksen ajan. Palosuojaus voidaan tehdä erilaisilla levyillä, kuten kipsi-, mineraali- tai mineraalivillalevyillä. Palosuojuksella itsellään ei ole paloluokkaa vaan sen suojaamalla rakenteella, joka merkitään R-luokkana. (14, s. 68.)



### 4.2.3 Palo-osastointi

Osastoivan rakenteen tarkoitus on rajoittaa palon ja savun leviäminen palo-osastosta toiseen rakennukselle määritellyn paloaltistuksen ajan, mahdollistaa turvallisen poistumisen rakennuksesta, helpottaa pelastus- ja sammutustöitä sekä minimoida omaisuusvahingot. Kantavat rakenteet, joilla ei ole osastointivaatimusta, tulee suunnitella molemmilta puolilta samanaikaisesti vaikuttavalle palorasitukselle. Kantavat ja osastoivat rakenteet mitoitetaan palorasitukselle, joka vaikuttaa samanaikaisesti ainoastaan rakenteen toisella puolella. Välipohjat mitoitetaan alapuolista paloa vastaan. (14, s.34, 68.)

Kantavien runkojen ja osastoivien rakenteiden palonkestävyys ovat tärkeitä tekijöitä paloteknisessä suunnittelussa, jotka pitää mitoittaa REI-luokkavaatimusten mukaisiksi. REI-luokassa R tarkoittaa rakenteen kantavuutta, E tiiveyttä ja I eristävyyttä. Luokkavaatimuksen perässä on lukuarvo, joka kuvaa palonkestoaikaa minuutteina, jonka rakenteen pitäisi kestää. Osastoivien rakennusosien luokkavaatimus puukerrostalolla on REI60. Puukerrostalon palo-osastointi pitää tehdä huoneistoit-  
tain, kuten kuvassa 5 on esitetty. (8, s.136.)



KUVA 5. P2-paloluokan rakennuksen osastointiperiaatteita (17, s. 45)

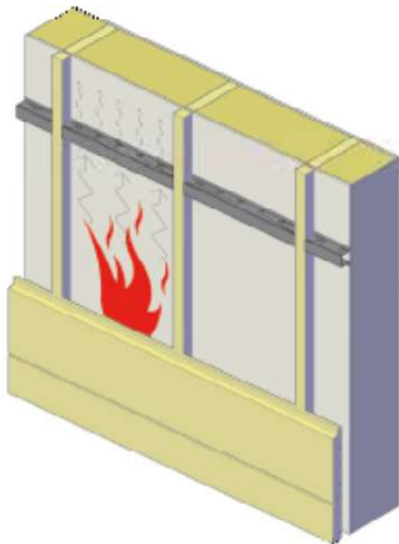
#### 4.2.4 Suojaverhoukset

Suojaverhouksen takana olevaa rakennusosaa suojataan syttymiseltä, hiiltymiseltä tai joltain muulta vaurioitumiselta suojaverhouksella eli rakennusosan pinnan muodostamalla osalla. Suomessa käytetään taulukkomitoituksella kahta suojaverhoukluokkaa, joita ovat K<sub>2</sub> 10 ja K<sub>2</sub> 30. Perässä oleva lukuarvo viittaa suojausaikaan minuuteissa ja alaindeksissä oleva numero 2 tarkoittaa, että suojaverhousta voidaan käyttää kaikilla alustoilla. Puukerrostalossa seinäpintojen suojaverhoukluokan pitää olla K<sub>2</sub> 30 eli rakennusosat voidaan suojaverhoilla esimerkiksi kipsilevyillä. Puukerrostalon palo-osastossa seinillä saa olla suojaverhoamatonta pintaa ei-kantavissa väliseinissä ja kattopinnoilla enintään 20 % ilman erityisvaatimuksia. (17, s. 35, 38.)

#### 4.2.5 Ulkoverhous

Tutkimuksissa on osoitettu, että palo leviää ulkoverhouksen takana olevassa tuuletusraossa eikä ulkoverhouksen ulkopinnalla. Puista ulkoverhousta käytettäessä palon leviämistä ulkoverhouksen takana olevassa tuuletusraossa tulee rajoittaa pysty- ja vaakasuuntaisilla palokatkoilla. Pystysuuntainen palokatko toteutuu jo itsessään koolauspuilla, kun koolaukset ovat pystysuuntaisia. Vaakasuuntainen palokatko toteutetaan kuvan 6 osoittamalla tavalla rei'itetyllä peltiprofiililla, joka hidastaa ilmavirtausta tuuletusraossa ja näin ollen savukaasujen poistuminen tuuletusraosta hidastuu. Kun savukaasut pakkautuvat tuuletusrakoon, myös palon hapensaanti hidastuu ja näin ollen paloteho heikkenee. (17, s. 24, 41–42.)

Ulkoverhouksen ulko- ja taustapinnan sekä kiinnityskoolauksien pintaluokat ovat D-s2, d2, jossa D tarkoittaa, että paloon osallistuminen on hyväksyttävää, s2 tarkoittaa vähäistä savun tuottoa ja d2 tarkoittaa palavien pisaroiden ja osien tuottoa. Puisella ulkoverhouksella toteutettavan puukerrostalon ensimmäisen kerroksen ulkoverhousluokan pitää olla B-s2, d0. Tässä luokassa paloon osallistuminen on hyvin rajoitettua sekä palavien pisaroiden ja osien tuottoa ei saa esiintyä. (17, s. 24, 41–42, 50.)



KUVA 6. Tuuletusraon palokatko rei'itetyllä peltiprofiililla (17, s. 54)

#### 4.2.6 Sprinklaus

Sprinklausjärjestelmän toiminta perustuu sprinklerisuuttimen lasiampulliin, jossa palotilanteessa neste alkaa laajeta ja rikkoo lasiampullin. Sprinkleriputkistossa kulkee koko ajan paineenalaista vettä ja lasiampullin rikkoutuessa vain paloalueilla suuttimista alkaa tulla vettä. Kylmissä tiloissa, kuten parvekkeilla, sprinklausjärjestelmän suuttimina käytetään kuivasuuttimia ja laukaisumekanismi asennetaan lämpimään tilaan, jotta putkistot eivät jäädy ja saadaan turvattua sprinklereiden toiminta. (17, s. 74–75.)

Yli kaksikerroksisissa puukerrostaloissa sprinklausjärjestelmä on pakollinen. Sprinklausjärjestelmän eli automaattisen sammutusjärjestelmän avulla mahdollinen tulipalo saadaan hallintaan muutamissa minuuteissa ja näin ollen vältetään henkilövahingoilta ja suurimmilta omaisuusvahingoilta. Palon syttyessä sprinklerijärjestelmä laukeaa yleensä 1–2 minuutin kuluessa ja rajaa paloa leviämiseltä ja jäähdyttää paloa hyvin voimakkaasti. Palokuorma ei pääse syttymään kokonaisuudessaan, kun sprinklatussa asuinhuoneistossa palo ei pääse kehittymään täyteen mittakaavaan. (17, s. 7.)

Sprinklausjärjestelmiä on kahdenlaisia: perinteinen sprinklausjärjestelmä, jota on käytetty jo pitkään, ja vesisumusprinklerijärjestelmä, joka on uudempi järjestelmä. Perinteinen sprinklausjärjestelmä on halvempi ratkaisu, koska se on niin yleinen. Putkistopaineena on 2–5 bar ja palotilanteessa järjestelmä kastelee pinnat ja sammuttaa palon. Vesisumusprinklereiden hyvä puoli on sen vähäinen veden käyttö palotilanteessa. Perinteiseen järjestelmään verrattuna vesisumusprinklerit käyttävät vettä noin 10–40 % riippuen siitä, onko matalapainevesisumujärjestelmä, jossa putkistopaine on 5–16 bar, vai korkeapainevesisumujärjestelmä, jossa putkistopaine on 35–140 bar. Yhdellä suuttimella voidaan kattaa jopa 25 m<sup>2</sup>:n alue. Vesisumusprinklereissä vesipisaroiden koko on huomattavasti pienempi ja höyrystyessään ne voivat laajeta 1 700-kertaisiksi syrjäyttäen happea. Vesisumu leviää kolmiulotteisesti vähentäen lämpösäteilyä, sitoen lämpöenergiaa ja sammuttaen palon. (17, s. 75.)

Automaattista sammutusjärjestelmää suunniteltaessa mukana suunnittelussa ovat alan erikoissuunnittelija, rakennesuunnittelija sekä LVI-suunnittelija. Sprinklerijärjestelmät on säädelty standardeilla SFS 5980 ja SFS-EN 12845, riippuen vaaditusta sprinkleriluokasta, tilojen mitoista sekä sprinklerijärjestelmän toiminta-ajasta. Sprinklaus pitää olla vähintään standardin SFS 5980 mukainen, kun rakennuksen keskikorkeus ≤ 14 m. (17, s. 75.)

### 4.3 Puurakenteiden äänitekniset vaatimukset

Rakennuksissa ilmenee erilaisia ilmaääniä, joita syntyy esimerkiksi ihmisten puheesta, musiikista, teknisistä järjestelmistä ja audiolaitteista. Ilmaäänät aiheuttavat värähtelyä tilojen pinnoille ja tätä kautta rakenteet värähtelevät, mikä aiheuttaa ilman värähtelyä rakenteiden toisella puolella. Näin ääni siirtyy tilasta toiseen. Ilmaääneneristyksen tarkoituksena on minimoida äänen siirtyminen rakenteiden kautta tilasta toiseen. (18, s. 19.)

Rakennusten askeläänet syntyvät yleensä vaakarakenteisiin eli ala- ja välipohjiin kohdistuvista iskuista, esimerkiksi kävelystä, irtaimiston siirtämisestä ja esineiden putoamisesta. Välipohjiin kohdistuvat iskut saavat rakenteet värähtelemään eli syntyy rakenteissa etenevää runkoääntä, joka aiheuttaa ilmaääntä vaakarakenteiden toisella puolella. (18, s. 19.)

#### 4.3.1 Ilmaääneneristys

Määräykset tilojen väliselle ilmaääneneristykselle laaditaan äänenpainetasojen erona vastaanotto- ja lähetystiloissa tai tilasta toiseen siirtyvänä äänitehona. Ympäristöministeriön laatimassa asetuksessa ääniympäristöstä vaatimukset ilmaäänieristykselle perustuvat tilojen väliseen äänenpainetasojen erotukseen. Jotta mittauksista saadaan vertailukelpoisia, on vastaanottotilan jälkikaiunta-aikaan 0,5 sekuntia standardisoitu, koska äänenpainetaso riippuu tilan koosta sekä kalustuksesta. Mitä suurempi  $D_{NT}$  eli äänitasoero tai  $D_{NT,W}$  eli äänitasoeroluku on, sitä parempi ääneneristävyys tilojen välillä on. (18, s. 19.)

Yksittäisten rakennusosien, kuten ikkunoiden ilmaääneneristyslukua  $R_w$  mitataan laboratorio-olosuhteissa ilmaisemaan ilmaääneneristyskykyä. Mitä suurempi ilmaääneneristysluku  $R_w$  tai ilmaääneneristävyys  $R$  on, sitä parempi ääneneristyskyky rakennusosalla on. (18, s. 19.)

#### 4.3.2 Askelääneneristys

Askeläänieristys tilojen välillä määritetään äänenpainetasoon perustuen vastaanottotilassa askeläänikojeella. Askeläänieristyksen mittalukuun on standardisoitu 0,5 sekuntia jälkikaiunta-aikaan, koska vastaanottotilan koko ja kalustus vaikuttavat äänenpainetasoon suuruuteen. Askeläänitasolukuun  $L'_{nT,W}$  on lisätty spektripainotusermi  $C_{1,50-2500}$ , joka laajentaa mittaustaajuuksia matalammilla

taajuuksilla 50, 60 ja 83 Hz sekä ottaa huomioon suuret kapeakaistaiset askeläänitasot yksittäisillä taajuuskaistoilla. Askeläänitasoluvun  $L'_{nT,W} + C_{1,50-2500}$  tai askeläänitason  $L'_{nT}$  mittatulos kertoo askeläänieristävyyden tason, mitä pienempi lukema, sitä parempi askelääneneristys. Taulukossa 2 on esitetty ääneneristykseen vaatimukset uudelle rakennukselle. (18, s. 19.)

TAULUKKO 2. Ääneneristykseen vaatimukset uudelle rakennukselle (18, s. 20)

Huonetila	Pienin sallittu äänitaso-eroluku $D_{nT,W}$ (dB)	Suurin sallittu askelääni-tasoluku $L'_{nT,W} + C_{1,50-2500}$ (dB)
Asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä	55	53
Uloskäytävästä asuin-, majoitus- tai potilashuoneeseen	39	63

### 4.3.3 Puukerrostalon ääneneristys

Monikerrosrakenteita käytettäessä saavutetaan riittävä ääneneristävyys puukerrostaloissa. Esimerkiksi tilaelementtiteknikalla rakennettaessa hyvä ääneneristävyys saavutetaan sen kaksoisrakenteiden ansiosta. Monikerroksiset levytetyt puurakenteet poikkeavat huomattavasti massiivirakenteista äänitekniikan toimintansa puolesta. Esimerkiksi kerroksellisten levypintaisten sivuavien rakenteiden aiheuttamat sivutiesiirtymät jäävät usein vähäisiksi, koska levypintaisten rakenteilla on pieni äänen säteilykerroin. Tämän takia esimerkiksi seinärakenteisiin kohdistuvien iskujen tuottamat äänet eivät tavallisesti kulkeudu naapurihuoneistoa pidemmälle. (8, s. 158.)

Levypintaisten rakenteiden liittymät poikkeavat äänitekniikasta massiivirakenteiden jäykistä liittymistä. Mekaanisilla liittymillä tehdyt puurakenteiden liitokset ovat joustavia, ja liittymissä on lähes aina sauma, joka katkaisee rakenteen jatkuvuuden. Näin ollen joustavat ja katkoja sisältävät liittymät vähentävät osaltaan sivutiesiirtymän vaikutusta, koska ne eivät välitä värähtelyä samoin kuin jäykät liitokset. (8, s. 158.)

Puurakenteisissa asuinrakennuksissa tulee kiinnittää erityistä huomiota matalien taajuuksien eristämiseen. Matalien taajuuksien huomioiminen korostuu erityisesti välipohjissa, koska niiden tulee eristää ilmaa myös asumisesta aiheutuvia askelääniä, joiden taajuusalue on noin 25–200 hertsiä. Suurin osa asuinrakennuksen äänistä on korkeataajuisia (puhe 50–10 000 hertsiä), joita puukerrostalon monikerrosrakenteet eristävät hyvin. (8, s. 159.)

Huoneistojen väliset seinät puukerrostalossa tehdään yleensä kaksoisrunkoisena, jolloin ääneneristys- ja palotekniset vaatimukset täyttyvät. Ääneneristys perustuu kaksoisrunkoisessa seinässä eli niin sanotussa jousi-massa-yhdistelmä-seinässä toisistaan erillään olevien levymäisten massojen ja niiden välissä olevan ilmatilan yhteistoimintaan. Runkojen välissä oleva ilmatila toimii ”jousena”, joka vaimentaa seinän toiselta puolelta tulleen värähtelyn siirtymistä toiselle seinän puoleliskolle. Kaksoisrunkoseinä käy niin rankarakenteiseen kuin CLT-rakenteiseenkin rakennukseen. (8, s. 161.)

Puukerrostaloissa on useita välipohjaratkaisuja, joissa jousi-massa-yhdistelmä toimii kuten kaksinkertaiset seinät. Perinteisessä ratkaisussa alakattolevytytys ja välipohjapalkkien kansirakenne toimivat massoina. ”Ilmajousena” toimii massojen välissä oleva ilmatila. Puukerrostalon välipohjan kelluvat lattiarakenteet ja alapuoliset paksut levykerrokset vähentävät äänen sivutiesiirtymää välipohjien liittymissä. Välipohjan massaa lisäämällä saadaan parannettua ääneneristävyttä. Tämä toteutetaan yleensä lisäämällä massaa kelluvaan pintalaattaan. (8, s. 164.)

Kelluva pintalaatta voidaan toteuttaa myös joustavan kerroksen päälle (askeläänieriste), jolloin pintalaatan reunat on jätettävä kosteusvaihteluista johtuvan elämisen liikuntavaran (5–10 mm) verran irti seinistä ja muista pystyrakenteista, jotta äänisiltaa ei pääse muodostumaan. Askeläänieristeenä käytetään esimerkiksi mineraalivillaa. Mitä joustavampaa askeläänieristettä ja pintalaattana raskasta betonirakennetta käytetään, voidaan ilmaääneneristävyttä parantaa jopa 5 desibeliä ja askelääneneristävyttä jopa yli 10 desibeliä. (8, s. 165–166.)

## 5 PUUKERROSTALON SUUNNITTELUN KUORMAT JA JÄYKISTÄMINEN

Laskettaessa kuormia puukerrostaloon perehdytään olennaisiin laskennoissa huomioitaviin kuormiin, kuten omapainoon, hyötykuormiin, lumikuormaan ja tuulikuormaan. Tarkemmat ohjeet kuormituksista sekä suunnittelusta löytyvät teoksista RIL 244-2007 Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta, suunnittelu- ja valmistusohjeet, RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje ja RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat.

### 5.1 Omapaino

Rakenteiden omapaino kuuluu pysyviin kuormituksiin, joka voidaan laskea nimellismittojen sekä nimellisten tilavuuspainojen perusteella. Omapainoon kuuluvat kaikki kiinteät osat ja laitteet, kantavat ja ei-kantavat osat, esimerkiksi yläpohja, välipohjat ja seinät. (13, s. 34.)

### 5.2 Hyötykuormat

Hyötykuorma oletetaan muuttuvaksi ja liikkuvaksi kuormaksi, joka vaikuttaa tarkasteltavan osan kannalta epäedullisimmassa osassa. Hyötykuorma aiheutuu tilojen käytöstä, jota ilmaantuu esimerkiksi ihmisen kävelystä välipohjassa. Laskuissa voidaan käyttää hyötykuormana 2 kN/m<sup>2</sup>. (13, s. 34; 22, s. 63–64.)

### 5.3 Lumikuorma

Lumikuorma määritellään maassa olevan lumikuorman arvon  $S_k$  perusteella paikkakuntaakohtaisesti. Kaavalla 1 voidaan laskea lumikuormat katolle lumikuorman ominaisarvon perusteella (kuva 7). (13, s. 36.)

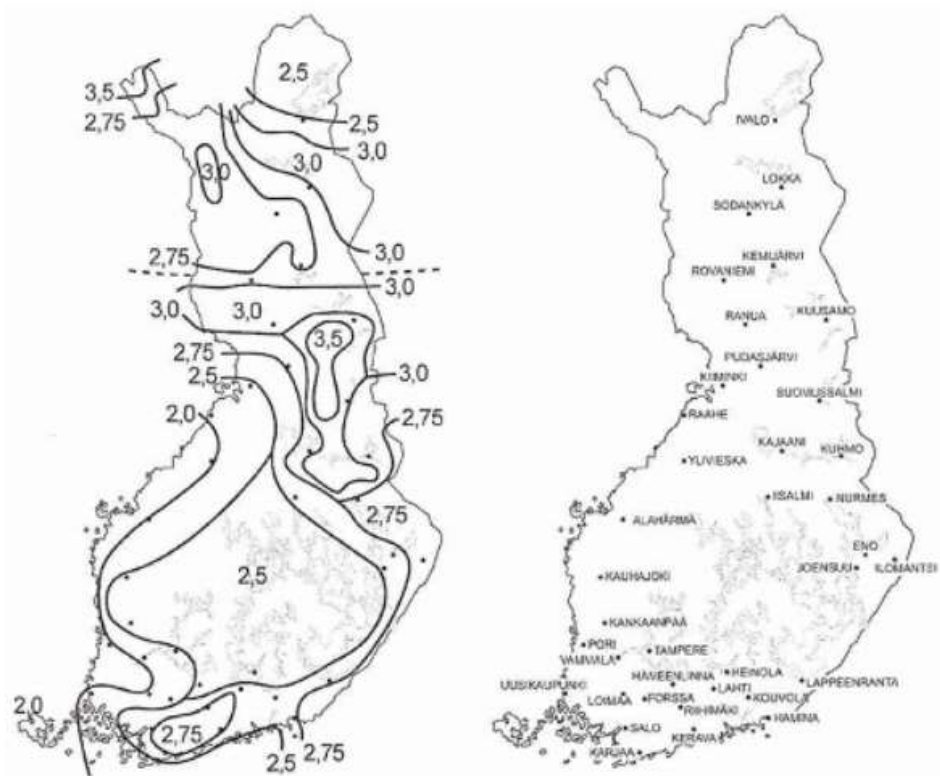
*KAAVA 1. Lumikuorma katolla*

$$S = \mu * C_e * S_k$$

$\mu$  = lumikuorman muotokerroin katolla yleensä 0,8

$C_e$  = tuulensuojaisuuskerroin määritellään rakennuksen tuulensuojautuvuuden ja koon mukaan





KUVA 7. lumikuorman ominaisarvot  $S_k$  maanpinnalla (13, s. 37)

#### 5.4 Tuulikuorma

Rakennuksen tuulikuorman määrittämiseen voidaan käyttää Suomessa yksinkertaistettua menetelmää aina tavanomaisten rakennusten yhteydessä. Tuulikuormituksen arvoon vaikuttavat rakennuksen maastoluokka, joka voidaan poimia taulukosta 3, nopeuspaine sekä projektiopinta-ala kohtisuoraan tuulta vastaan. Näiden arvojen perusteella voidaan määrittää kokonaistuulikuorma kaavalla 2. (13, s. 41.)

KAAVA 2. Kokonaistuulikuorman ominaisarvo

$$F_{w,k} = c_f * q_k(h) * A_{ref}$$

$c_f$  = rakenteen voimakertoin

$q_k(h)$  = rakennuksen korkeutta  $h$  vastaava nopeuspaine

$A_{ref}$  = rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala

Kokonaistuulikuorman resultantti voidaan muuttaa kaavalla 3 tasaiseksi kuormaksi kertoimella 1,25.

*KAAVA 3. Kokonaistuulikuorman tasainen kuormitus*

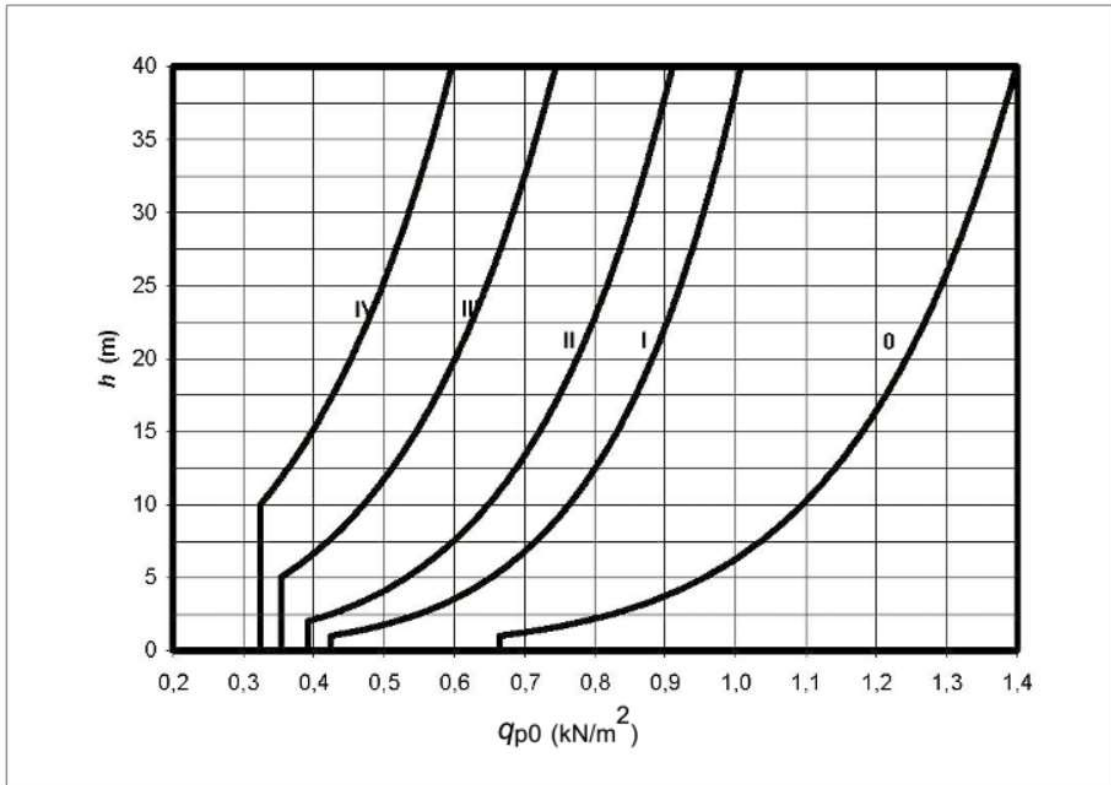
$$q_{w,k} = 1,25 * c_f * q_k(h)$$

Maastoluokka määräytyy rakennetun ympäristön, kasvillisuuden tai ympäröivän maaston mukaan. Taulukosta 3 voidaan arvioida rakennukselle sopiva maastoluokka. (13, s. 43.)

*TAULUKKO 3. Maastoluokat (13, s. 43)*

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

Tuulen nopeuspaine määräytyy rakennuksen korkeuden ja maastoluokan mukaan. Nopeuspaine voidaan määrittää riittävällä tarkkuudella kuvasta 8. (13, s. 41.)



KUVA 8. Maastoluokkien nopeuspaineen ominaisarvot (13, s. 42)

Rakennuksen mittasuhteiden ja hoikkuuden perusteella määritellään voimakerroin  $c_f$ . Taulukossa 4 on esitetty yksinkertaistetun menetelmän voimakertoimien arvot. (13, s. 43.)

TAULUKKO 4. Rakenteen voimakertoimien  $c_f$  arvoja (13, s. 43)

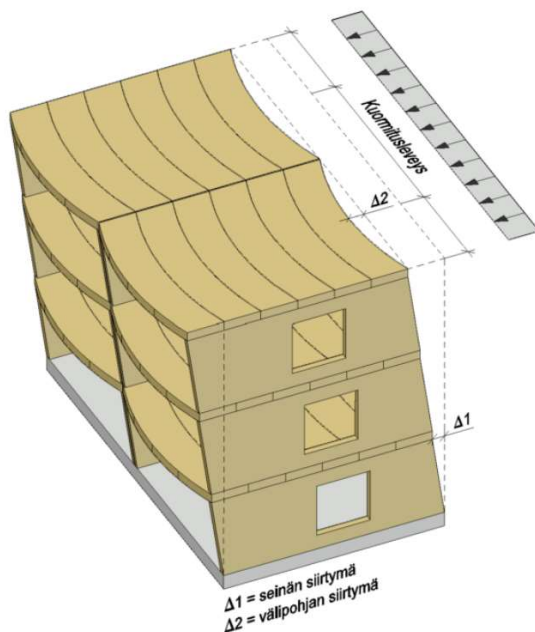
Kuvaus	$c_f$
Umpinainen rakennus yleensä	1,3
Pulpettikattoinen umpinainen rakennus tarkasteltaessa kattolapteen suuntaista tuulta, kun katon kaltevuus on 5°...40° (toisessa suunnassa $c_f = 1,3$ )	1,5
Osittain avoin rakennus, kun tuulen puoleisella sivulla olevien aukkojen pinta-ala on enintään 30 % rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta	1,6
Erillinen seinämä	2,1

## 5.5 Puurakenteiden jäykistäminen

Rakennejärjestelmä tulee jäykistää ulkopuolisia rasituksia, kuten tuulikuormaa ja rakenteiden epäkeskisyyksistä aiheutuvia kuormia, vastaan. Yksittäisen rakennusosan pitää kestää sille aiheutuvat kuormat rakenteiden sisäisistä voimista. Jäykistysjärjestelmään kuuluvat vaaka- ja pystyrakenteet,

joissa vaakarakenteina on väli- ja yläpohjat ja pystyrakenteina seinät, mastopilarit tms. Rakenteiden jäykistämällä pyritään estämään rakenteissa syntyvät liian suuret geometriset muutokset. (19, s. 10; 14, 19–20.)

Puukerrostalon jokainen huoneisto muodostaa oman jäykistysjärjestelmänsä. Puurakenteinen välipohja voidaan tehdä jatkuvaksi tasoksi, koska vaakakuormat jakautuvat huoneistoittain ja välipohjan äänen tai värähtelyn siirtyminen huoneistosta toiseen ei aiheuta haittaa. Kuvassa 9 on esitetty kerrostalon jäykistys vaakakuormia vastaan. Välipohja jakaa vaakakuormat jäykistävälle pystyrakenteille. Tällaisessa tilanteessa pitää huomioida, että välipohja ja jäykistävien rakenteiden liitokset eivät ole äärimmäisen jäykkiä, vaan joustavia. Joustavuus pitää huomioida, kun määritetään, miten jatkuva yhtenäinen taso jakaa kuormat jäykistävälle pystyrakenteille. Vaakarakenteilta pystyy siirtämään pystyrakenteille vain sellainen voima, jonka niiden liitos pystyy välittämään. Välipohjassa levytys mitoitetaan leikkausvoimalle ja tasossa oleva taivutusmomentti otetaan tasossa olevalla paarrerakenteella. Leikkausvoimat siirretään levyjen reunoissa olevien liittimien avulla pystyrakenteisiin ja sitä kautta perustuksille. (8, s. 90.)



KUVA 9. Asuinkerrostalon jäykistys vaakakuormia vastaan (20)

Puukerrostalon toteuttaminen tilaelementtitekniikalla eroaa jäykistämisen kannalta muihin rakennusmenetelmiin nähden siten, että tilaelementin itsessään pitää olla itsenäinen jäykkä rakennusosa. Erityistä huomiota jäykistämisen suunnittelussa vaatii tilaelementtien nostojen, kuljetusten

ja asennuksien aikainen jäykkyys. Tilaelementit voivat olla hyvinkin ylimitoitettuja valmiin rakennuksen toimintaansa nähden, koska nostoissa aiheutuvat suuret kuormitukset elementeille. (8, s. 48.)

Pystyrakenteiden vinoudesta ja pystykuormien epäkeskisyyksistä aiheutuva kerroksittainen lisävaakavoima  $N/150$  on esitetty kuvassa 10 ja voidaan laskea kaavalla 4.

*KAAVA 4. Kerroksittainen lisävaakavoiman resultantti*

$$N = \frac{u_{s_{rak}} * h * L + y_{p_{rak}} * b * L}{150}$$

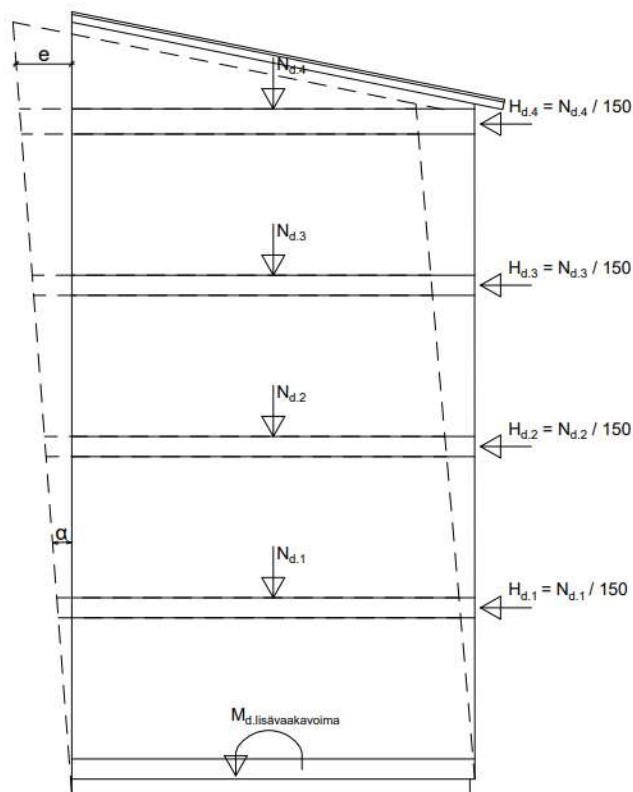
$u_{s_{rak}}$  = ulkoseinän paino

$h$  = kerroksen korkeus

$L$  = jäykistävän seinän kokonaispituus

$y_{p_{rak}}$  = kerroskohtaisen yläpohjan/välipohjan paino

$b$  = kuormitusleveys



*KUVA 10. Lisävaakavoiman kertymisen periaatekuva*

Kerroskohtainen tuulikuorma sekä lisävaakavoima voidaan laskea yhteen kaavalla 5.

*KAAVA 5. Kerroskohtaiset vaakavoimat*

$$H_{yht} = H_{MRT} + N$$

$H_{MRT}$  = kerroksittainen tuulikuorman resultantin murtorajatila

$N$  = kerroksittainen lisävaakavoiman resultantti

### 5.5.1 Jäykistävän seinän levykohtaiset voimat

Jäykistävien seinien suunnittelussa on huomioitava vaaka- ja pystysuuntaiset kuormat, ja jäykistysseinät täytyy jäykistää tasossaan jäykistyslevyä, vinojäykistystä tai momenttia kestäviä liitoksia käyttäen. Jäykistyslevyinä voidaan käyttää esimerkiksi tuulensuojalevyä. Jäykistävinä seinälohkoina ei tarvitse huomioida kapeampia seinälohkoja, kun seinälohko on leveydeltään alle neljäsosa seinän korkeudesta. Vaakarakenteiden voimat oletetaan siirtyvän pystyrakenteille symmetrisesti. Kerroskohtainen rakennuksen epäkeskisyydestä aiheutuva lisävaakavoima sekä tuulikuorma lasketaan yhtä levyä kohden ja lasketaan levykohtaiset vaakavoimat alas. Levykohtaiset vaakavoimat saadaan kaavalla 6 ja ensimmäiseen kerrokseen laskettuna kaavalla 7. (13, s. 156–157.)

*KAAVA 6. Levykohtaiset vaakavoimat*

$$H_{levy} = \frac{H_{yht}}{n}$$

$H_{yht}$  = kerroskohtainen vaakavoima

$n$  = jäykistyslevyjen määrä

*KAAVA 7. Levykohtaiset vaakavoimat ensimmäiseen kerrokseen laskettuna*

$$M_{H,levy} = H_{levy} * h_H$$

$H_{levy}$  = levykohtainen vaakavoima

$h_H$  = kerrosten resultanttien korkeudet ensimmäisestä mitoitettavasta kerroksesta

Tämän jälkeen voidaan laskea levyä kohti kertyvä momentti  $M_{i.v.Ed}$ , jossa yhdistetään kerroksittain levykohtaiset vaakavoimat.

### 5.5.2 Ankkuroitava voima

Jos edellä lasketuista vaakavoimista syntyvä kaatava momentti  $M_{i.v.Ed}$  on liian suuri, puukerrostalon rakenteiden omapainosta koostuva pystyvoima ei riitä vastaamaan kaatavaa momenttia. Siksi rakenteet tulee ankkuroida toisiinsa ja perustuksiinsa. Opinnäytetyössä ei ole suunniteltu, miten voimat ankkuroidaan, vaan lasketaan vain ankkuroitava voima kaavalla 8. (13, s. 158.)

*KAAVA 8. Ankkuroitava voima*

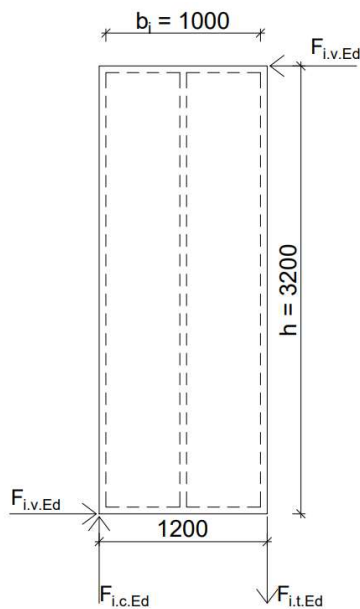
$$F_{i.c.Ed} = F_{i.t.Ed} = \frac{F_{i.v.Ed} * h}{b_i}$$

$h$  = seinän korkeus

$b_i$  = ankkurointipisteiden välinen leveys jäykistelevyssä

$F_{i.v.Ed}$  = yksittäisen levyn vaakavoima

Jäykistävän seinän ulkoiset pystyvoimat ovat esitetty kuvassa 11.



*KUVA 11. Jäykistävän seinän ulkoiset pystyvoimat*

### 5.5.3 Jäykistysseinän puristetun runkotolpan nurjahduskestävyys

Kaikki ulkoseinän runkotolpat voidaan olettaa päistään nivelellisesti tuetuiksi. Runkotolppien heikompi suunta on tuettu tuulensuojalevytyksellä nurjahdusta vastaan, joten heikommassa suunnassa nurjahdusta ei tarvitse tarkastaa. Puristetun runkotolpan nurjahduskestävyys sekä samanaikaisesti puristetun ja taivutetun runkotolpan nurjahduskestävyys mitoitetaan liitteen 1 mukaisesti. Runkotolpan taivutusmomentti tuulikuormasta lasketaan kaavalla 9. (13, s. 78.)

*KAAVA 9. Runkotolpan taivutusmomentti tuulikuormasta*

$$M_{w,k} = \frac{C_{p,net} * q_k(h) * b_i * L_c^2}{8}$$

$C_{p,net}$  = osapinnan nettotuulenpainekerroin

$q_k(h)$  = rakennuksen korkeutta h vastaava nopeuspaine

$b_i$  = kuormitusleveys

$L_c$  = runkotolpan pituus

Poikkileikkauksen jäyhyysäde y-akselin suhteen saadaan kaavalla 10.

*KAAVA 10. Jäyhyysäde*

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

$h$  = sivumitta

Poikkileikkauksen hoikkuusluku vahvemmassa suunnassa saadaan kaavalla 11.

*KAAVA 11. Sauvan hoikkuusluku vahvemmassa suunnassa*

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y}$$

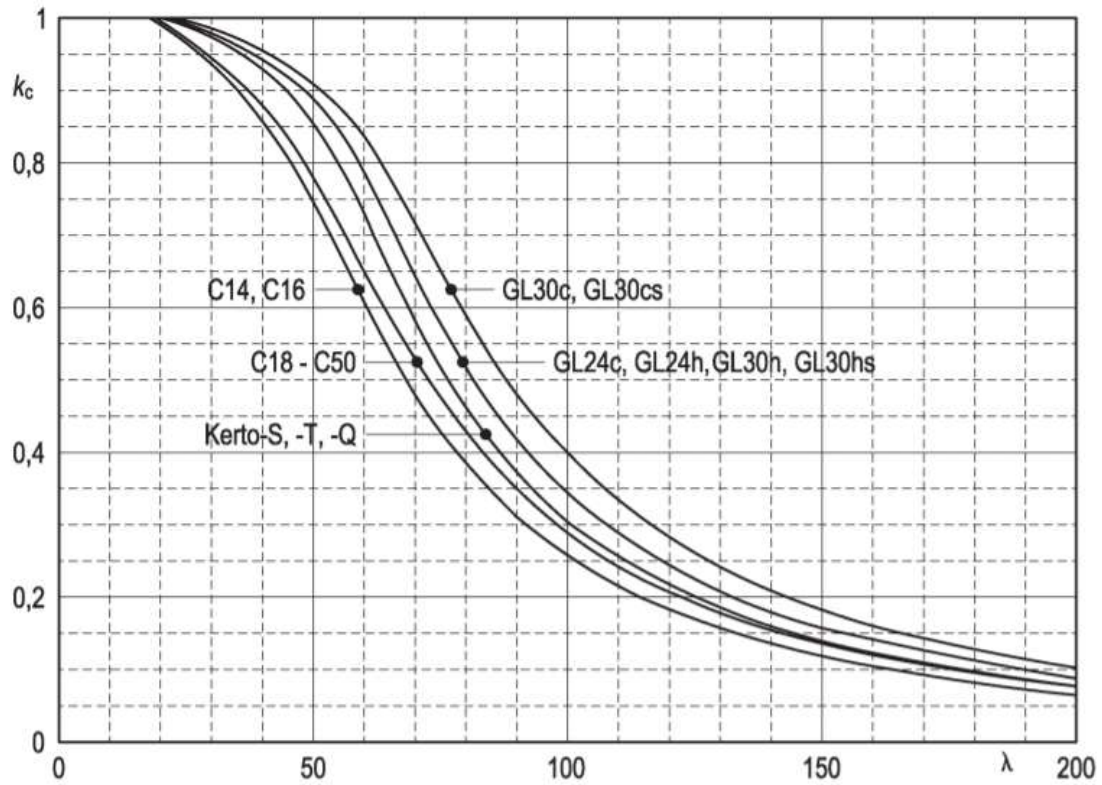
$L_{c,z}$  = nurjahduspituus z-akselin suuntaisessa nurjahduksessa



$i_y$  = poikkileikkauksen jäyhyysäde y-akselin suhteen

Nurjahduskerroin  $k_c$  saadaan kuvasta 12.

$$k_c = 0,78$$



KUVA 12. Hoikkuusarvosta  $\lambda$  riippuva nurjahduskerroin  $k_c$  (21, s. 27)

Nurjahduskestävyyden mitoitusehtona on kaava 12.

KAAVA 12. Nurjahduskestävyyden mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{cy} + f_{c,o,d}} \leq 1$$

Puristusjännityksen mitoitusarvo puun syysuunnassa saadaan kaavalla 13.

KAAVA 13. Puristusjännitys

$$\sigma_{c.0.d} = \frac{N_d}{b \cdot h}$$

$N_d$  = rakenneosassa keskimäärin vaikuttavan puristusvoiman mitoitusarvo

$b$  = runkotolpan poikkileikkauksen leveys

$h$  = runkotolpan poikkileikkauksen korkeus

Puristuslujuuden mitoitusarvo puun syysuunnassa saadaan kaavalla 14.

**KAAVA 14. Puristuslujuus**

$$f_{c.0.d} = \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

$f_{c.0.k}$  = sahatavaran puristuslujuus syysuuntaan

$k_{mod}$  = aikavaikutuskerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus, saadaan taulukosta 5

$\gamma_M$  = materiaalin osavarmuusluku

Materiaalien osavarmuusluvut Suomessa on esitetty taulukossa 5 (21, s. 14).

**TAULUKKO 5. Materiaalien osavarmuusluvut  $\gamma_M$  Suomessa (21, s. 14)**

<b>Perusyhdistelmät:</b>	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,3
Liimapuu, CLT	1,25
LVL, vaneri, OSB-levy	1,2
Muu lastulevy, kuitulevyt	1,3
Liitokset	1,3
<b>Onnettomuusyhdistelmät</b>	<b>1,0</b>

Materiaalien muunnoskerroimet ovat esitetty taulukossa 6 (21, s. 16).

TAULUKKO 6. Muunnoskerroimen  $k_{mod}$  arvot käyttöluokassa 1 (21, s. 16)

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuu, LVL, Vaneri, CLT	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	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

Taivutusjännityksen mitoitusarvo saadaan kaavalla 15.

KAAVA 15. Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2}$$

$M_d$  = taivutusmomentti, joka saadaan kaavalla 16

$b$  = runkotolpan poikkileikkauksen leveys

$h$  = runkotolpan poikkileikkauksen korkeus

KAAVA 16. Tuulesta johtuva maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,5 * M_{w,k}$$

Sahatavaran taivutuslujuus saadaan kaavalla 17.

KAAVA 17. Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M}$$

$f_{m,k}$  = sahatavaran taivutuslujuus, saadaan taulukosta 7

$k_{mod}$  = aikavaikutuskerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus, saadaan taulukosta 5

$\gamma_M$  = materiaalin osavarmuusluku, saadaan taulukosta 6

Taulukossa 7 on esitetty materiaalien ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet (21, s. 16).

TAULUKKO 7. Materiaalien ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet (21, s. 16)

Lujuusluokka	Sahatavara			Liimapuu		Halkaistu liimapuu	
	C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL24c	GL30c	GL30cs <sup>1)</sup>	
Ominaislujuudet (N/mm <sup>2</sup> )							
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	24	30	28
Veto	$f_{t,0,k}$	10	14,5	19	17	19,5	18,7
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	24	21,5	24,5	23,3
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,5	2,5	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5
Jäykkyysominaisuudet (N/mm <sup>2</sup> )							
Kimmomoduuli	$E_{0, mean}$	9000	11000	12000	11000	13000	12500
	$E_{90, mean}$	300	370	400	300	300	300
Liukumoduuli	$G_{mean}$	560	690	750	650	650	650
Tiheydet (kg/m <sup>3</sup> )							
Ominaistiheys	$\rho_k$	320	350	380	365	390	390
Tiheyden keskiarvo	$\rho_{mean}$	380	420	460	400	430	430

#### 5.5.4 Runkotolpan tukipainekestävyys alaohjauspuussa

Liitteessä 1 tarkastetaan, kestäkö alaohjauspuu mitoitettavan jäykisteseinän runkotolpan aiheuttaman leimapaineen. Kaavalla 18 saadaan alaohjauspuuhun kohdistuva puristusjännitys.

KAAVA 18. Puristusjännityksen mitoitusarvo

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{b \cdot h}$$

$N_d$  = rakenneosassa keskimäärin vaikuttavan puristusvoiman mitoitusarvo

$b$  = runkotolpan poikkileikkauksen leveys

$h$  = runkotolpan poikkileikkauksen korkeus

Puristuslujuus kohtisuoraan syysuuntaa vasten saadaan kaavalla 19.

*KAAVA 19. Puristuslujuuden mitoitusarvo*

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} * k_{mod}}{\gamma_M}$$

$f_{c,90,k}$  = sahatavaran puristuslujuus, saadaan taulukosta 7

$k_{mod}$  = aikavaikutuskerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus, saadaan taulukosta 5

$\gamma_M$  = materiaalin osavarmuusluku, saadaan taulukosta 6

Tukipainekerroin lasketaan kaavalla 20. (13, s. 72.)

*KAAVA 20. Tukipainekerroin*

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{b} * k_{c,90}$$

$l_{c,90,ef}$  = tehollinen kosketuspinnan pituus

$k_{c,90}$  = kerroin, jonka avulla otetaan puun halkeamismahdollisuus, kuorman sijainti ja puristuman suuruus

Näitä edellä mainittuja kaavoja käyttäen saadaan arvot alaohjauspuun tukipainekestävyyden mitoitussehtoon kaavalla 21 (13, s. 72).

*KAAVA 21. Alaohjauspuun tukipainekestävyyden mitoitusehto*

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} * f_{c,90,d}$$

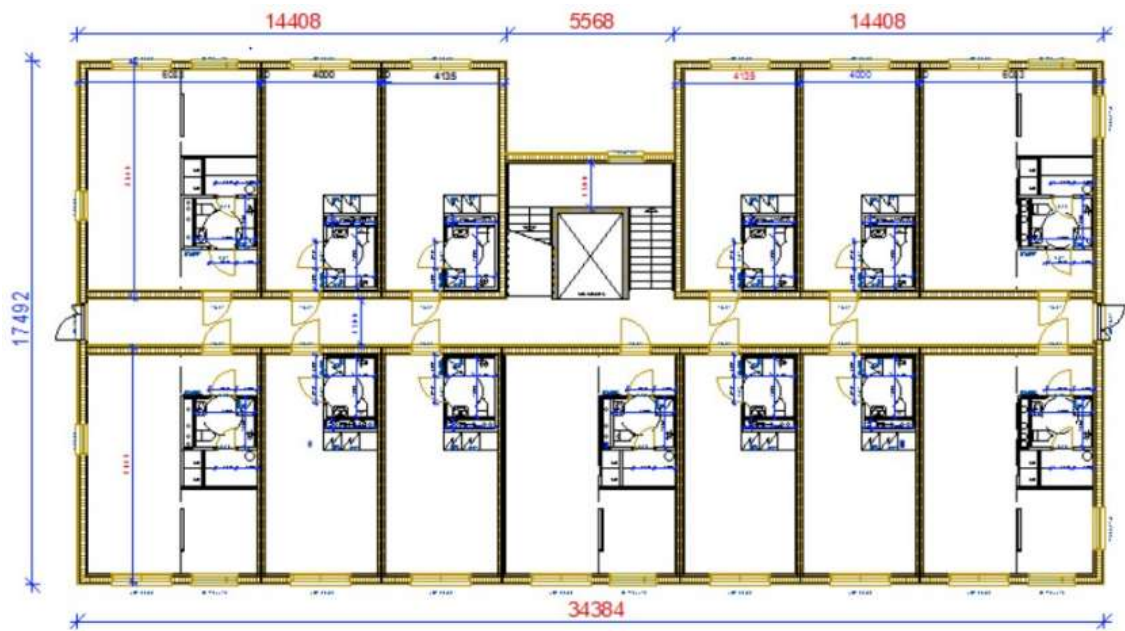
## 6 PUUKERROSTALON RAKENTEIDEN- JA LIITOSTEN SUUNNITTELU

Opinnäytetyössä tehtävänä oli suunnitella puukerrostalon tilaelementtien kantavat rakenteet Puukoti Group Oy:lle ja tehdä konseptimalli kerrostalosta Vertex BD -suunnitteluohjelmistolla. Kyseisellä yrityksellä ei ollut aikaisempaa kokemusta kerrostaloista, ainoastaan vapaa-ajan asunnoista sekä rivi- ja luhtitaloista. Suunnittelussa hyödynnettiin Puuinfon sivuilta sekä puurakenteiden suunnitteluohjeista (eurokoodit) löytyvää puurakenteiden suunnittelua koskevaa tietoa.

### 6.1 Konseptimalli

Konseptimallin laatiminen aloitettiin suunnitteleamalla Vertex BD -suunnitteluohjelmistolla neljäkerroksinen puukerrostalo. Kerrostaloon sijoitettiin jo valmiiksi suunniteltuja tilaelementtimalleja, joita on käytetty esimerkiksi luhtitaloissa. Kuvassa 13 on esitetty kyseiset pohjaratkaisut kerrostalossa. Konseptimallista tehtiin mahdollisimman yksinkertainen, jotta pystyttiin jo etukäteen havainnoimaan mahdolliset ongelmakohdat ja käyttämään konseptimallia hyödyksi todellista kohdetta suunniteltaessa.

Suunnittelun yksinkertaistamiseksi konseptimalliin suunniteltiin ranskalaiset parvekkeet, mutta todellisuudella puukerrostaloon pystyttäisiin suunnittelemaan puuvalmisteiset parvekkeet asuinmukavuutta ajatellen. Väestönsuojan, pyörä- ja irtaimistovarastojen ja talopesulan suunniteltiin tulevan erilliseen rakennukseen. Tilaelementtien pohjaratkaisuina käytettiin kompakteja 28 m<sup>2</sup>:n yksiöitä ja 42 m<sup>2</sup>:n kaksioita. Yksiöissä oli yksi huone ja keittiö. Kaksioissa oli kaksi huonetta, keittiö ja sauna. Yksiöitä tuli 32 ja kaksioita 20.



KUVA 13. Konseptimallin pohjapiirustus

Yksinkertaistetun puukerrostalon havainnekuva on esitetty kuvassa 14.



KUVA 14. Havainnekuva konseptimallista

Puukerrostalon toiselle pitkälle sivulle suunniteltiin syvennys, joka näkyy kuvassa 15.



KUVA 15. Julkisivu länteen

Puukerrostalon päätyihin suunniteltiin sisäänkäynnit, jotka on esitetty kuvassa 16.



KUVA 16. Julkisivu etelään ja pohjoiseen



Kuvassa 17 on esitetty puukerrostalon julkisivu itään päin.

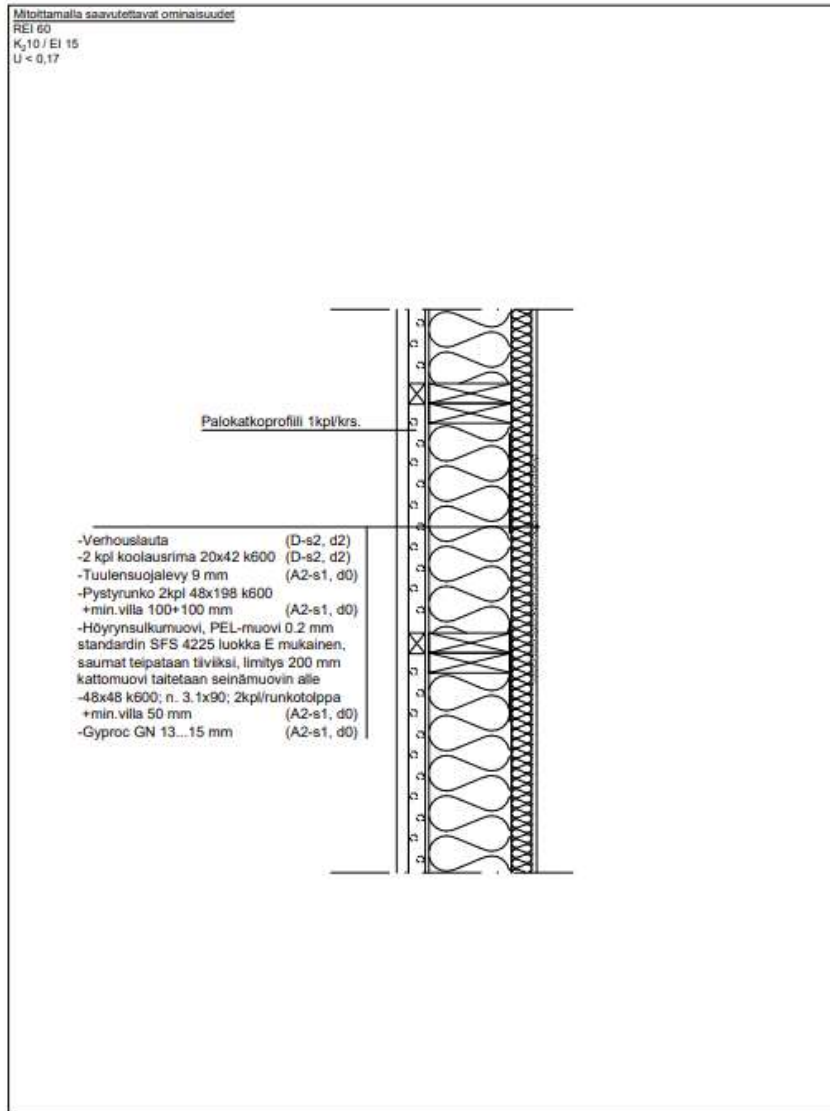


KUVA 17. Julkisivu itään

Seinän rakennedetaljissa, kuvassa 18, rakenne on kuvattuna ylhäältäpäin ja palokatkoprofiilit ovat vaaka-asennossa sivun 19, kuvan 6 mukaisesti.

Sisältö: P2-paloluokan asuinrakennus Paloteknisesti 3...4 krs. / max 4 puukerrosta	RAK	Mittakaava 1:10	Päivämäärä	RunkoPES 2.0
--	-----	--------------------	------------	--------------

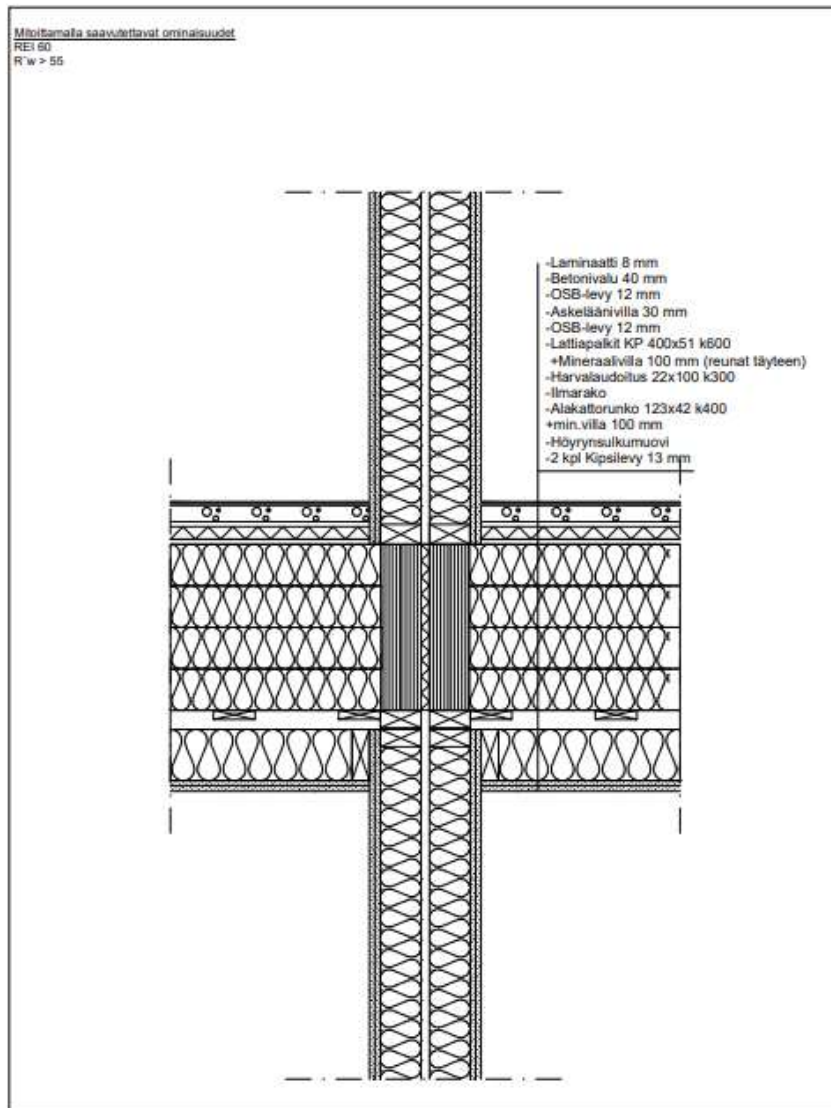
Mitottamalla saavutettavat ominaisuudet  
REI 60  
K<sub>v</sub>10 / EI 15  
U < 0,17



KUVA 18. Konseptimallin mitoitettu ulkoseinärakenne ylhäältä päin katsottuna

Välipohjarakenne sekä huoneistojen välisten seinien rakenne on esitetty kuvassa 19.

Sisältö: P2-paloluokan asuinrakennus Paloteknisesti 3...4 krs. / max 4 puukerrosta	<b>RAK</b>	Mittakaava 1:10	Päiväys RunkoPES 2.0
--	------------	--------------------	-------------------------



KUVA 19. Konseptimallin välipohjarakenne

## 6.2 Rakenteiden suunnittelu

Puurakenteita suunniteltaessa käytettiin seuraavia eurokoodeja: Suunnitteluperusteet EN 1990, rakenteiden kuormat EN 1991 ja puurakenteiden suunnittelu EN 1995. Mitoittaessa rakenteita käytettiin murtorajatilassa rakennusmateriaalin lujuutta ja käyttörajatilassa rakenteiden muodonmuutoksia.

Puukerrostalossa suunnittelutyön merkitys korostui, koska toteutuksessa käytettiin tilaelementtitekniikkaa eli rakenteet tuli suunnitella siten, että se sopi käyttötarkoitukseensa. Tilaelementin itsessään täytyi olla jäykkä rakennusosa. Rakennesuunnittelijalta vaadittiin vaativien puurakenteiden suunnittelijan pätevyyttä.

Puukerrostalossa kantavina rakenteina olivat kantavat ulkoseinät sekä kaksioissa osa väliseinistä. Vaakakuormat johdetaan ulkoseiniin ja sitä kautta perustuksiin. Kantavina ulkoseininä toimivat 2x48x198 mm:n rungot. Vaakarakenteina tuulettuvassa alapohjassa sekä välipohjissa toimivat 51x400 mm:n kertopuupalkit.

Puukerrostaloon mitoitettiin runkotolppa, jotta saatiin selville, millaisella poikkileikkausmitoilla puukerrostalon kantava runko ensimmäisessä kerroksessa pystyttiin toteuttamaan. Laskelmissa lähtöarvoina mitoitukseen vaikuttivat rakennuskohteen tuuliolosuhteet, joten ensimmäisenä määritettiin tuulikuorma. Lähtöarvoihin laskettiin myös rakenteista johtuva pysyvä kuorma ja lumesta johtuva muuttuva kuorma. Tämän jälkeen mitoitettiin runkotolppa. Mitoitusehtona toimi yhdistetty puristus ja taivutus. Ensimmäisen kerroksen runkotolpaksi mitoitettiin liitteen 1 mukaisesti tuplarunkotolppa eli 2 kappaletta 48x198 mm:n runkotolppia.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella konseptimalli puukerrostalosta ja rakenteet tilaelementtiin. Työssä pyrittiin suunnittelemaan optimaalinen rakenne puukerrostalon ensimmäiseen kerrokseen. Samalla selvitettiin, millainen rakenne sopii parhaiten tilaelementtirakentamiseen. Työstä pyrittiin tekemään aputyökalu Puukoti Group Oy:lle puukerrostalon suunnitteluun.

Puukerrostalojen määrä on ollut hienoisessa kasvussa viime vuodet, kun vielä tovi sitten kehitystä jarruttivat paloturvallisuusmääräykset. Nykyään ilmastoystävällisemmässä elämässä arvostetaan vihreitä arvoja ja puu edustaa eturintamassa uusiutuvana rakennusmateriaalina etenkin kerrostalorakentamisessa. Puusta tulee vielä kova kilpailija betonille, joka on hallinnut kerrostalorakentamista jo pitkään.

Puukerrostalojen suunnittelussa suunnittelijalla on mahdollisuus vertailla rakennejärjestelmiä, mikä sopisi parhaiten kohteeseen ja arkkitehtuurisesti vaikuttaa rakennuksen ilmeeseen ja suunnitella näyttäviä rakennelmia. Olisihan rakennusmateriaalivaihtoehtojakin useampia, mutta niitä ei ollut tässä työssä tarkoitus vertailla. Yleisesti käytetty materiaali puukerrostalossa on CLT, ristiinliimattu puu.

Tulevaisuus puukerrostaloilla näyttää valoisalta sen ekologisten ominaisuuksineen. Osaavia suunnittelijoita ja tekijöitä näyttäisi Suomesta löytyvän ja vain aika näyttää, miten puukerrostalojen kehityksen käy.

## LÄHTEET

1. Puuinfo 2020a. Puukerrostalot, suunnittelu. Hakupäivä 16.12.2020. <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/>.
2. Puuinfo 2020b. Arkkitehtuuri, asuinkerrostalot. Hakupäivä 16.12.2020. <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/>.
3. Puuinfo 2020c. Suomen metsät, kestävä metsänhoito. Hakupäivä 13.1.2021. <https://puuinfo.fi/puutieto/suomen-metsat-2/kestava-metsanhoito/>.
4. Puuinfo 2020d. Suomen metsät, metsät, puu ja ilmasto. Hakupäivä 14.1.2021. <https://puuinfo.fi/puutieto/suomen-metsat-2/metsat-puu-ja-ilmasto/>.
5. Puuinfo 2020e. Puun ominaisuudet, lujuusteknisiä ominaisuuksia. Hakupäivä 3.3.2021. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lujuusteknisia-ominaisuuksia/>.
6. Rakennustieto Oy. Puurakennuksen palotekninen suunnittelu. Hakupäivä 3.3.2021. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK00s659.pdf>.
7. Ratu 21–11288. 2017. Puutavara sahattu ja höylätty. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 3.3.2021. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortit/RT%2021-11288>. Vaatii käyttäjälisenssin.
8. Tolppanen, Janne, Karjalainen, Markku, Lahtela, Tero & Viljakainen, Mikko 2013. Suomalainen puukerrostalo. Opetushallitus: Puuinfo 2013.
9. Kas asunnot Oy. Vuokra-asunnot. Hakupäivä 14.1.2021. <https://kas.fi/vuokra-asunto/ylojarvi/1031261>.
10. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010. Erikoiskuljetukset. Hakupäivä 22.2.2021. [Eriku1.indd \(ely-keskus.fi\)](Eriku1.indd (ely-keskus.fi)).

11. Traficom 2020. Sädökset ja määräykset. Erikoiskuljetukset ja erikoiskuljetusajoneuvot. Hakupäivä 22.2.2021. [Erikoiskuljetusmääräys Fl.pdf \(traficom.fi\)](#).
12. Ratu 0425. 2014. Puuelementtirakentaminen, tilaelementit. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 22.2.2021. [RT tietoväylä | Ratu 0425 Puuelementtirakentaminen, tilaelementit. Menekit ja menetelmät \(oamk.fi\)](#). Vaatii käyttäjälisenssin.
13. RIL 205-1-2017. 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi EN 1995-1-1. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
14. RIL 205-2-2019. 2019. Puurakenteiden palomitoitus. Eurokoodi EN 1995-1-2. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
15. Jantunen, Jorma 2017. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Muistio. Hakupäivä 3.3.2021. <http://www.ym.fi/download/none/name/%7B68F439B3-9D6E-44C4-8618-34FE9387FCE8%7D/132701>.
16. Jantunen, Jorma 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. Hakupäivä 3.3.2021. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/julkaistu-paloasetus-2017-66288BFB\\_A697\\_4FCB\\_B602\\_CE0316F2C37B-134002.pdf/05d6d370-2c01-bd84-110a-94e9f6b5370b/julkaistu-paloasetus-2017-66288BFB\\_A697\\_4FCB\\_B602\\_CE0316F2C37B-134002.pdf?t=1603260642204](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/julkaistu-paloasetus-2017-66288BFB_A697_4FCB_B602_CE0316F2C37B-134002.pdf/05d6d370-2c01-bd84-110a-94e9f6b5370b/julkaistu-paloasetus-2017-66288BFB_A697_4FCB_B602_CE0316F2C37B-134002.pdf?t=1603260642204).
17. Puuinfo 2020f. Paloturvallinen puutalo. Asuin- ja toimitilarakentaminen. Hakupäivä 4.3.2021. [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Palokirja\\_LOW\\_p%C3%A4ivitetty-21.2.20.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Palokirja_LOW_p%C3%A4ivitetty-21.2.20.pdf).
18. Saarinen, Ari 2018. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Hakupäivä 9.3.2021. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E\\_DA43\\_4DCA\\_9CEE\\_47DBB9EFCB08-138568.pdf/5e3efaa4-9566-17ae-83c6-2b5805fc9d/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E\\_DA43\\_4DCA\\_9CEE\\_47DBB9EFCB08-138568.pdf?t=1603260126601](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf/5e3efaa4-9566-17ae-83c6-2b5805fc9d/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf?t=1603260126601).

19. RIL 244-2007. 2007. Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta, suunnittelu- ja valmistusohjeet. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
20. Puuinfo 2020g. Rankarakenteet. Rakennuksen jäykistys. Hakupäivä 13.3.2021. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/rakennuksen-jaykistys/>.
21. Puuinfo 2020h. Suunnittelu. Ohjeet. Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje. Hakupäivä 1.4.2021. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje/>.
22. RIL 201-1-2017 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
23. Puukoti Group Oy. Hakupäivä 13.1.2021. <https://puukoti.fi/rakentaminen/>.



<u>Sisällysluettelo</u>	<u>sivunumero</u>
Lähtöarvot ja kuormat	2
Kokonaistuulikuorma	3–4
Tuulen kuormitusala	5
Tuulikuorman resultantit	6
Lisävaakavoima	7
Levykohtaiset voimat	8
Ankkuroitava voima	9
Runkotolpan mitoituksen lähtötiedot	10
Pystykuormat runkotolpalle	11–12
Nurjahduskestävyys	13–14
Alaohjauspuun tukipainekestävyys	15

Lähtöarvot ja kuormat

Lumikuorma:

ominaislumikuorma maassa:  $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$

muotokerroin  $\mu = 0,8$  harjakatolla

Ominaislumikuorma katolla:  $q_s = \mu \cdot s_k = 2 \text{ kN/m}^2$

Ristikot K900 => Lumikuorma ristikon juoksumetrille  $q_{k,lumi} = 0,9 \cdot 2 = 1,8 \text{ kN/m}$

Hyötykuorma  $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Rakenteiden omapaino:

Yläpohja:

Ristikon omapaino  $45 \times 123 \text{ mm} = 0,083 \text{ kN/m}$

Yläpaarre  $0,9 \cdot 0,126 \text{ kN/m}^2 = 0,1134 \text{ kN/m}$

Alapaarre  $0,9 \cdot 0,415 \text{ kN/m}^2 = 0,3735 \text{ kN/m}$

Yläpohjan omapaino:  $y_{p_{rak}} = 0,63 \text{ kN/m}^2$

Välipohja  $0,6 \cdot 1,69 \text{ kN/m}^2 = 1,01 \text{ kN/m}$

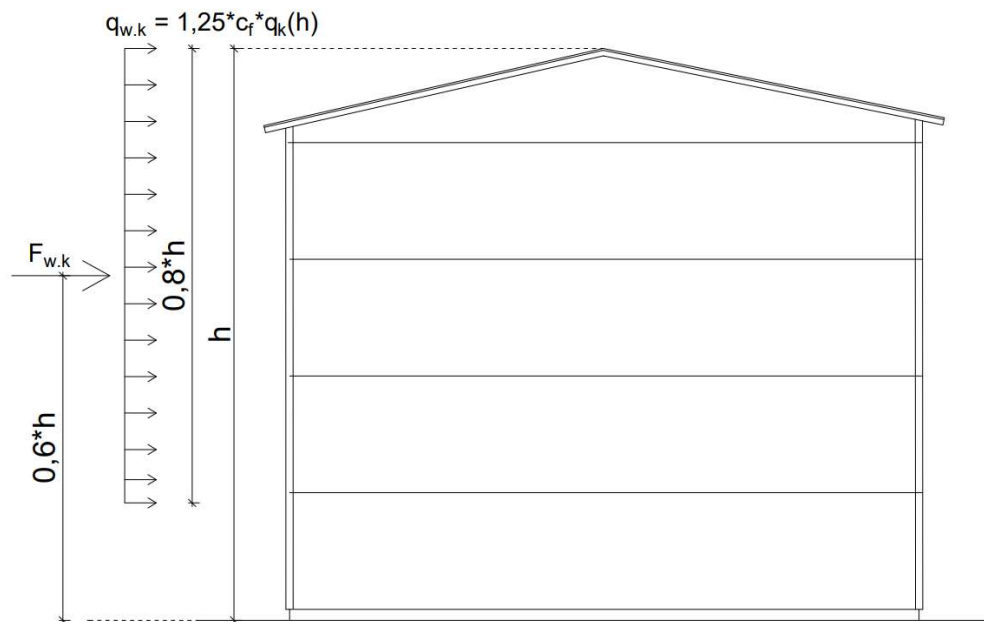
Välipohjan omapaino:  $v_{p_{rak}} = 1,69 \text{ kN/m}^2$

Ulkoseinä:

Ulkoseinän omapaino:  $u_{s_{rak}} = 0,52 \text{ kN/m}^2$

Huoneistojen välinen seinä:

Rakenteen omapaino:  $h_{vs_{rak}} = 0,35 \text{ kN/m}^2$

Kokonaistuulikuorma

KUVA 17. Tuulikuorman laskentamalli.

Rakennuksen harjakorkeus maanpinnasta

$$h = 15,7 \text{ m}$$

Projektiopinta-alan leveys ja korkeus

$$b_t = 17,2 \text{ m}$$

$$h_t = 0,8 \cdot h = 12,6 \text{ m}$$

Projektion pinta-ala

$$A_{\text{ref}} = b_t \cdot h_t = 216,7 \text{ m}^2$$

Maastoluokka III

tuulen nopeuspaine  $q_k(h) = 0,56 \text{ kN/m}^2$ voimakertoimen  $c_f = 1,3$

Kokonaistuulikuorma

Kokonaistuulikuorma  $0,6 \cdot h$  korkeudella

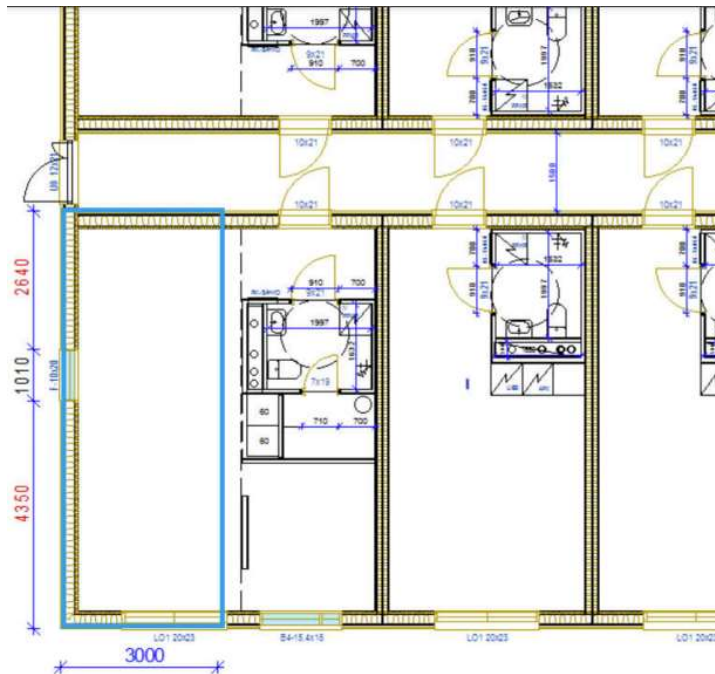
$$F_{w,k} = c_f \cdot q_k(h) \cdot A_{ref} = 157,8 \text{ kN}$$

Kokonaistuulikuorman resultantti voidaan muuttaa tasaiseksi kuormaksi kertoimella 1,25.

$$q_{w,k} = 1,25 \cdot c_f \cdot q_k(h) = 0,91 \text{ kN/m}^2$$

Kerroskohtaista tuulikuormaa laskettaessa huoneistojen väliset seinät toimivat jäykistävinä seininä. Rakennuksen päätyseinään kohdistuu tällöin puolet päätyhuoneiston tuulikuormasta.

Tuulen kuormitusala



KUVA 16. Päätyseinän tuulen kuormitusala.

Tuulikuorman leveys

$$b_{\text{tuuli}} = 3 \text{ m}$$

Tuulikuorman korkeus kolmessa ensimmäisessä kerroksessa

$$h_1 = h_2 = h_3 = 3,2 \text{ m}$$

Tuulikuorman korkeus neljännessä kerroksessa

$$h_4 = 4,49 \text{ m}$$

Kuormitusalat

$$A_{h1} b_{\text{tuuli}} * h_1 = 9,6 \text{ m}^2 = A_{h2} = A_{h3}$$

$$A_{h4} = b_{\text{tuuli}} * h_4 = 13,5 \text{ m}^2$$

Tuulikuorman resultantit

Tuulikuorman resultanttien käyttörajatilat kerroksittain

$$H_1 = q_{w.k} \cdot A_{h1} = 8,7 \text{ kN} = H_2 = H_3$$

$$H_4 = q_{w.k} \cdot A_{h4} = 12,3 \text{ kN}$$

Tuulikuorman resultanttien murtorajatilat kerroksittain

$$H_{1.MRT} = 1,5 \cdot H_1 = 13 \text{ kN} = H_{2.MRT} = H_{3.MRT}$$

$$H_{4.MRT} = 1,5 \cdot H_4 = 18,4 \text{ kN}$$

Yhteensä

$$H_{MRT} = H_{1.MRT} + H_{2.MRT} + H_{3.MRT} + H_{4.MRT} = 57,4 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima

Jäykistävän seinän pituus ja kuormitusleveys

$$L = 8 \text{ m}$$

$$b = b_{\text{tuuli}} = 3 \text{ m}$$

Rakenteiden painot

$$y_{\text{rak}} = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$v_{\text{rak}} = 1,69 \text{ kN/m}^2$$

$$u_{\text{rak}} = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

Lisävaakavoiman resultantit kerroksittain

$$N_1 = (u_{\text{rak}} \cdot h_1 \cdot L + v_{\text{rak}} \cdot b \cdot L) / 150 = 0,36 \text{ kN}$$

$$N_2 = (u_{\text{rak}} \cdot h_2 \cdot L + v_{\text{rak}} \cdot b \cdot L) / 150 = 0,36 \text{ kN}$$

$$N_3 = (u_{\text{rak}} \cdot h_3 \cdot L + v_{\text{rak}} \cdot b \cdot L) / 150 = 0,36 \text{ kN}$$

$$N_4 = (u_{\text{rak}} \cdot h_4 \cdot L + y_{\text{rak}} \cdot b \cdot L) / 150 = 0,23 \text{ kN}$$

Kerroskohtaiset vaakavoimat yhteensä

$$H_{1,\text{yht}} = H_{1,\text{MRT}} + N_1 = 13,36 \text{ kN}$$

$$H_{2,\text{yht}} = H_{2,\text{MRT}} + N_2 = 13,36 \text{ kN}$$

$$H_{3,\text{yht}} = H_{3,\text{MRT}} + N_3 = 13,36 \text{ kN}$$

$$H_{4,\text{yht}} = H_{4,\text{MRT}} + N_4 = 18,63 \text{ kN}$$

Vaakavoimat yhteensä

$$H = H_{1,\text{yht}} + H_{2,\text{yht}} + H_{3,\text{yht}} + H_{4,\text{yht}} = 58,7 \text{ kN}$$

Rakennuksen päätyseinään mahtuu 5 kpl 1,2 m leveitä jäykistelevyjä sekä huoneiston päätyihin kapeammat levyt, kuitenkin leveydeltään alle neljäsosa seinän korkeudesta, joten niitä ei jäykistävinä seinälohkoina huomioida. Vaakarakenteiden voimat oletetaan siirtyvän pystyrakenteille symmetrisesti. Kerroskohtainen rakennuksen epäkeskisyydestä aiheutuva lisävaakavoima sekä tuulikuorma lasketaan yhtä levyä kohden ja lasketaan alas.

Levykohtaiset vaakavoimat

$$H_{1,\text{levy}} = H_{1,\text{yht}} / 5 = 2,7 \text{ kN}$$

$$H_{2,\text{levy}} = H_{2,\text{yht}} / 5 = 2,7 \text{ kN}$$

$$H_{3,\text{levy}} = H_{3,\text{yht}} / 5 = 2,7 \text{ kN}$$

$$H_{4,\text{levy}} = H_{4,\text{yht}} / 5 = 3,7 \text{ kN}$$

Yhteensä

$$H_{\text{levy.yht}} = H_{1,\text{levy}} + H_{2,\text{levy}} + H_{3,\text{levy}} + H_{4,\text{levy}} = 11,8 \text{ kN}$$

Kerrosten resultantit

$$h_1 = 3,2 \text{ m}$$

$$h_2 = 6,4 \text{ m}$$

$$h_3 = 9,6 \text{ m}$$

$$h_4 = 14,09 \text{ m}$$

Levyä kohti kertyvät vaakavoimat alas laskettuna

$$M_{H.1,\text{levy}} = H_{1,\text{levy}} * h_1 = 8,6 \text{ kNm}$$

$$M_{H.2,\text{levy}} = H_{2,\text{levy}} * h_2 = 17,2 \text{ kNm}$$

$$M_{H.3,\text{levy}} = H_{3,\text{levy}} * h_3 = 25,9 \text{ kNm}$$

$$M_{H.4,\text{levy}} = H_{4,\text{levy}} * h_4 = 52,1 \text{ kNm}$$

Ensimmäisessä kerroksessa levyä kohti kertyvä momentti

$$M_{i.v.Ed} = M_{H.1,\text{levy}} + M_{H.2,\text{levy}} + M_{H.3,\text{levy}} + M_{H.4,\text{levy}} = 103,8 \text{ kNm}$$



Ankkuroitava voima

Jäykistelevyn leveys

$$b_{\text{levy}} = 1,2 \text{ m}$$

Kuormitusleveys  $b = 3 \text{ m}$

Yhteen jäykistyslevyyn kohdistuva yläpohjan paino

$$I_{\text{yp}} = b_{\text{levy}} * b * y_{\text{prak}} = 2,3 \text{ kN}$$

Yhteen jäykistyslevyyn kohdistuva välipohjien paino

$$I_{\text{vp}} = b_{\text{levy}} * b * 3 * v_{\text{prak}} = 18,3 \text{ kN}$$

Yhteensä

$$I_{\text{rak}} = 0,9 * (I_{\text{yp}} + I_{\text{vp}}) = 18,5 \text{ kN}$$

lasketaan ankkuroitava voima kaavasta

$$F_{i.c.Ed} = F_{i.t.Ed} = F_{i.v.Ed} * h / b_i$$

missä  $h$  on seinän korkeus. (13, s. 158.)

Jäykistelevyn ankkurointipisteiden leveys

$$b_i = 1 \text{ m}$$

Ilman omapainon vähennystä oleva ankkuroitava voima

$$F_{i.v.Ed} * h = M_{i.v.Ed}$$

$$F_{i.c.Ed} = F_{i.t.Ed} = M_{i.v.Ed} / b_i = 103,8 \text{ kN}$$

Lopullinen ankkuroitava voima

$$F_{i.t.Ed.tot} = F_{i.t.Ed} - I_{\text{rak}} = 85,3 \text{ kN}$$

Runkotolpan mitoituksen lähtötiedot

Kaikki ulkoseinän runkotolpat oletetaan päistään nivelellisesti tuetuiksi. Runkotolppien heikompi suunta on tuettu levytyksellä nurjahdusta vastaan.

Lähtöarvot:

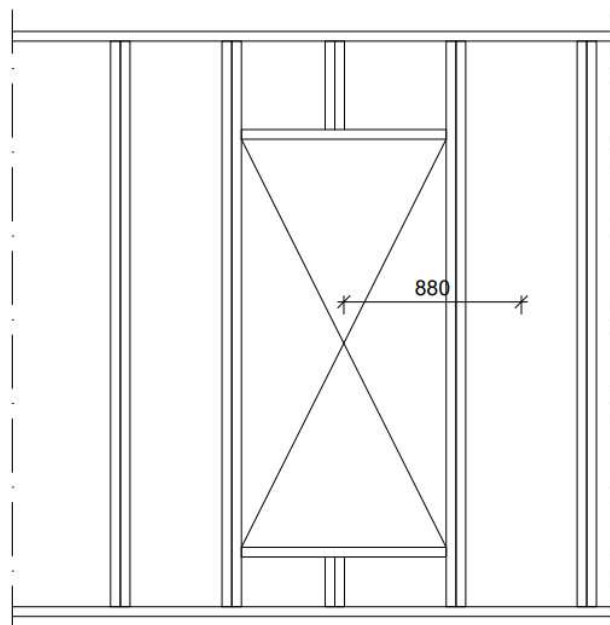
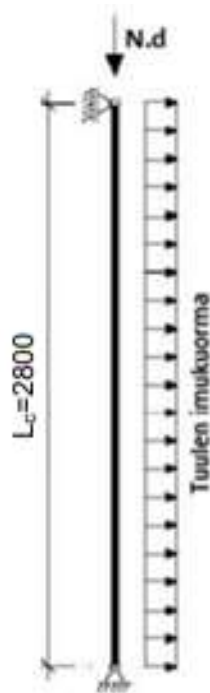
Rakennuskohde ajatellaan sijaitsevan Vantaalla.

Runkotolpat C24 2x 48x198 L2800 k600.

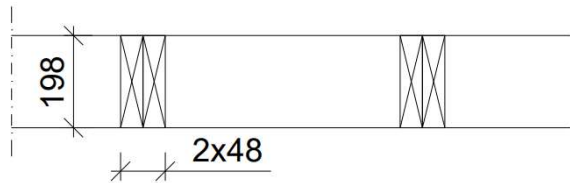
Runkotolpan mitat:

$h = 198 \text{ mm}$ ,  $b = 2 \cdot 48 \text{ mm}$

$L_c: 1,0 \cdot 2800 = 2800 \text{ mm}$



Mitoitetaan ikkuna-aukon pielitolppa ensimmäisestä kerroksesta.

Pystykuormat runkotolpalle

tolpan poikkileikkauksen korkeus

$$h = 198 \text{ mm}$$

tolpan poikkileikkauksen leveys

$$b = 2 \cdot 48 \text{ mm}$$

kuormitusleveys

$$b_i = 0,88 \text{ m}$$

kuormituspituus

$$h_i = 1,7 \text{ m}$$

runkotolpan pituus

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

Tuulen nopeuspaine  $q_k(h) = 0,45 \text{ kN/m}^2$

Tolpan taivutusmomentti tuulikuormasta

$C_{p,net} = 1,4 =$  tuulenpaineen nettokerroin seinän keskialueella

$$M_{w,k} = (C_{p,net} \cdot q_k(h) \cdot b_i \cdot L_c^2) / 8 = 0,54 \text{ kNm}$$

Pystykuorma tolppalle ylempien kerrosten ulkoseinien sekä yläpohjan ja välipohjien omapainosta

Kuormitusala

$$A_{runkotolppa} = b_i \cdot h_i = 1,5 \text{ m}^2$$

Pystykuormat runkotolpalle

Yläpohjan omapaino

$$Y_p = y_{p_{rak}} \cdot A_{runkotolppa} = 0,95 \text{ kN}$$

Välipohjan omapaino

$$V_p = 3 \cdot v_{p_{rak}} \cdot A_{runkotolppa} = 7,6 \text{ kN}$$

Ulkoseinien omapaino

$$U_s = u_{s_{rak}} \cdot b_i \cdot (h_2 + h_3 + h_4) = 16,7 \text{ kN}$$

$$\text{yhteensä: } Y_p + V_p + U_s = N_g = 25,2 \text{ kN}$$

Pystykuorma tolalle lumikuormasta

$$N_{q1} = b_i \cdot h_i \cdot q_s = 3 \text{ kN}$$

Pystykuorma tolalle välipohjien hyötykuormasta

$$N_{q2} = 3 \cdot b_i \cdot h_i \cdot q_k = 9,0 \text{ kN}$$

Nurjahduskestävyys

z-suunnassa:

Murtorajatilán (MRT) kuormitusyhdistelmä:

Puristuspuolen kuorma

$$F_{i,t,Ed} = 103,8 \text{ kN}$$

$$K_{FI} = 1,0$$

$$N_d = F_{i,t,Ed} + (1,15 \cdot N_g + 1,05 \cdot N_{q1} + 1,05 \cdot N_{q2})$$

Maksimi pistekuorma runkotolpalle

$$N_d = 145,4 \text{ kN}$$

Nurjahduspituus

$$L_{c,z} = 1,0 \cdot L_c = 2800 \text{ mm}$$

Jäyhyysäde y-akselin suhteen

$$i_y = h / \sqrt{12} = 57,2 \text{ mm, missä } h = \text{mitta nurjahduksen suuntaan}$$

Poikkileikkauksen hoikkuusluku vahvemmassa suunnassa

$$\lambda_y = L_{c,z} / i_y = 49,0$$

Nurjahduskerroin  $k_c$

$$k_c = 0,78$$

Nurjahduskestävyys

## Puristusjännitys

$$\sigma_{c.0.d} = N_d / b \cdot h = 7.65 \text{ N/mm}^2$$

## Puristuslujuus

$$f_{c.0.d} = f_{c.0.k} \cdot k_{mod} / \gamma_M = 17,8 \text{ N/mm}^2$$

missä  $f_{c.0.k} = 21 \text{ N/mm}^2$ , C24 sahatavaran puristuslujuus syysuuntaan.

$$\gamma_M = 1,3 \text{ ja } k_{mod} = 1,10$$

## Tuulesta johtuva maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,5 \cdot M_{w.k} = 0,81 \text{ kNm}$$

## Taivutusjännitys

$$\sigma_{m.y.d} = 6 \cdot M_d / b \cdot h^2 = 1,3 \text{ N/mm}^2$$

## Taivutuslujuus

$$f_{m.d} = f_{m.k} \cdot k_{mod} / \gamma_M = 20,3 \text{ N/mm}^2$$

missä  $f_{m.k} = 24 \text{ N/mm}^2$  C24 sahatavaran taivutuslujuus. (21, s. 16.)

## Mitoitusehto

$$\sigma_{m.y.d} / f_{m.y.d} + \sigma_{c.0.d} / k_{cy} \cdot f_{c.0.d} < 1$$

$$\sigma_{m.y.d} / f_{m.d} + \sigma_{c.0.d} / k_c \cdot f_{c.0.d} = 0,62$$

⇒ Käyttöasteena 62 % eli runkotolpat kestävät nurjahduksen.

Alaohjauspuun tukipainekestävyys

Mitoitetaan alaohjauspuun kesto runkotolpan sille aiheuttamalle tukipaineelle.

$$N_d = 145,4 \text{ kN}$$

Alaohjauspuuhun aiheutuva puristusjännitys runkotolpista

$$\sigma_{c,90,d} = N_d / b \cdot h = 7,65 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus kohtisuoraan syysuuntaa vasten C24 sahatavaralla

$$f_{c,90,d} = (f_{c,90,k} \cdot k_{mod}) / \gamma_M = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{mod} = 1,1$$

$$\gamma_M = 1,3$$

Tukipaine kerroin

$$k_{c,\perp} = (l_{c,90,ef} / b) \cdot k_{c,90} = 2,03$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = 30 \text{ mm} + b + 30 \text{ mm} = 156 \text{ mm}$$

$$k_{c,90} = 1,25 \text{ sahatavaralla, kun } l_1 \geq 2h = 552 \geq 96$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} = 7,65 \text{ N/mm}^2 \leq 4,27 \text{ N/mm}^2$$

⇒ Alaohjauspuu ei kestä kohtisuoraa syytä vastaan aiheutuvaa leimapainetta.

⇒ Esimerkiksi 45x200 kertopuu kestää leimapaineen. = 7,65 N/mm<sup>2</sup> ≤ 12,19 N/mm<sup>2</sup>.