

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Ville Ikonen
Markus Moilanen

PUUN KÄYTTÖ KORKEISSA ASUINRAKENNUKSISSA

Opinnäytetyö
Helmikuu 2019



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2019
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijät
Ville Ikonen ja Markus Moilanen

Nimeke
Puun käyttö korkeissa asuinrakennuksissa

Toimeksiantaja
Karelia-amk

Tiivistelmä

Opinnäytetyömme aiheena on puun käyttö korkeissa asuinrakennuksissa. Valitsimme kyseisen aiheen, koska meitä molempia kiinnostaa puurakentaminen ja erityisesti puun käytettävyys kerrostalorakentamisessa. Puun käytöstä korkeissa rakennuksissa on olemassa hyvin vähän tietoa, ja se herätti mielenkiintomme tutkia aihetta lisää.

Tutkimme Joensuuhun rakennettavan 14-kerroksisen puukerrostalon, Lighthouse Joensuun rakennusteknisiä suunnitelmia ja niiden toteutusta. Tavoitteenamme on selvittää, miten näin korkea puukerrostalo tehdään ja millaista teoriatietoa puukerrostaloista on olemassa. Käymme myös opinnäytetyössämme läpi keskeiset asiat puukerrostalojen paloturvallisuudesta, rakenneratkaisuista, äänitekniikasta ja kosteudenhallinnasta sekä kuinka nämä asiat toteutetaan edellä mainitussa kohteessa. Aihetta tutkittuamme havaitsimme, että tietämys puukerrostalojen ankkuroinnista jännetangoilla on vähäistä Suomessa. Lisäksi havaitsimme sen, että tutkimassamme kohteessa puun esille jättämistä asunnoissa ei rajoita niinkään palotekniset vaatimukset vaan enemmänkin äänitekniikka.

Opinnäytetyömme on kirjallinen tutkimus, johon etsimme tietoa internetistä, alan kirjallisuudesta ja tämän lisäksi vierailimme työmaalla ja haastattelimme projektiin osallistuvia henkilöitä.

Kieli
suomi

Sivuja 100
Liitteet 3
Liitesivumäärä 3

Asiasanat

puukerrostalo, Lighthouse Joensuu, paloturvallisuus, jännetankoankkurointi



THESIS
February 2019
Degree Programme in Construction
Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Authors
Ville Ikonen and Markus Moilanen

Title
Use of Wood in High-Rise Residential Buildings

Commissioned by
Karelia UAS

Abstract

The topic of this thesis is the use of wood in high-rise residential buildings. This topic was chosen because the authors are interested in wood construction and especially the usability of wood in apartment buildings. There is very little information on the use of wood in high-rise buildings and it has aroused the authors' interest in exploring the subject.

The construction plans and their implementation of the 14-storey wooden apartment building Lighthouse Joensuu were studied. The objective was to find out how such a high-rise apartment building is made of wood and what kind of theoretical information about wooden apartment buildings exist. The main issues about fire safety, structural solutions, sound technology and humidity management in wooden apartment buildings are dealt with and how these are implemented in Lighthouse Joensuu. After studying the subject, it was noticed that the knowledge of anchoring wooden apartment buildings with tension rods is low in Finland. In addition, it was discovered that displaying the wood in the Lighthouse Joensuu's apartments is not limited because of the fire requirements but rather because of the sound technology.

This thesis is a written research and information was searched for on the internet, from literature in the field, and the authors also visited on the site and interviewed the people involved in the project.

Language

Finnish

Pages 100

Appendices 3

Pages of appendices 3

Keywords

wooden apartment building, Lighthouse Joensuu, fire safety, tension rod tie-down

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Puu rakennusmateriaalina	7
2.1	Puun ominaisuudet	8
2.2	Insinööripuutuotteet	9
2.2.1	LVL – Laminated Veneer Lumber	10
2.2.2	CLT – Cross Laminated Timber	10
2.3	Kohteet	11
3	Rakenteet ja jäykistys	13
3.1	Rakennejärjestelmät	13
3.1.1	Kantavat seinät -järjestelmä	14
3.1.2	Pilari-palkkijärjestelmä	15
3.1.3	Tilaelementit	16
3.2	Hybridirakenteet	17
3.3	Liitokset	19
3.3.1	Puurakenteissa käytettäviä liitoksia	20
3.3.2	Korkeiden puukerrostalojen liitoksia	21
3.4	Jäykistys	25
3.5	Puukerrostalon ankkurointi	28
3.5.1	Terästankoankkurointi	29
3.5.2	Jännetankoankkurointi	32
3.5.3	Vetymurtuma	34
4	Paloturvallisuus	35
4.1	Paloluokkavaatimukset ja merkinnät	36
4.2	Palokuormaryhmät	38
4.3	Rakennustarvikkeiden ja pintojen luokitus	39
4.4	Suojaverhous	41
4.5	Palon leviämisen rajoittaminen	42
4.5.1	Palo-osastointi	42
4.5.2	Palomuri	44
4.5.3	Palokatko ja paloräystä	45
4.5.4	Ulkoverhous	48
4.6	Uloskäytävät	49
4.7	Paloturvallisuutta parantavat laitteet	51
4.7.1	Palovaroitin	51
4.7.2	Paloilmoitin	51
4.7.3	Sprinklerit	51
4.8	Savunpoisto	54
5	Ääneneristys	54
5.1	Uudet asetukset ääneneristyksestä	55
5.2	Äänen liike	56
5.3	Puurakenteiden ääneneristys	57
6	Kosteudenhallinta	59
6.1	Sääsuojaus	60
6.1.1	Sääsuojateltta	60
6.1.2	Väliaikainen sääsuojakatto	61
7	Lighthouse Joensuu	62

7.1	Rakennejärjestelmä	64
7.2	Jäykistys	65
7.3	Rakennuksen liitokset ja ankkurointi	66
7.3.1	Rakennuksen ankkurointi	66
7.3.2	Puuliitokset	71
7.4	Jännetankojen suunnittelu ja asennus	75
7.5	Kohteen paloturvallisuus	77
7.6	Savunpoisto	81
7.7	Ääneneristys	83
7.8	Rakennusaikainen kosteudenhallinta	86
8	Työn tuloksien yhteenveto	89
8.1	Tutkimuksen tulokset	89
8.2	Jatkotutkimuksia vaativat osa-alueet	90
9	Pohdinta	92
	Lähteet	96

Liitteet

Liite 1	Lighthouse Joensuun pohjapiirustus
Liite 2	Lighthouse Joensuun leikkauspiirustus
Liite 3	Lighthouse Joensuun julkisivupiirustus

1 Johdanto

Puuta on käytetty hyvin vähän kerrostalorakentamisessa Suomessa, koska palomääräykset estivät yli 4-kerroksisten puurunkoisten asuinrakennusten valmistuksen vuoteen 2011 asti. Uusien palomääräysten myötä puuta on alettu käyttämään kerrostalojen valmistuksessa yhä enemmän. (Puuinfo 2011a.) Korkeat puukerrostalot ovat ajankohtainen aihe, koska maailmalla etsitään ympäristöystävällisempää tapaa rakentaa taloja. Tiivistyvissä kaupungeissa uusien puutalojen tulisi olla myös korkeita, jotta niitä voitaisiin harkita vaihtoehdoksi kerrostaloja suunniteltaessa. Tämä luo haasteita puurakentamiseen, sekä tarpeen uusien tekniikoiden kehittämiseksi ja tutkimiseksi.

Opinnäytetyössä on tarkoitus käydä läpi korkeiden puukerrostalojen kohdalla syntyviä haasteita ja ongelmia, sekä kertoa puukerrostaloihin liittyvästä teoriatiedosta. Korkealla puukerrostalolla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä puukerrostaloa, jossa on yli kahdeksan kerrosta. Teoriaosuudessa käydään aluksi läpi puun ominaisuuksia rakennusmateriaalina ja esitellään joitain puukerrostaloissa käytettäviä puutuotteita. Laajemmin teoriatietoa esitellään puukerrostalon rakennetekniikasta, paloturvallisuudesta, ääneneristyksestä ja rakennusaikaisesta kosteudenhallinnasta. Myös uusista palo- ja ääneneristysasetuksista kerrotaan keskeiset muutokset ja kuinka ne vaikuttavat puutaloihin. Tutkimusosiossa kerrotaan, kuinka teoriaosuudessa käsitellyt asiat toteutetaan tutkittavassa puukerrostalossa Lighthouse Joensuussa. Lopuksi esitellään työn tuloksia ja lisätutkimuksen aiheita, sekä pohditaan puukerrostalorakentamiseen liittyviä ongelmia ja miten niitä voitaisiin parantaa.

Saimme opinnäytetyömme aiheen toimeksiantona Karelia-ammattikorkeakoululta. Opinnäytetyön aiheelle idean loi Joensuuhun rakennettava puukerrostalo, josta tulee valmistuessaan Suomen korkein puukerrostalo. Suomalaiselle puukerrostalolle ainutlaatuisen korkeuden ja sen tuomien haasteiden takia kohde vaatii tutkimusta ja esittelyä, jota tällä opinnäytetyöllä pyrimme tekemään. Opinnäytetyössä käymme läpi mielestämme keskeisimmät ja mielenkiintoisimmat aiheet kohteesta.

2 Puu rakennusmateriaalina

Valtioneuvostolla on meneillään puurakentamisen ohjelma, jolla pyritään kasvatamaan puurakentamista ja monipuolistamaan puun käyttöä rakentamisessa. Puurakentamisen ohjelma on ympäristöministeriön hallinnoima ja se kestää vuoteen 2021 asti. Se on osana hallituksen meneillään olevaa *Puu liikkeelle ja uusia tuotteita metsästä* -kärkihanketta. Puurakentamisen ohjelma on myös yksi keinoista saavuttaa kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaiset energia- ja ilmastotavoitteet, joilla pyritään pitkällä aikavälillä hiilineutraaliksi yhteiskunnaksi. (Ympäristöministeriö 2019.)

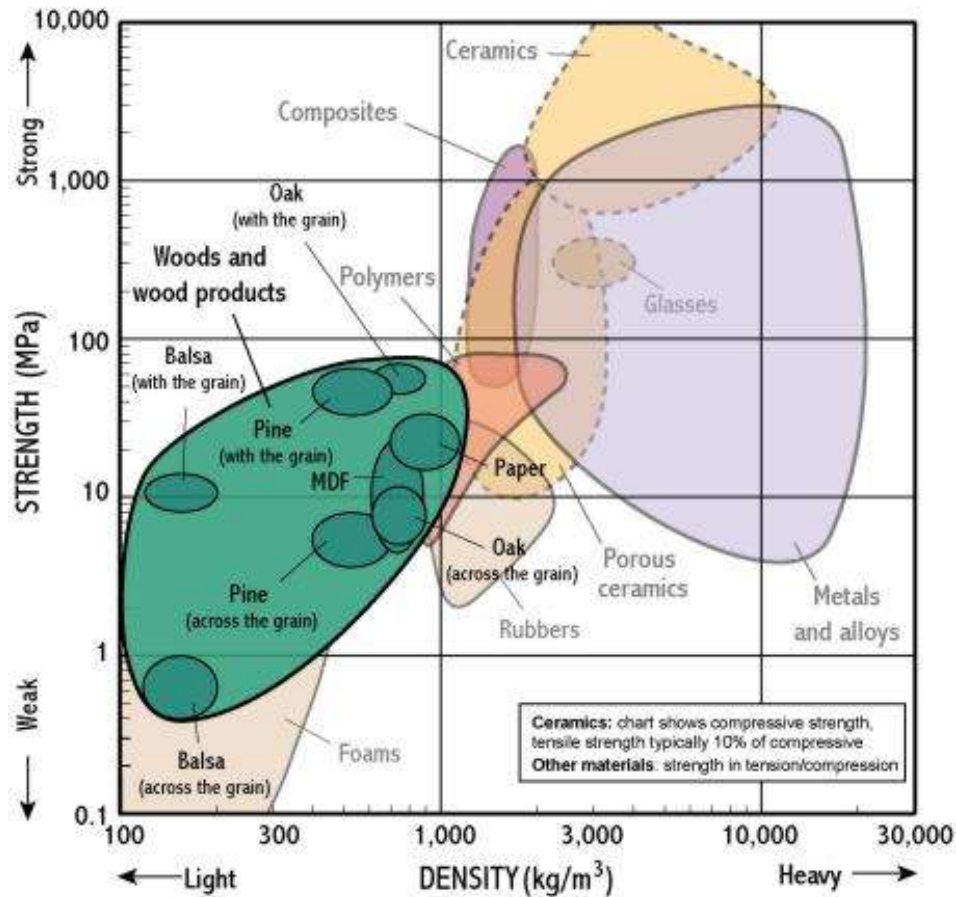
Puun käyttö rakennusmateriaalina auttaa hiilineutraalisuus-tavoitteessa, koska kasvunsa aikana puu sitoo itseensä hiilidioksidia ilmastosta yhteyttämisen tuloksena ja toimii näin merkittävänä hiilinieluna. Hiilidioksidi on kasvien yhteyttämisen kannalta elintärkeä kaasu, mutta samalla se on auringon lämpöä itseensä sitova kasvihuonekaasu. Mitä enemmän hiilidioksidia on ilmakehässä, sitä nopeammin ilmasto lämpenee. Puu säilöö hiilen sisällään niin kauan, kuin sitä ei polteta tai päästetä lahoamaan. Tästä syystä puu rakennusmateriaalina toimii ns. hiilivarastona ja sen takia sen käyttö auttaa ilmastomuutoksen hillitsemisessä. Ilmaston lämpeneminen on maailmanlaajuinen ongelma, jota EU on pyrkinyt hidastamaan päästövähennystavoitteilla. Suomen kohdalla päästövähennystavoite on 39 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. Tämän takia on tärkeää, että Suomen metsien kasvusta huolehditaan ja puun käyttöä rakentamisessa pyritään lisäämään (Kimmo 2019.)

Puurakennuksen hiilijalanjäljestä kertoo hyvin VTT:n koordinoima LeanWood-hanke, jossa saatiin uutta vertailutietoa betoni- ja puukerrostalojen hiilijalanjäljestä. VTT laski hiilijalanjäljen tulokset kahdelle suurelementtipuukerrostalolle ja kahdelle betonikerrostalolle, joissa kaikissa oli sama pohjaratkaisu, joten niistä voitiin tehdä vertailua. Laskelmissa havaittiin, että betonikerrostalon hiilijalanjälki oli noin 75 % suurempi verrattuna vastaavaan puukerrostaloon. (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2017.)

2.1 Puun ominaisuudet

Puulla on hyvät rakennustekniset ominaisuudet, joten sitä voidaan hyödyntää monipuolisesti rakentamisessa. Puuta voidaan käyttää kantavana materiaalina, pintamateriaalina sekä lämmöneristeenä. Puu on kevyt rakennusmateriaali verrattuna betoniin ja teräkseen. Puun paino on noin viidenneksen betonin painosta. Tämän ominaisuuden ansiosta puulla saavutetaan joissakin tilanteissa taloudellisempia ratkaisuja kuin vastaavilla betonirakenteilla. Puu on myös luja materiaali suhteessa painoonsa (kuva 1) ja sillä on hyvät lämmöneristysominaisuudet. Puun etuina ovat myös sen helppo työstettävyys, käyttökohteiden monipuolisuus eikä siitä haihdu terveydelle haitallisia aineita sisäilmaan (luokan M1 tuotteisiin rinnastettavissa käsittelemättömänä). Näiden ominaisuuksien takia puuta käytetään paljon rakentamisessa ja sen suosio on koko ajan kasvamassa myös suuremmissa kohteissa. Puun suosiota lisäävät rakennusfysikaalisten ominaisuuksien lisäksi myös se, että sitä on saatavana kaikkialla ja se on puhdas, uusiutuva raaka-aine. Puuta kannattaa hyödyntää kaikin tavoin, koska Suomen pinta-alasta noin kolme neljäsosaa on metsää. (Siikanen 2016, 43–49.)

Puun käyttöä rajoittavat ja hankaloittavat etenkin suurissa ja korkeissa kohteissa, sen suuri kosteuseläminen, palavuus, lahoamisalttius ja anistrooppisuus. Puun anistrooppisuus tarkoittaa sitä, että sillä on erilaiset lujuusominaisuudet syiden poikki- ja pituussuunnissa. Esimerkiksi puun vetolujuus on parempi syiden suunnassa kuin syitä vasten. (Siikanen 2016, 43–49.)



Kuva 1. Lujuuden suhde tiheyteen eri materiaaleilla (University of Cambridge 2002).

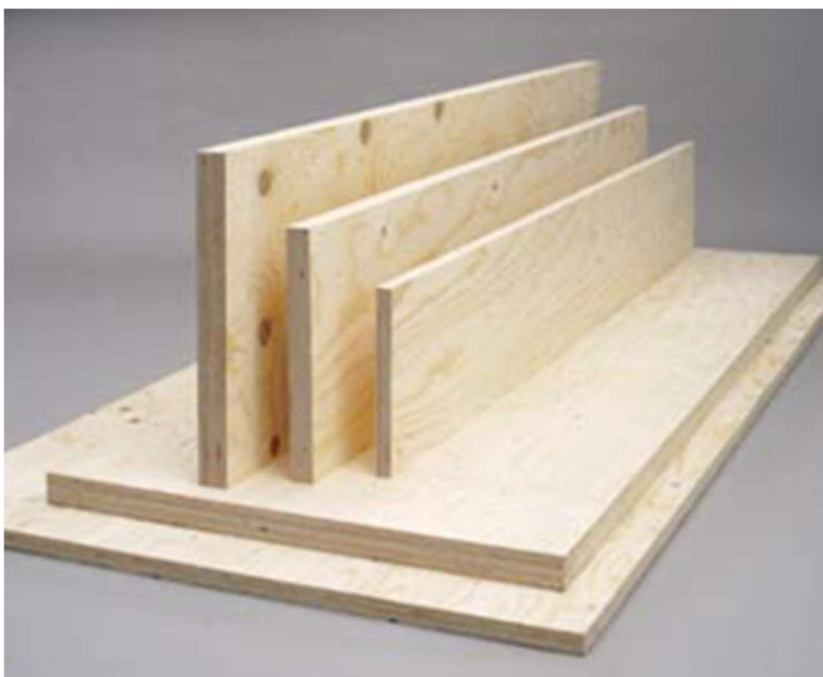
2.2 Insinööripuutuotteet

Sahatavara on yleensä kuusta tai mäntyä. Tukista saadaan sahaamalla sahata-varaa, jota voidaan käyttää rakentamisessa esimerkiksi kantavana rakenteena tai verhoiluna. Sahatavaraa voidaan jatkojalostaa esimerkiksi kyllästyksellä tai lämpökäsittelyllä. Tämän lisäksi sahatavara toimii raaka-aineena insinööripuutuotteille. Tyypillinen insinööripuutuotteiden valmistustapa on liimata sahattuja raaka-aineita paineen tai lämmön avulla yhteen. Insinööripuutuotteisiin kuuluvat LVL, CLT, liimapuu, kertopuu ja erilaiset palkkimaiset tuotteet, kuten I-palkki. (Puutuoteteollisuus ry 2019.)

2.2.1 LVL – Laminated Veneer Lumber

LVL eli viilupuu on valmistettu liimaamalla yhteen noin kolmen mm:n paksuisia sorvattuja kuusiviiluja (kuva 2). Normaalisti pintaviilut ovat hiomattomia ja paikkaamattomia, mutta tilauksesta ne voidaan hioa. LVL soveltuu muun muassa palkkeihin ja seinälevyihin. Viilupuuista valmistettävien rakennusosien maksimipituus on 25 metriä ja maksimileveys on 2,5 metriä. (Puuinfo 2018a.)

LVL:n etuja ovat muun muassa sen tasalaatuisuus ja mittapysyvyys. Painoonsa suhteutettuna LVL on lujimpia puupohjaisia rakennusmateriaaleja ja on sen takia hyvä ratkaisu lujuutta ja mittapysyvyyttä vaativiin rakenteisiin. (Stora Enso Oyj 2018.)



Kuva 2. Laminated Veneer Lumber (Puuinfo Oy 2018a).

2.2.2 CLT – Cross Laminated Timber

CLT on rakennusmateriaali, joka koostuu vähintään kolmesta ristikkäin liimatusta puulevykerroksesta (kuva 3). Massiivipuulevyt liimataan lapeliimauksella toisiinsa, mutta jotkut valmistajat käyttävät tämän lisäksi myös syrjäliimausta. Liimauksessa käytetään ympäristöä säästäviä formaldehydittömiä liimoja. CLT:tä

käytetään kantavana materiaalina ja se soveltuu ulko- ja väliseiniin sekä ala-, väli- ja yläpohjaan. CLT:tä voidaan valmistaa noin kolmen metrin levyisenä ja jopa 16 metriä pitkänä elementtinä. CLT:n hyötyjä ovat muun muassa sen erinomaiset rakenteelliset ominaisuudet ja erinomainen työstötarkkuus. (Stora Enso Oyj 2013.)



Kuva 3. Cross Laminated Timber (Puuinfo Oy 2019a).

2.3 Kohteet

Puuta on käytetty historian aikana talojen lisäksi muun muassa silloissa, kirkoissa ja halleissa. Suomessa puu on yleisin pientalon rakennusmateriaali ja on yleistymään päin myös suurissa kohteissa, kuten kerrostaloissa. Puukerrostaloksi kutsutaan taloa, jossa on vähintään kaksi kerrosta ja kantavat rakenteet ovat pääosin puuta. Suomessa on 2010-luvulla rakennettu paljon puukerrostaloja, mutta edelleen eletään puukerrostalojen koerakentamisvaihetta. Pitkäaikaiskestävyyden vaikutuksia korkeiden rakennusten eri rakenneratkaisuissa on vaikea ennus-

taa ja suunnitella, koska korkeita puukerrostaloja on rakennettu hyvin vähän. Palomääräykset uudistuivat vuonna 2011 ja kantavassa rungossa sai alkaa käyttämään puuta entistä korkeammissa rakennuksissa. Tämän seurauksena kiinnostus puun käytöstä kerrostalon runkomateriaalina lisääntyi.

2010-luvun merkittävimpiä puukerrostalo kohteita Suomessa ovat olleet muun muassa Vantaan Puumera, Joensuun Pihapetäjä (Kuva 4), Jyväskylän Puukuokka (kuva 5) sekä Joensuuhun rakenteilla oleva 14-kerroksinen puukerrostalo Lighthouse Joensuu, jota käsittelemme tarkemmin tässä opinnäytetyössä myöhemmin.



Kuva 4. Pihapetäjä on tilaelementeistä rakennettu 6-kerroksinen kerrostalo (Auerniitty, OOPEAA office for Peripheral Architecture Oy & Puuinfo Oy 2019a).



Kuva 5. Yksi kolmesta 6-8-kerroksisesta kerrostalosta, joista Jyväskylän Puukuokka muodostuu. (Auerniitty, OOPEAA office for Peripheral Architecture Oy & Puuinfo Oy 2019b).

3 Rakenteet ja jäykistys

3.1 Rakennejärjestelmät

Puukerrostalot voidaan rakentaa monella eri rakennejärjestelmällä. Yleisesti käytettyjä järjestelmiä ovat kantavat seinät, tilaelementit ja pilari-palkkijärjestelmä. Yleensä rakenteet valmistetaan tehtaalla elementeiksi, jotka kuljetetaan työmaalle asennettavaksi. Pyrkimyksenä on pitää työmaalla tehtävä työmäärä mahdollisimman pienenä, jotta puurakenteiden altistuminen ulkoilman kosteudelle olisi mahdollisimman vähäistä. (Puuinfo Oy 2018b.) Käytettävän järjestelmän valintaan vaikuttaa tietyt asiat, jotka tulee huomioida. Rakennuksen korkeus määrittää mitä järjestelmiä on järkevää käyttää, koska tietyn kerrosmäärän jälkeen rankarakenteiden käyttö ei ole enää kannattavaa kasvavien rasisitusten takia. Määrittäviä tekijöitä ovat myös rakennuksen käyttötarkoitus ja haluttu muunneltavuusaste.

3.1.1 Kantavat seinät -järjestelmä

Kantavat seinät -järjestelmässä ulkoseinät ja yleensä huoneistojen väliset seinät toimivat kantavina linjoina. Kantavat seinät ovat tehty rankarakenteisina tai massiivipuurakenteisina. Rankarakenteessa (kuva 6) kantavana osana on puiset viilu- tai liimapuu runkotolpat tai -palkit, jotka on kiinnitetty päistään tietyllä jaolla ala- ja yläsidepuihin. Eristeet sijoitetaan tolppien tai palkkien väliin ja rakenteen jäykistää molemmille puolille kiinnitettävät rakennuslevyt. Jos seinän korkeus kasvaa normaalia korkeammaksi tulee miettiä, tarvitseeko runkotolppien välille asentaa kapulointi estämään tolppien nurjahdus. Kantaviin seiiniin perustuva rankarakenne -järjestelmä on eniten käytetty rakennejärjestelmä puutaloissa, minkä takia siitä on paljon kokemusta ja tietoa pitkältä ajalta. Välipohjissa päästään 4–6 metrin jännemittoihin, mikä soveltuu hyvin asuinrakennuksiin. (Puuinfo Oy 2018b.)



Kuva 6. Rankarakenne (Puuinfo Oy 2018c).

Massiivipuurakenteessa (kuva 7) kantavat seinät on tehty massiivipuulevystä, kuten CLT:stä tai LVL:stä. Ikkunat ja muut aukotukset jyrsitään CNC-koneella erittäin tarkasti elementtiin tehtaalla. Ulkoseinissä eristeet, koolaukset ja ulkoverhous kiinnitetään massiivipuulevyyn. Jos palomääräykset vaativat, kiinnitetään

jokin suojaverhous massiivipuulevyn molemmille puolille. Massiivipuulevyt toimivat hyvin myös välipohjarakenteina, mutta niihin joudutaan lisäämään pintarakenteita ääneneristävyyden parantamiseksi. (Puuinfo Oy 2018b.)



Kuva 7. Massiivipuurakenteiset seinät (Puuinfo Oy 2018c).

3.1.2 Pilari-palkkijärjestelmä

Nimensä mukaisesti tässä järjestelmässä kantava runko koostuu pilareista ja palkkeista, jotka kannattelevat ylä- ja välipohjia sekä kevyitä ulkoseiniä. Pilarit ja palkit ovat kerto- tai liimapuusta tehtyjä puuelementtejä. Järjestelmän runko jäykistään mastopilareilla tai jäykkäliitoksilla vinositeillä. Rungon pystytys vesikatoon asti tapahtuu todella nopeasti, mikä vähentää ylimääräiseen sääsuojaukseen käytettävää työtä paljon. Järjestelmä mahdollistaa tilojen muuntojoustavuuden erinomaisesti, koska kantavia väliseiniä ei ole (kuva 8). Ulkoseinät ovat myös kantamattomia, joten ikkunoiden sijainti ja muoto voidaan määrittää melko vapaasti. (Puuinfo Oy 2018b.) Järjestelmällä on haastavaa tehdä korkeita kerrostaloja ilman betonin tai teräksen käyttöä jäykistyksessä.



Kuva 8. Pilari-palkkijärjestelmä (Puuinfo Oy 2018b).

3.1.3 Tilaelementit

Tilaelementti on seinistä, lattiasta ja katosta tehtaalla koottu tilayksikkö, joka on huoneiston osa tai jopa kokonainen huoneisto (kuva 9). Tilaelementtien valmiusaste voidaan tehdä ikkunoita, kalustuksia, LVIS-varusteita ja sisäpinnoituksia myöten valmiiksi tehtaalla, jolloin vähennetään työmaan läpivientiaikaa huomattavasti. Kantavana rakenteena on mahdollista käyttää kehärakennetta, pilaripalkkitekniikkaa tai laattamaisia suurelementtejä, kuten rankarakenteita tai massiivipuulevyjä. Valmistuksen jälkeen tilayksiköt kuljetetaan rakennustyömaalle, missä niistä kootaan yhtenäinen rakennus. Tilaelementtien suurin mahdollinen koko ja massa määräytyy kuljetuksen ja nostojen asettamien rajojen mukaan. Normaalit enimmäismitat joilla kuljetus on helposti toteutettavissa, ovat 12 x 4,2 x 3,2 metriä. Tilaelementti-järjestelmällä rakennettaessa syntyy kaksoisrakenteita, joilla on mahdollista saada hyvä äänieristys aikaan, kunhan liitoksien sivutiesiirtymien rajoittamisesta huolehditaan. Toisaalta kaksoisrakenteesta saattaa koitua lisäkustannuksia, kun yhden väliseinän sijasta on kaksi seinää vierekkäin. Järjestelmä soveltuu hyvin täydennysrakentamiseen ja lisäkerrosten tekemiseen nopeutensa ansiosta. (Puuinfo Oy 2018b.) Tilojen muuntojoustavuus on melko mahdotonta jälkikäteen, mikä rajoittaa järjestelmän käytön asuinrakennuksiin.



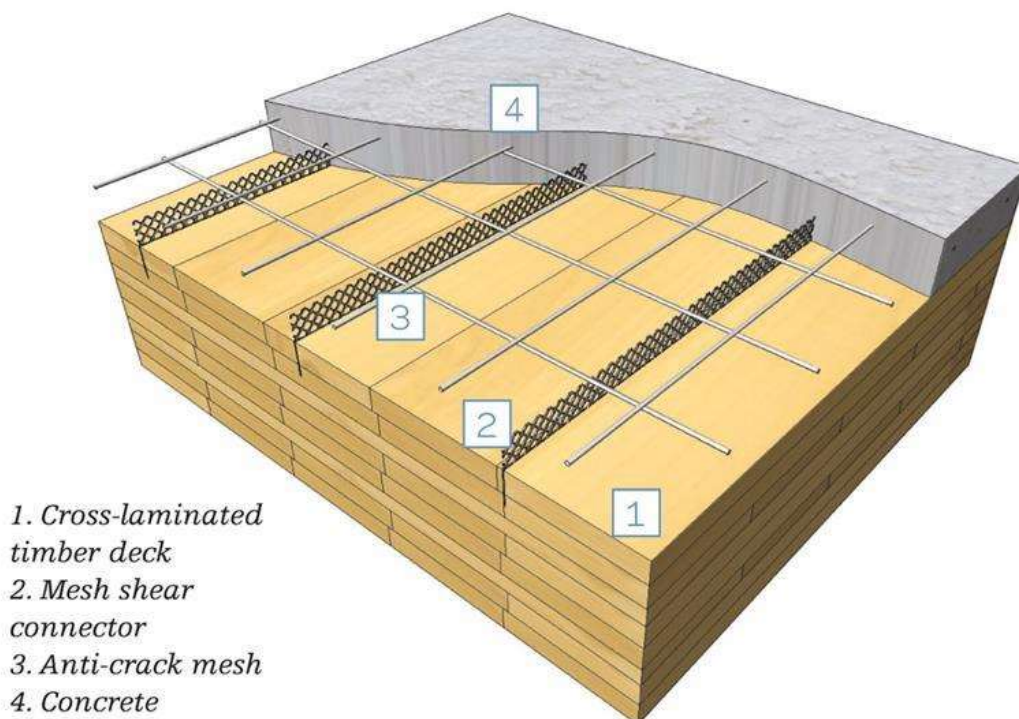
Kuva 9. Tilaelementti (Puuinfo Oy 2018b).

3.2 Hybridirakenteet

Puurakennuksen rakenteita suunniteltaessa voidaan harkita myös käytettäväksi yhdistelmärakenteita eli hybridirakenteita, joissa erilaisia materiaaleja yhdistetään runko- tai julkisivurakenteina. Hybridirakenteessa hyödynnetään materiaalien hyviä ominaisuuksia optimaalisesti, käyttämällä materiaalia siellä missä se parhaiten edistää rakenteen tai rakennuksen toimivuutta ja kestävyyttä. Nykyisissä puutalojen hybridirakenteissa käytetään betonia tai terästä integroituna insinööripuutuotteisiin korkeasti rasitetuissa kohdissa. Teräs on usein yhdistetty puuhun liitoksissa ja betonia käytetään sekä liitoksissa että puuvälipohjissa liittorakenteena tai kelluvana pintalaattana. Puukerrostalojen jäykistys on joissain kohteissa tehty betonisella hissikuilulla, mikä helpottaa rakennuksen jäykistykseen

suunnittelua. Materiaaleja yhdistettäessä tulee kuitenkin huomioida materiaalien erilainen painuminen ja käyttäytyminen lämpötilan ja kosteusolosuhteiden vaihteluissa. Materiaalien erilainen eläminen voi aiheuttaa murtumia rakenteissa.

Puu-betoniliittorakenteen käytöllä välipohjassa saadaan hyötyä rakenteellisiin ja äänitekniisiin ominaisuuksiin. Verrattuna perinteisiin puulattioihin, puun ja betonin välinen liitos voi mahdollistaa kolme kertaa paremman kantavuuden ja kuusi kertaa suuremman taivutusjäykkyyden. Lisäksi puun vaimentavien ominaisuuksien takia iskuääneneristävyys paranee betonilattioihin verrattuna ja betonin massan ansiosta ilmaääneneristävyys on parempi kuin puulattioissa. (Poikajärvi 2017.) Kuvassa 10 on havainnollistettu puu-betoniliittorakenne välipohjassa, jossa on CLT-levyjen päälle valettu raudoitettu betonilaatta. Kyseisessä rakenteessa betonilaatan ja CLT-levyn välille muodostuu kestävä ja jäykkä leikkausliitos, CLT-levyyn sahattuihin uriin liimattujen teräsverkkojen ansiosta. Urat ja teräslevyn kiinnitys on tehty tehtaalla valmiiksi, joten betoni voidaan valaa heti CLT-levyjen asennuksen jälkeen. (Lane 2012.)



Kuva 10. CLT-betoniliittorakenne (Lane 2012).

Betonia kannattaa käyttää puurakennuksessa kovaa puristuslujuutta vaativissa paikoissa, rakennusta jäykistävässä rakenteissa tai massan ja ääneneristyksen lisääjänä esimerkiksi välipohjissa. Betonin käytöllä helpotetaan suunnittelua, parannetaan rakennuksen toimivuutta ja kestävyyttä sekä vähennetään kustannuksia. Puun käytöllä betonirakennuksessa saadaan vähennettyä rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeä ja pystytään keventämään rakenteita. Puun kantavuus suhteutettuna omaan painoon on parempi kuin teräsbetonirakenteessa, jolloin rakenne sopii rakennuksiin, joissa massa ei saa nousta suureksi esimerkiksi maaperän heikon kantavuuden takia. Puun keveyttä kannattaa hyödyntää myös lisä- ja korjausrakentamisessa.

3.3 Liitokset

Liitokset ovat keskeisessä asemassa puurakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa, niin teknisessä kuin esteettisessäkin mielessä. Jos kantavien rakenteiden liitokset jätetään näkyviin, niiden tulisi olla myös arkkitehtonisesti siistejä. Esteettinen merkitys saadaan häviämään, jos käytetään rakenteiden sisään jääviä liitoksia, jolloin liitostyyppin valintaan saadaan väljyyttä ja usein löydetään myös taloudellisin ratkaisu. Puurakenteille on kehitetty useita erilaisia liitostapoja, joista voidaan valita kuhunkin tilanteeseen sopiva liitos. Rakenneosien välisten liitosten kestävyys ja toimivuus riippuu pitkälti oikean liitoksen valinnasta ja liitosten suunnittelun onnistumisesta. Liitoksen valintaan vaikuttavia asioita ovat muun muassa rakennuksen runkosysteemi, pohjapiirros sekä mitoituksen ja rakentamisen helppous ja kustannukset. Suunnittelun tavoitteena on saada liitoksesta mahdollisimman yksinkertainen ja vähän liittimiä sisältävä, jolloin saadaan rakenteellisesti paras lopputulos aikaan. (Siikanen 2008, 63.)

3.3.1 Puurakenteissa käytettäviä liitoksia

Yleisimmin käytetyt puurakenteiden liitokset on mahdollista jakaa mekaanisiin liitoksiin ja liimaliitoksiin. Mekaanisiin liitoksiin kuuluvat naula-, pultti-, ruuvi- ja erilaiset vaarnaliitokset sekä naulauslevyliitokset. Myös metallisilla muotokiinnikkeillä ja liitoselimillä saadaan luja ja nopeasti toteutettava mekaaninen liitos aikaan. Liimaliitoksia käytetään yleisimmin tehdastuotannossa, koska niiden käyttö kantavissa rakenteissa on luvanvaraista ja valvottua. Liimaliitosta käytetään rakenteiden sisäisissä liitoksissa, pääasiassa liimapuun lamellien saumoissa, sormijatkoksissa, puulevyjen valmistuksessa sekä CLT- ja LVL-elementtien tuotannossa. Liimatuissa metalliliittimissä lisätään liittimen tartuntaa liiman avulla. Liimattuja metalliliittimiä ovat liimanaulat, puun sisään liimatut metallitangot ja liimatut ruuvit. Liimaruuveja käytetään yleisesti massiivisten puurakennusosien liitoksissa. (Siikanen 2008, 63–70.)

Massiivipuulementeistä tehdyissä puukerrostaloissa käytetään tyypillisesti seinien ja välipohjien liitoksissa naulaus- ja kulmalevyliitoksia, ruuvausta tai vinoruuvausta ja joskus jopa 3D-vinoruuvausta. Massiivipuulementteihin on kehitetty myös monenlaisia metallisia liitoselimiä. Esimerkiksi Rotho Blaas -niminen yritys on kehittänyt liitosjärjestelmän, jossa seinät liitetään toisiinsa seinien nurkkiin ruuvatuilla liitoselimillä (kuva 11), jotka siirtävät leikkaus- ja vetojännityksiä (Rotho Blaas srl 2017).



Kuva 11. Rotho Blaas X-RAD seinäliitoselimet (Rotho Blaas srl 2017).

Myös SHERPA Connection System -niminen kiinnikevalmistaja tekee liitoselimiä puurakenteiden kiinnityksiin ja yritykseltä löytyy liitosjärjestelmä, joka sopii palkkien ja pilarien liittämiseen tavalla, jossa ei jää näkyviä kiinnikeosia (kuva 12) (SHERPA Connection Systems GmbH 2013). Yritykseltä löytyy myös liitososa massiivipuuseinien ruuvaukseen (kuva 13) (SHERPA Connection Systems GmbH 2018). Näillä liitoselimillä voitaisiin säästää työmaalla liitoksien kiinnitykseen käytettyä aikaa huomattavasti.

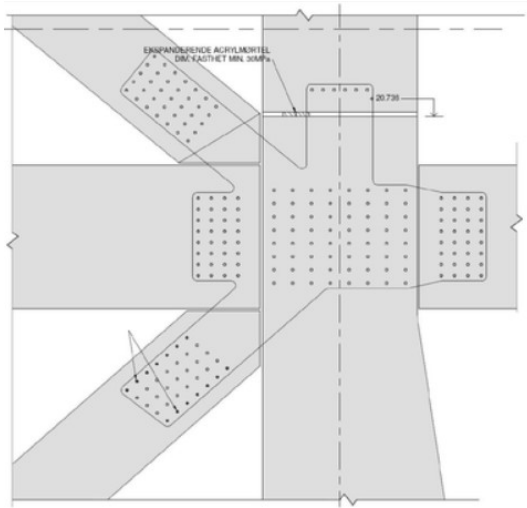


Kuva 12. (SHERPA Connection Systems GmbH 2013, 4).

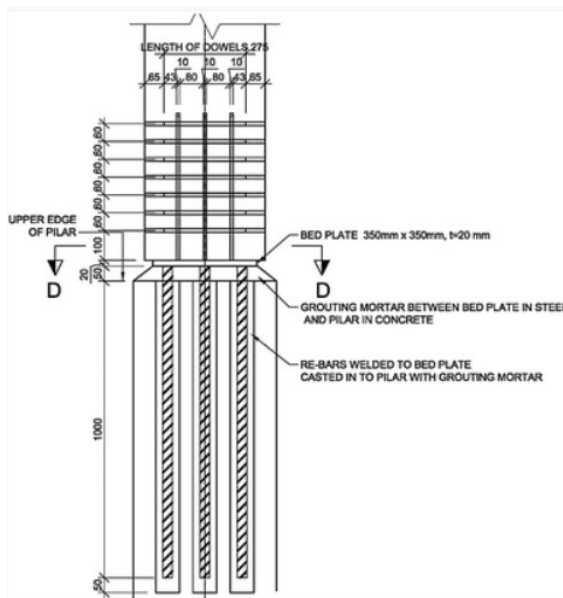
Kuva 13. SHERPA kiinnikkeet seiniin ja välipohjiin (SHERPA Connection Systems GmbH 2018, 6).

3.3.2 Korkeiden puukerrostalojen liitoksia

Norjan 14-kerroksisen ”Treet”-puukerrostalon liimapuusta tehdyn pilari-palkkirungon liitokset on toteutettu järeillä tappivaarnaliitoksilla, joita on yleisesti käytetty siltojen ja suurten rakennusten liitoksissa Norjassa. Liitoksessa on käytetty kolmea 8 mm paksua kuumasinkittyä teräslevyä ja useita 12 mm:n paksuisia ruostumattomasta teräksestä valmistettuja tappeja (kuva 14). Liimapuupilarit liitettiin betoniperustuksiin tappivaarnaliitoksella, jossa puun sisällä olevat teräslevyt on hitsattu teräksiseen kiinnityslevyyn, joka on valettu betoniperustukseen (kuva 15). (Malo, Abrahamsen & Bjertnaes 2016, 408–409.)

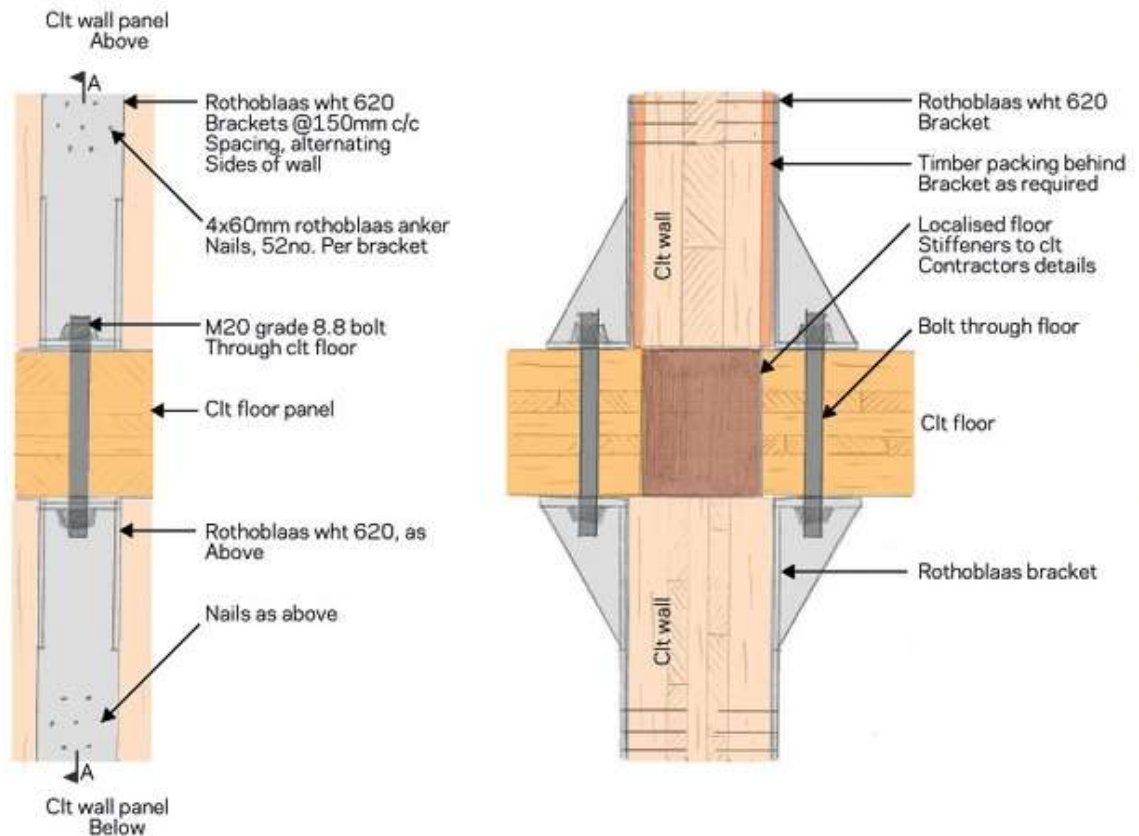


Kuva 14. Liimapuu ristikkorakenteen vaarnatappiliitos (Malo ym. 2016, 409).



Kuva 15. Liimapuupilarin liitos perustukseen (Malo ym. 2016, 410).

Lontoossa tehdyn 10-kerroksisen ”Dalston Lane” -puukerrostalon jäykistäviin väliseiniin suunniteltiin järeämpi liitos vähentämään tuulesta johtuvaa rakennuksen sivusiirtymää ja samalla pienentämään välipohjalaattojen puristumista pystykuorimien alla. Liitoksessa käytetään kulmalevyjä väliseinän ja välipohjan kiinnittämiseen toisiinsa, sekä pultteja liittämään kulmalevyt yhteen välipohjan ylä- ja alapuolella (kuva 16). Tällä tavalla saadaan siirrettyä tuulesta johtuva nostavoima pultteja pitkin alemmalle seinälle. Seinien välissä olevien CLT-välipohjalaattojen päihin tehtäviin reikiin valetaan betonilaastia, joka siirtää ylempien kerrosten painoa alemmalle seinälle, jolloin vältetään välipohjalaatan puristuminen ja toisaalta puiden välipohjan kuivumiskutistumasta aiheutuvat ongelmat. (Pearson 2016.)



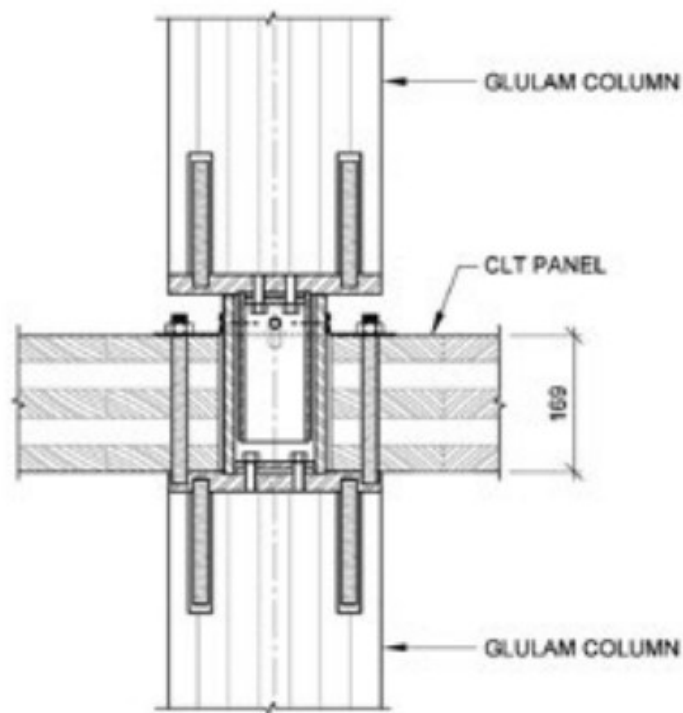
Kuva 16. Seinän ja välipohjan liitos (Pearson 2016).

Toinen Lontoossa tehty puukerrostalo, jossa on käytetty innovatiivista liitosta, on nimeltään "Bridport House". Tässä 8-kerroksisessa puukerrostalossa välipohjan ja kantavan seinän liittymään suunniteltiin niin sanottu kampaliitos. Näissä liittymissä CLT-elementtien päihin tehtiin tehtaalla urat, jotta elementit voidaan asentaa limittäin (kuva 17). Liitoksen tarkoituksena on saada kantavaan seinään kohdistuvat pystykuormat välittymään suoraan puskuliitoksen kautta alemmalle seinälle. Liitoksella vältetään välipohjalaatan puristuminen seinien välissä ja vähennetään rakenteiden painumia huomattavasti. (Mayo 2015, 78.)

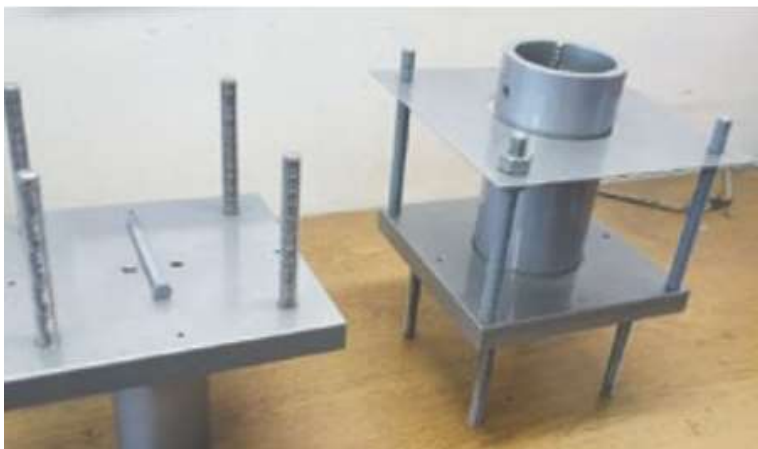


Kuva 17. Seinän ja välipohjan urien limitys (Viljakainen & Puuinfo Oy 2017).

Vancouveriin rakennetun 18-kerroksisen ”Brock Commons” -puukerrostalon pilariliitoksissa on käytetty teräsosia siirtämään ylempien kerrosten paino suoraan alemmalle pilarille. Näin vältetään CLT-laatan puristuminen pilarien välissä (kuva 18). Laatat on tuettu pilareihin teräsosaan hitsatuilla kierretangoilla ja muttereilla (kuva 19). Laatat on sidottu toisiinsa vanerilevyillä, jotka on ruuvattu ja naulattu laattojen saumaan. Vaakavoimat siirtyvät teräksisillä naulauslevyillä ja kulmalevyillä betonista tehtyyn hissi- ja porraskuiluun, joka siirtää voimat perustuksille. (Canadian Wood Council 2018, 18–19.)



Kuva 18. Pilarien liitos (Canadian Wood Council 2018, 18).

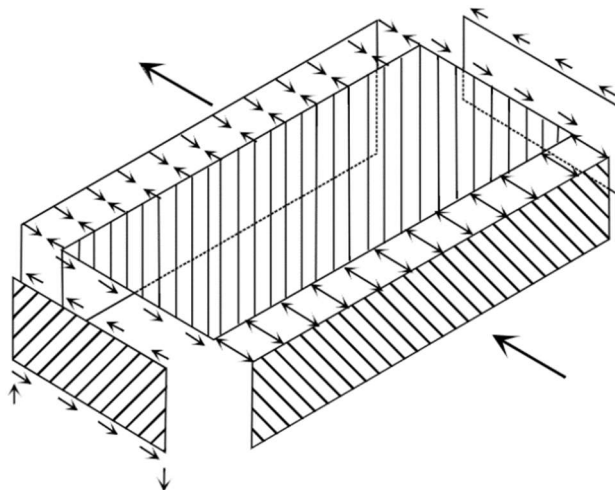


Kuva 19. Teräksiset liitososat (Canadian Wood Council 2018, 18).

3.4 Jäykistys

Kerrostalossa vaaka- ja pystykuormat kulkevat perustuksille jäykistysjärjestelmän ansiosta, joka myös rajoittaa rakennuksen siirtymiä ja varmistaa jäykistysvaikutuksen onnettomuustilanteessa ja asennusvaiheessa. Jäykistysjärjestel-

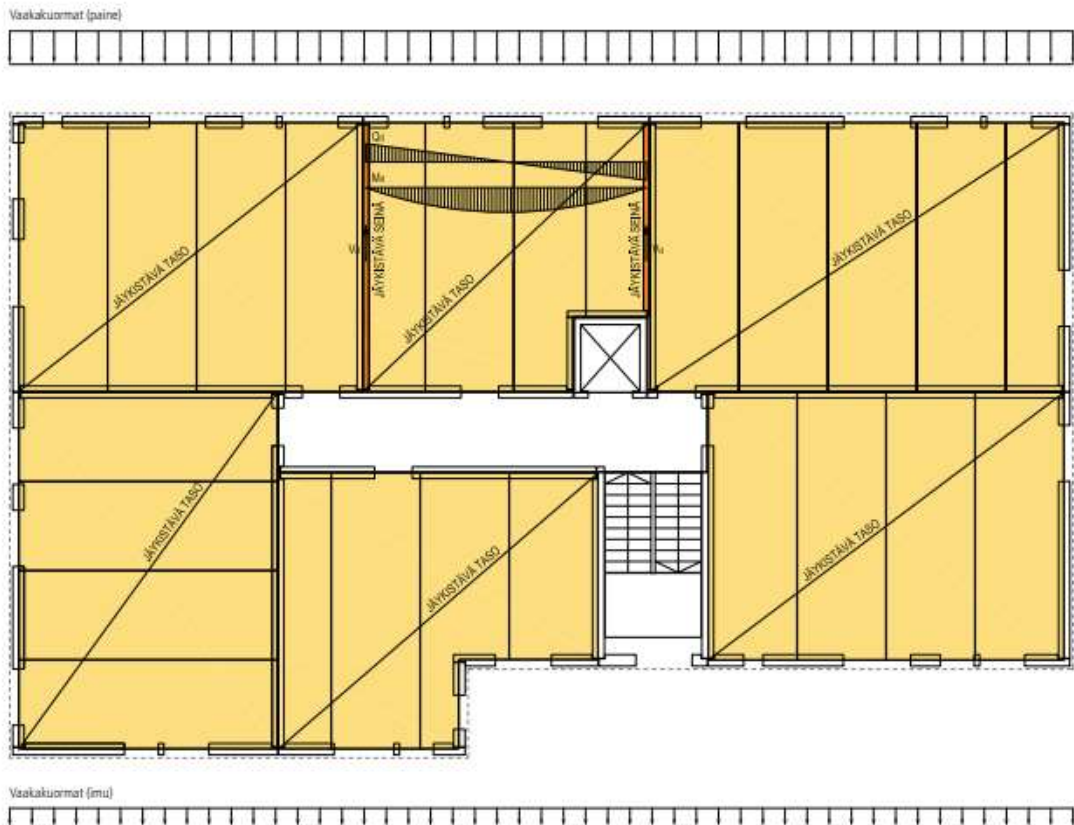
mään (kuva 20) kuuluvat pysty- ja vaakajäykisteet, jotka on liitetty toisiinsa erilaisilla liitosmenetelmillä. Pystyjäykisteinä toimivat ulko- ja väliseinät tai mastopilarit ja vaakajäykisteenä välipohja. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela & Viljakainen 2013, 90–93.)



Kuva 20. Vaakakuormien siirtyminen perustuksille jäykistysjärjestelmässä (RIL 244-2007, 11).

Suomen määräyksien mukaan rakennettavassa puisessa asuinkerrostalossa välipohjat joudutaan katkaisemaan huoneiston rajaavien seinien päällä, jotta äänet ja värähtelyt eivät pääse johtumaan välipohjaa pitkin toisiin huoneistoihin tai porrashuoneeseen. Välipohja ei tällöin voi useimmissa tapauksissa toimia yhtenäisenä laattana, joka siirtäisi vaakakuormat tasaisesti jäykistäville pystyrakenteille kuten betonitalossa. Tästä syystä joudutaan tekemään jäykistävien vaaka- ja pystyrakenteiden muodostamia huoneistokohtaisia jäykistyssesteemejä, jotka sidotaan toisiinsa niin, että vaakavoimat jakautuvat huoneistojen kesken (kuva 21). Vaakakuormat siirretään jäykistäville pystyrakenteille huoneisto kohtaisilla levyjäykisteillä, jotka yleensä muodostuvat yhteen liitetyistä välipohjaelementeistä. Jäykistystä mitoitettaessa tulee huomioida, kuinka paljon voimaa jäykistävien rakenteiden välinen liitos pystyy siirtämään, koska se määrittää suurimman mahdollisen voiman, joka levyjäykisteiltä pystyrakenteille voidaan siirtää. (Tolppanen ym. 2013, 90–93.)

Rankarunkoisissa välipohja- ja seinäelementeissä jäykisteenä käytetään yleensä rakennuslevyä. CLT- ja LVL-elementit ovat jäykistäviä levyjä pelkästään oman rakenteensa ansiosta ja niillä on hyvät jäykkyysominaisuudet, jolloin ne soveltuvat rankarunkoa paremmin suurta jäykkyyttä vaativiin korkeisiin puukerrostaloihin. Pilari-palkkirungossa vaakavoimat voidaan välittää palkkien avulla välipohjilta mastopilareille, jotka toimivat pystyjäykisteinä. (Tolppanen ym. 2013, 92.)



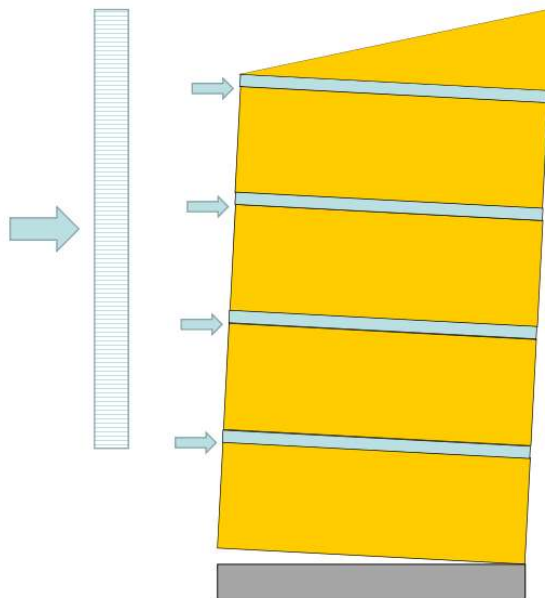
Kuva 21. Huoneistokohtainen vaakajäykistys (Finnish Wood Research 2014, 11).

Puukerrostalon jäykistyksessä pätee samoja sääntöjä kuin betonitalossakin; erona on puun pienempi paino ja jäykkyys, joka tulee huomioida jäykistysjärjestelmää suunniteltaessa. Jäykistyksen kannalta rakennusjärjestelmässä tulisi kiinnittää huomiota jäykistävien seinien etäisyyteen toisistaan. Jäykistävät seinät tulisi mahdollisuuksien mukaan sijoittaa mahdollisimman lähelle toisiaan, jottei epätasaista kuorman kertymistä pääse syntymään seinien välille, eikä painoa keräänny välipohjille liikaa. Jäykistävät rakenteet tulisi sijoittaa rakennuksen pohjaan symmetrisesti, jotta kuormat kulkevat kerroksen läpi tasaisesti. Jäykistävään

rakenteeseen saadaan lisää nostetta kumoavaa massaa, jos pystykuormia kasaataan jäykistäville seinille ja lisätään seinien pituutta. Aukotukset olisi hyvä pitää jäykistävässä seinissä mahdollisimman vähäisinä ja seinät tulisi sijoittaa päällekkäin, jotta kuormat siirtyvät suorinta reittiä perustuksille. Ulkokehälle olisi myös hyvä saada jäykistäviä seiniä, jolloin välipohjan vääntörasitusta on helpompi hallita. (Lepikonmäki 2014.)

3.5 Puukerrostalon ankkurointi

Rakennus täytyy ankkuroida nostetta vastaan, jos rakennuksen omapaino ei riitä kumoamaan nosteen vaikutusta. Noste tarkoittaa nostavia voimia, jotka pyrkivät nostamaan rakennetta ylöspäin. Nostavia voimia syntyy, kun vaakakuormat aiheuttavat rakenteeseen kaatavia voimia. Kun kaatavan voiman aiheuttama kaatava momentti on suurempi kuin rakenteen omapaino, rakenne pyrkii nousemaan ilmaan toiselta reunaltaan ja toiselle reunalle kohdistuu puristusta (kuva 22). (Nelson, Sharad & Arevalo 2002, 1.)

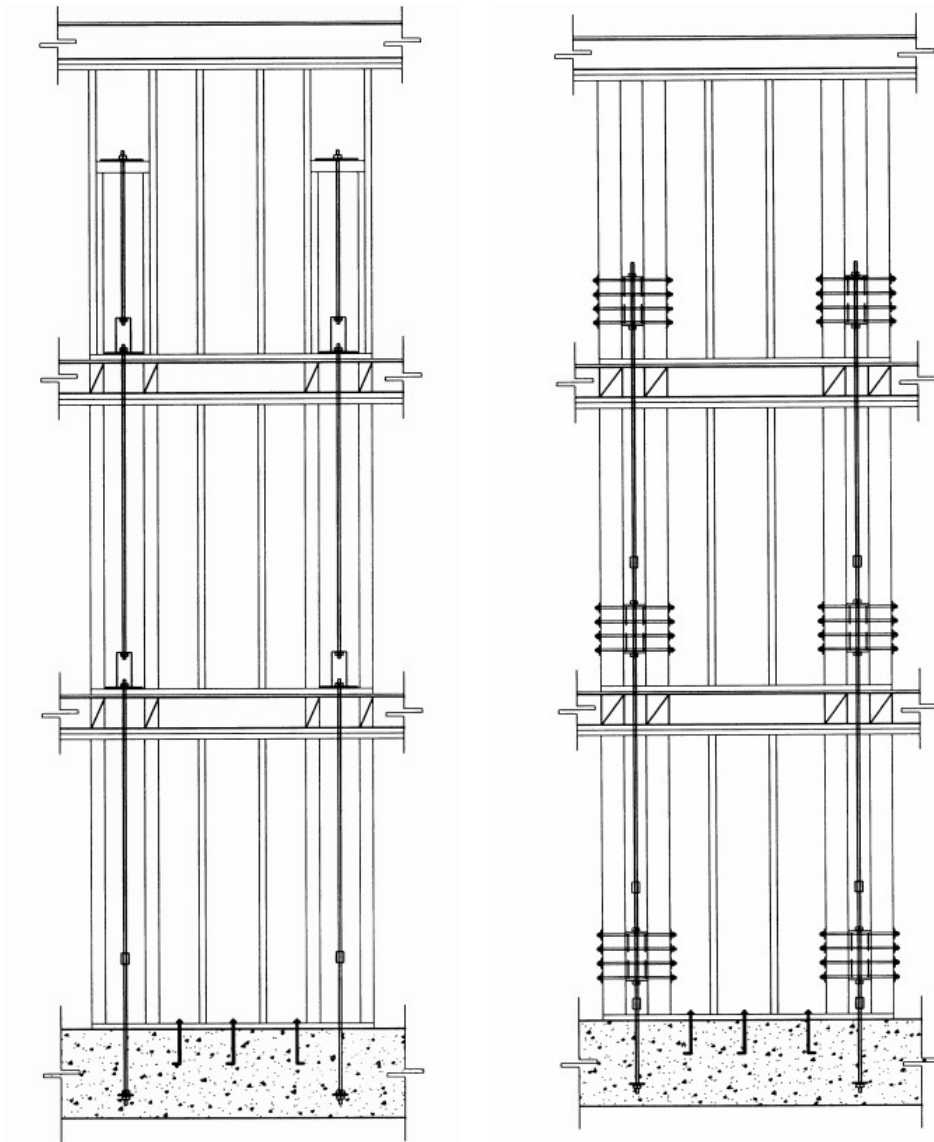


Kuva 22. Kaatavat voimat (Lahtela & Puuinfo Oy 2017).

Monikerroksisessa puutalossa rakenteiden massa ei riitä kumoamaan vaakakuormien aiheuttamaa nostetta, joten rakenteet täytyy ankkuroida toisiinsa pystysuunnassa, aina perustuksiin asti. Perinteisesti puurakenteita on ankkuroitu naulauslevyillä, kulmarauodoilla tai metalliosilla ankkurointipulttien kanssa. Puutalojen kerrosten lisääntyessä keveiden puurakenteiden ankkurointia joudutaan lisäämään kasvaneen nosteen takia. Kun kerroksia lisätään riittävästi, perinteisten ankkurointimenetelmien käyttö alkaa olla kallista ja aikaa vievää, koska ankkurointiosat ja kiinnikkeet lisääntyvät suuremman rasituksen johdosta. Siitä syystä on jouduttu kehittämään halvempi ja yksinkertaisempi ratkaisu korkeampien puurakennusten ankkurointiin. (Nelson ym. 2002, 1.)

3.5.1 Terästankoankkurointi

Yhdeksi ankkurointivaihtoehdoksi on kehitelty terästankoankkurointi, jota on käytetty tähän mennessä pääasiassa Pohjois-Amerikassa. Terästankoankkurointijärjestelmässä seinien sisällä kulkevat yhdistetyt terästangot ottavat nostavat voimat vastaan useilta kerroksilta ja siirtävät ne perustuksille. Nostavat voimat siirtyvät tangoille seinän päälle asetetun ankkurointilevyn ja ankkurimutterin kautta tai seinään pultatun ankkurointiosan kautta. Alin jännetanko on ankkuroitu perustuksiin, jonne nostavat voimat siirtyvät terästankoja pitkin (kuva 23). Jotta järjestelmä pystyy toimimaan, perustuksissa täytyy olla riittävä määrä massaa tai vetopaaluja kumoamassa rakennusta kaatavat voimat. (Nelson ym. 2002, 1.)



Kuva 23. Jatkuva terästankoankkurointijärjestelmä ankkurointilevyillä (vas.) ja pultatuilla ankkurointiosilla (oik.) (Nelson ym. 2002, 2).

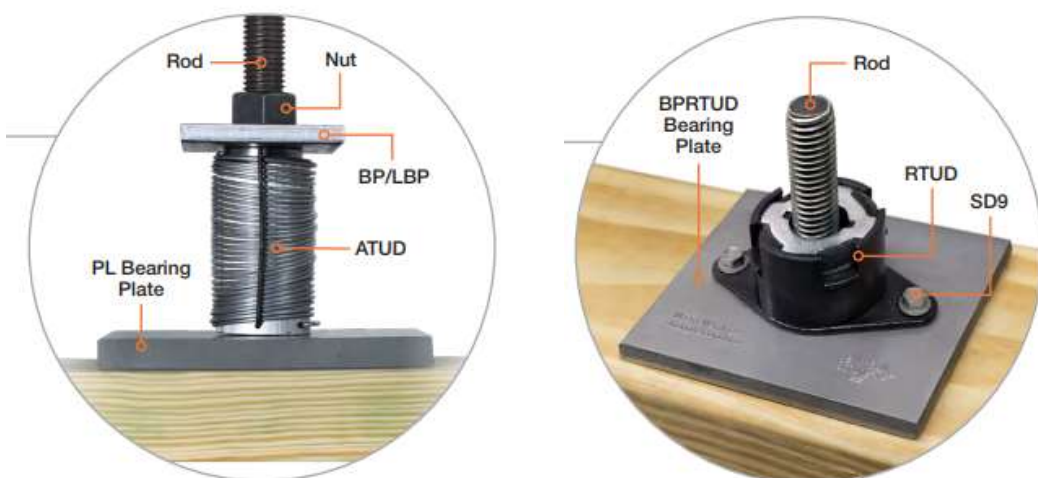
Terästankoankkurointi voidaan tehdä kerroksittain jatkuvana (Continuous tie-down system) (kuva 23), jolloin jokainen kerros ankkuroidaan erikseen. Toinen vaihtoehto on tehdä se kerroksia ohittavana (Skipped floor system) (kuva 60), jolloin useampi kerros ankkuroidaan kerralla yhteen ankkurointiryhmään, eli jätetään joku tai joitain kerroksia välistä ankkuroimatta. Kerroksia ohittavassa järjestelmässä täytyy huomioida useamman kerroksen jännityshäviöiden ja taipumien kertaantuminen yhteen ankkurointiryhmään, mikä rajoittaa kerralla yhteen ankkuroitavien kerrosten lukumäärää. (Nelson ym. 2002, 4–5.)

Puurakennuksessa tapahtuu painumista puuhun aiheutetun puristuksen ja puun kuivumiskutistuman takia. Metalliset terästangot taas eivät painu, joten puun ja ankkurimutterin väliin saattaa ajansaatossa syntyä rako (kuva 24), jolloin ankkurointivoimat heikentyvät radikaalisti. (Simpson Strong-Tie Company Inc. 2018, 13.)



Kuva 24. Painuman aiheuttama rako puun ja ankkurimutterin välissä (Simpson Strong-Tie Company Inc. 2018, 13).

Ratkaisuksi tähän ongelmaan on kehitelty erilaisia puun painumia kompensoivia osia (kuva 25). Nämä osat pitävät kiristykseen tasaisena, vaikka puu niiden alla painuu, jolloin ankkurointivoimat pysyvät ennallaan. Painumaa kompensoivia osia ovat muun muassa jousimaiset laajenevat osat, jotka asennetaan ankkurointilevyn ja ankkurimutterin väliin, sekä puuhun kiinnitetty alaspäin hammastava kiristysosa, joka liikkuu kierteessä vain yhteen suuntaan. (Simpson Strong-Tie Company Inc. 2018, 25–27.)

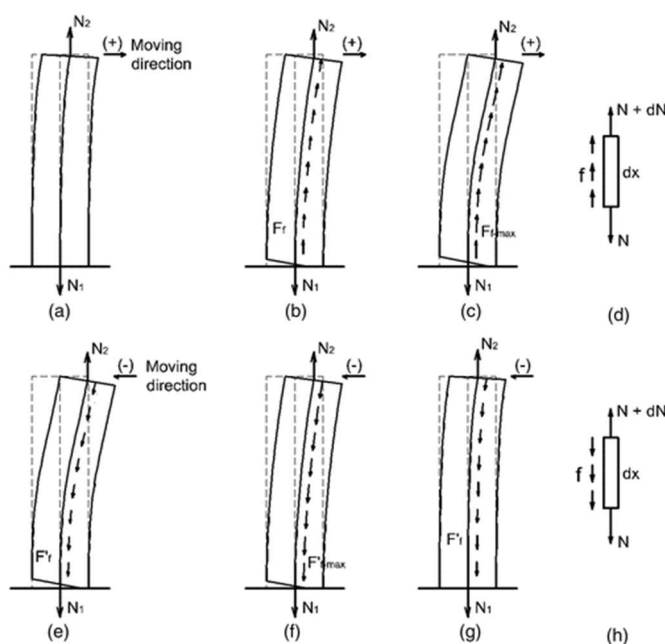


Kuva 25. Puun painumia kompensoiva laajeneva kiristysosa (vas.) ja hammastava kiristysosa (oik.) (Simpson Strong-Tie Company Inc. 2018, 25).

3.5.2 Jännetankoankkurointi

Terästankoankkurointi tehdään ilman tankojen jännitystä, mutta rakennuksen korkeuden kasvaessa kaatavien momenttien suhde rakennuksen massaan kasvaa, jolloin tarvitaan lisää rakenteita stabiloivia voimia. Käyttämällä ankkuroinnissa jännitettyjä jännetankoja, saavutetaan tarvittava lisäys stabiloiviin voimiin. Jännetangot jännittämällä saadaan tuotettua seinää alaspäin painavaa voimaa, joka stabiloi rakennetta, kuten rakenteen omapainokin tekee. Jännetankojen jännitys tehdään elementtien asennuksen jälkeen, tästä syystä puhutaan jälkijännitetyistä tangoista. Jännittämättömillä tangoilla otetaan vastaan vain nostavia voimia, joten se soveltuu hyvin keskikorkeisiin (4-8-kerrosta) tai matalampiin taloihin, joissa kokonaistaipuma ja huojunta eivät kasva niin suuriksi.

Nostavien voimien ankkuroinnin ja stabiloivien voimien kasvattamisen lisäksi, tankojen jännittämisellä pystytään vähentämään huojunnasta aiheutuvia muodonmuutoksia rakenteissa ja siten varmistetaan tärkeiden rakenteellisten osien säilyminen ehjänä kovissakin tuuliolosuhteissa. Jälkijännitetyt liitokset auttavat rakenteita vakauttamaan itsensä, myös seismisen tapahtuman (maanjäristys) jälkeen. Kuvassa 26 esitetään jännetankoon aiheutuva kitka rakenteen kallistuessa. Kuvasta nähdään myös, miten rakenne vakautuu kaatavan voiman vaikutuksesta. (Ho, Dao, Aaleti, van de Lindt & Rammer 2016, 2.)



Kuva 26. Jännitetty jännetanko vakauttaa rakennetta (Ho ym. 2016, 4).

Jälkijännitystekniikan käyttöä seinärakenteissa kehiteltiin alun perin betonielementtiseinien vahvistamiseen maanjäristyksiä vastaan 1990-luvulla. Tekniikan tutkimuksien testeissä havaittiin, että järjestelmällä on hyvä seisminen suorituskyky maanjäristystilanteissa. Sittemmin järjestelmää on alettu käyttää muiden materiaaleilla rakennetuissa rakenteissa hyödyllisten ominaisuuksiensa vuoksi. Esimerkiksi momenttijäykässä teräsrunossa ja LVL-seinillä rakennetussa kerrostalossa. (Ho ym. 2016, 2.)

Jännetanko- ja terästankoankkurointijärjestelmissä esiintyy jännityshäviöitä ja taipumia. Järjestelmän kokonaistaipuma ja jännityshäviöt johtuvat monesta eri tekijästä. Näitä tekijöitä ovat:

- jännetangon venymä ja lämpölaajeneminen
- jännetangon halkaisija ja jakoväli elementin sisällä
- tankojen liitoskappaleiden väljyys
- jännetankoon aiheutuva kitka
- ankkurointilevyn kiertyminen, taipuminen ja puristuminen puuhun
- puun kutistuminen ja turpoaminen
- rakennuksen pitkäaikainen viruma
- seinäelementtien asettuminen
- seinäelementtien jäykkyys ja vaakavoimista johtuvat taipumat. (Simpson Strong-Tie Company Inc. 2018, 15–17.)

Jännityshäviöt voidaan jakaa välittömiin-, keskipitkiin- ja pitkäaikaisiin jännityshäviöihin. Välittömiä jännityshäviöitä syntyy tankojen jännittämisen aikana. Seinäelementtien ja tankojenliitosten asettuminen, sekä ankkurointilevyssä tapahtuvat muutokset syntyvät jännityksen takia. Pidemmällä aikavälillä tapahtuvia muutoksia ovat, seinäelementtien taipuminen, puun kutistuminen ja turpoaminen sekä pitkäaikainen viruma. Puuelementit turpoavat kuljetuksen ja työmaasäilytyksen aikana ulkona vallitsevan ilmankosteuden mukaan. Kun rakennuksen lämmitys aloitetaan, elementit alkavat kuivua ja kutistua. Elementtien kutistuma aiheuttaa paljon jännityshäviötä jännetankoihin, mikä on tärkeää huomioida koko järjestelmän jännityshäviöitä laskettaessa. Myös järjestelmän kokonaistaipuma täytyy huomioida, suunniteltaessa jännetankojen halkaisijaa ja jakoväliä. (Keskisalo 2018, 8–9.)

3.5.3 Vetymurtuma

Jännitettyjen ja väsytytkuormitettujen jänneterästen käyttöä suunniteltaessa ja niitä käytettäessä täytyy huomioida jännitettyihin teräksiin liittyvä vetymurtuma riski. Vetymurtuman aiheuttaa teräksen sisälle kerääntynyt suuri vety määrä. Teräkseen voi kerääntyä vetyä valmistuksessa tai korroosion seurauksena. Kun jänneteräkseen pintaan muodostuu korroosiota, sen seurauksena syntyy myös vetyä. Osa tästä vedystä haihtuu ilmaan ja osa siirtyy syvemmälle teräkseen. Vety liikkuu teräksessä diffuusion avulla ja kerääntyy teräksen epäpuhtauksiin ja säröihin. Sitä mukaa kun vedyn määrä kasvaa, teräs haurastuu ja menettää murtolujuutta sekä elastisuutta. Lopulta teräs muuttuu niin hauraaksi, että se murtuu jännityksessä (kuva 27). Mitä lujempaa materiaalia teräs on, sitä suurempi on riski vetymurtumalle. Teräksen lujuuden kasvaessa vetymurtuman mahdollisuus kasvaa moninkertaisesti. (Rakennuslehti 2013.)

Vetyä voi päästä teräkseen myös valmistuksen aikana, jolloin on mahdollisuus vetymurtuman kehittymiseen teräksen sisällä. Tällöin vetymurtumaa on vaikea ennalta arvata kuntotutkimuksissa, koska teräksessä ei näy korroosiota tai vauriota, josta voisi päätellä vetymurtuman olevan mahdollista. Yhtäjaksoinen suuri jännitys tai väsytytkuormitus laajentaa valmistuksessa aiheutunutta vikaa, mikä pahentaa tilannetta. Vielä 1970-luvulla käytettiin jännitetyissä rakenteissa Sigma Oval -terästä, johon kerääntyy vetyä jo valmistuksessa. Vetymurtumariskin havaitsemisen jälkeen, Sigma Oval -terästyypin käyttö kiellettiin vuonna 1978. Vetymurtuman aiheuttamia ongelmia on ilmennyt etenkin Keski-Euroopassa, mutta myös Suomessa on aiheutunut ongelmia vetymurtumasta. Esimerkiksi vuonna 2012 Jyväskylässä vesitornin betonisen yläsäiliön sortumisen syynä oli korroosion aiheuttama vetymurtuma säiliön kannatinpalkin jänneteräksissä. (Rakennuslehti 2013.) Korkeasti rasitettujen jänneterästen suunnittelussa ja rakentamisessa tulee kiinnittää erityistä huomiota terästen suojaamiseen korroosion aiheuttajilta. Tämä tulee muistaa myös puukerrostalojen jännitettyä jännetankoankurointia suunniteltaessa.



Kuva 27. Murtuneet jännetangot (Rakennuslehti 2013).

4 Paloturvallisuus

Paloturvallisuus on suuressa roolissa puukerrostalorakentamisessa, koska on kyse palavasta materiaalista ja suurista ihmismääristä. Ympäristöministeriö on lieventänyt puurakentamisen paloturvallisuuteen liittyviä rajoitteita viimeisen vuosikymmenen aikana ja se on edesauttanut puurakentamisen kehittymistä yhä suurempiin kohteisiin. Suurin este puun käyttämiseen kerrostaloissa ovat olleet Suomen palomääräykset. Vuoteen 2011 asti palomääräykset kielsivät yli 4-kerroksisten puukerrostalojen tekemisen, joten puukerrostaloja on rakennettu hyvin vähän ennen 2010-lukua. Vuonna 2011 palomääräyksiä uudistettiin ja puun käyttäminen kerrostalon runkomateriaalina sallittiin P2-luokassa aina kahdeksaan kerrokseen saakka käyttämällä taulukkomitoitusta (Tolppanen ym. 2013, 136). Vuoden 2011 jälkeen uudistuneiden palomääräyksien ansiosta puun käyttö kerrostaloissa lisääntyi ja on rakennettu yhä enemmän ja yhä suurempia puukerrostalokohteita.

Suomen palomääräykset muuttuivat uudelleen 1.1.2018, jolloin voimaan astui Ympäristöministeriön asetus 848/2017 Rakennusten paloturvallisuudesta. Uusi asetus toi muutamia lievennyksiä puukerrostalorakentamiseen. Esimerkiksi

puuta saa jättää näkyviin asuntojen pinnoilla jopa yli 80 % palo-osaston seinien sekä katon kokonaispinta-alasta tietyin edellytyksin.

4.1 Paloluokkavaatimukset ja merkinnät

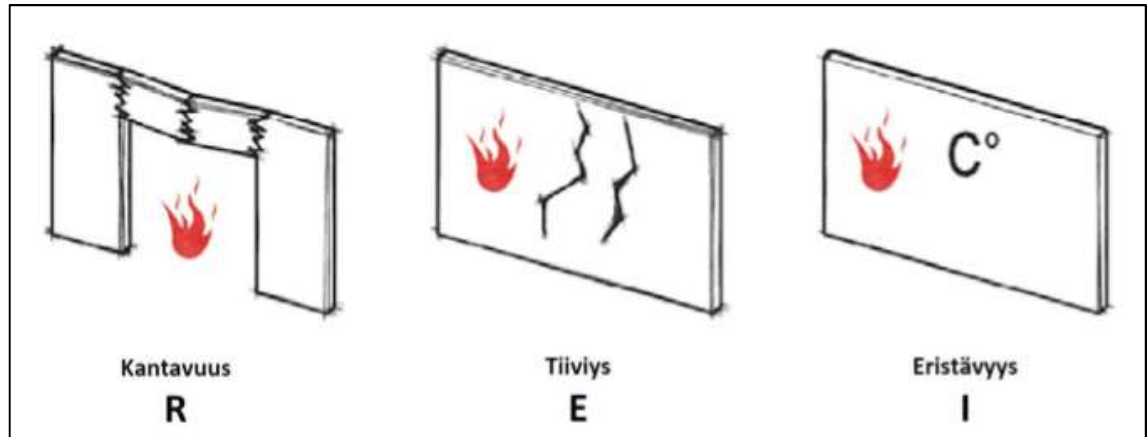
Uusi asetus jakaa rakennukset neljään paloluokkaan: P0, P1, P2 ja P3. Uutena paloluokkana on tullut P0-paloluokka, joka tarkoittaa sitä, että rakennus pitää mitoitaa toiminnallisella palomitoituksella. Uusi asetus sallii yli 8-kerroksisten puukerrostalojen tekemisen P0-paloluokan mukaan. P1-paloluokassa rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan kestävän palon ilman, että paloa sammutetaan. Tämän takia puukerrostaloa ei voida suunnitella eikä valmistaa P1-paloluokan mukaan, koska runkomateriaalin pitää olla rakennustarvikeluokituksestaan vähintään A2-luokkaa (taulukko 1). Poikkeuksena korkeintaan 2-kerroksinen P1-luokan rakennus tai yli 2-kerroksisen P1-luokan rakennuksen kaksi ylintä kerrosta voidaan rakentaa puusta. Rakennustarvikeluokituksen mukaiseen A2-luokkaan kuuluu esimerkiksi kipsi- ja sementtikuitulevy, joten käytännössä runkomateriaalin kohdalla tarkoitetaan A1-luokan mukaista palamatonta materiaalia, kuten esimerkiksi betonia. P2-paloluokka rajaa vaatimukset erityisesti pintaosien ominaisuuksille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille. Puukerrostalo voidaan rakentaa P2-paloluokassa enintään 8-kerroksisena. P3-paloluokassa rakennuksen kantavilta rakenteilta ei yleisesti vaadita palonkestävyyttä. Tässä luokassa riittävä turvallisuustaso saavutetaan rajoittamalla rakennuksen kokoa ja henkilömäärää. P3-paloluokan asuinrakennus voi olla enintään 2-kerroksinen. (Lahtela 2018a, 11.)

Taulukko 1. Kantavat rakenteet eivät voi olla puuta P1-paloluokan rakennuksessa, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. (Asetus 848/2017, 2017, 7).

Rakennus	Rakennuksen paloluokka ja palokuormaryhmät MJ/m ²			
	P1			P2
	yli 1 200	600–1 200	alle 600	-
1–2-kerroksinen rakennus, yleensä	R 120 (R60 *)	R 90 (R60 *)	R 60	R 30
- hoitolaitokset, majoitustilat	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 30
- ylin kellarikerros	R 120, A2 (R90 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60, A2
- yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne on kantavan rungon olennainen osa ¹⁾	R 60	R 60	R 60	R 30
- yksikerroksinen tuotanto- ja varastorakennus	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 30 (R15 *) (R15, A2)
- yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne ei ole kantavan rungon olennainen osa ¹⁾	R 15	R 15	R 15	R 15
Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on enintään 28 m, yleensä	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * # ³⁾⁴⁾
- ylin kellarikerros	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * A2
- asuinrakennus, asunto, ylin kerros	R 60 +	R 60 +	R 60 +	R 60 * # ³⁾
- asuinrakennus, asunto, kaksi ylintä kerrosta ²⁾	R60 * #	R60 * #	R60 * #	R 60 * # ³⁾
- yli 2-kerroksinen asuinrakennus, jonka korkeus on enintään 14 m ja jonka kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan huoneistoon	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45 # (R30 * #)
Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on yli 28 m mutta enintään 56 m	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2 (R90 *, A2)	ei mahdollinen
Yli 2-kerroksinen rakennus jonka korkeus on yli 56 m	R180 *, A2	R120 *, A2	R 120 *, A2	ei mahdollinen
Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellari-kerrokset	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2	R 120, A2 (R90 *, A2)
<p>Parvekkeiden palonkestävyyksivaatimus on puolet kerroksen kantavien rakenteiden vaatimuksesta. Kantavien rakenteiden on oltava vähintään D-s2, d2 -luokan tarviketta, ellei taulukossa toisin mainita. Uloskäytävän porrassyöksen ja -tasanteen luokkavaatimus on R 30. Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevan kellari-kerroksen uloskäytävän porrassyöksen ja -tasanteen luokkavaatimus on R 60. Jos kantaville rakenteille on asetettu luokkavaatimus A2-s1, d0, tämä koskee myös porrassyöksyjä ja -tasanteita. Yli 2-kerroksisen P1-paloluokan rakennuksen uloskäytävän porrassyökset ja -tasanteet on tehtävä vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista. Ullakon tai ontelon vesikattorakenteille, jotka eivät ole rakennuksen rungon olennaisia kantavia tai palossa runkoa jäykistäviä rakenteita, ei aseteta palonkestävyyksivaatimusta.</p> <p>¹⁾ Kantavan rungon tai jäykisteiden olennaisia osia ovat pääkannattajat, runkoa jäykistävät sekundäärikannattajat ja yläpohjan jäykisteet ja muut sellaiset yksittäiset rakenteet, jotka toimivat yläpohjan stabiliteetin säilyttämiseksi, sekä näiden väliset liitokset.</p> <p>²⁾ Kun kolme ylintä kerrosta, lukuun ottamatta uloskäytävää, on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.</p> <p>³⁾ Huom. 24 § 3 momentissa esitetyt vaatimukset.</p> <p>⁴⁾ Jos käyttötarkoituksen mukainen palokuormaryhmä on 600–1 200 MJ/m², luokkavaatimus on R 90 * # ³⁾</p> <p>* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. # Lämmöneristeiden ja muiden täytteiden on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokkaa. + Lämmöneristeiden ja muiden täytteiden on oltava eristäväältä osaltaan vähintään D-s2, d2 -luokkaa. A2 Kantavien rakenteiden on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokkaa.</p>				

Kantavat ja osastoitavat rakennusosat tulee suunnitella REI-luokkavaatimusten mukaisiksi (kuva 28). REI-luokkavaatimuksessa R tarkoittaa rakenteen kantaavuutta eli rakenteen tulee kestää sortumatta vaaditun palonkestoajan. E tarkoittaa tiiveyttä eli rakenneosan tulee säilyttää savukaasu- ja lämpösäteilytiiviyys vaaditun palonkestoajan. I tarkoittaa eristävyttä eli rakenneosan tulee säilyttää lämmöneristävyys vaaditun palonkestoajan. Rakennusosan osastoivuus koostuu

sen eristävydestä ja tiiviydestä. Esimerkiksi, jos väliseinä on merkitty EI60 seinänä, tarkoittaa se, että seinän on kestettävä 60 minuutin ajan palotilanteessa ilman tiiveyden ja eristävyyden heikkenemistä. (Lahtela 2018a, 12.)



Kuva 28. Rakenneosan REI-luokitus (Lahtela 2018b, 12).

4.2 Palokuormaryhmät

Palokuorma tarkoittaa tilassa täydellisesti palavasta aineesta vapautuvaa kokonaislämpö määrää. Palokuorma koostuu irtaimistosta sekä kantavista, osastovista, runkoa jäykistävästä ja muista rakennusosista. Uudessa asetuksessa (848/2017) yli 2-kerroksiselle P2-paloluokan rakennukselle ei ole enää palokuormaryhmittelyä, lukuun ottamatta tapausta, jossa käyttötarkoituksen mukainen palokuormaryhmä on 600–1200 MJ/m² (esimerkiksi irtaimistovarasto). Palokuorma otetaan huomioon kantavien ja osastovien rakenteiden sekä palomuurin mitoituksessa.

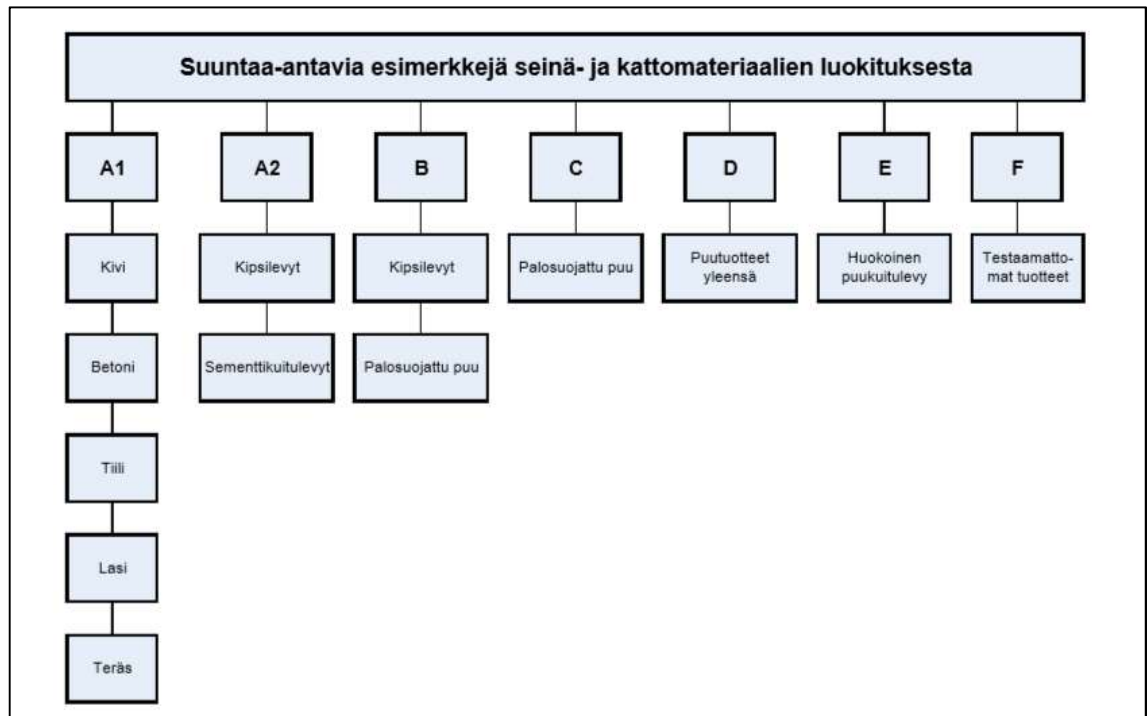
Palokuormaryhmiä on kolmea vaihtoehtoa:

- alle 600 MJ/m², johon kuuluvat muun muassa asunnot, majoitustilat ja päiväkodit.
- 600 MJ/m²–1200 MJ/m², johon kuuluvat muun muassa asuinrakennusten irtaimistovarastoja sisältävät palo-osastot, kirjastot ja yli 300 m²:n myymälät.
- yli 1200 MJ/m², johon kuuluvat erillisiä palo-osastoja olevat yli 50 m²:n varastot.

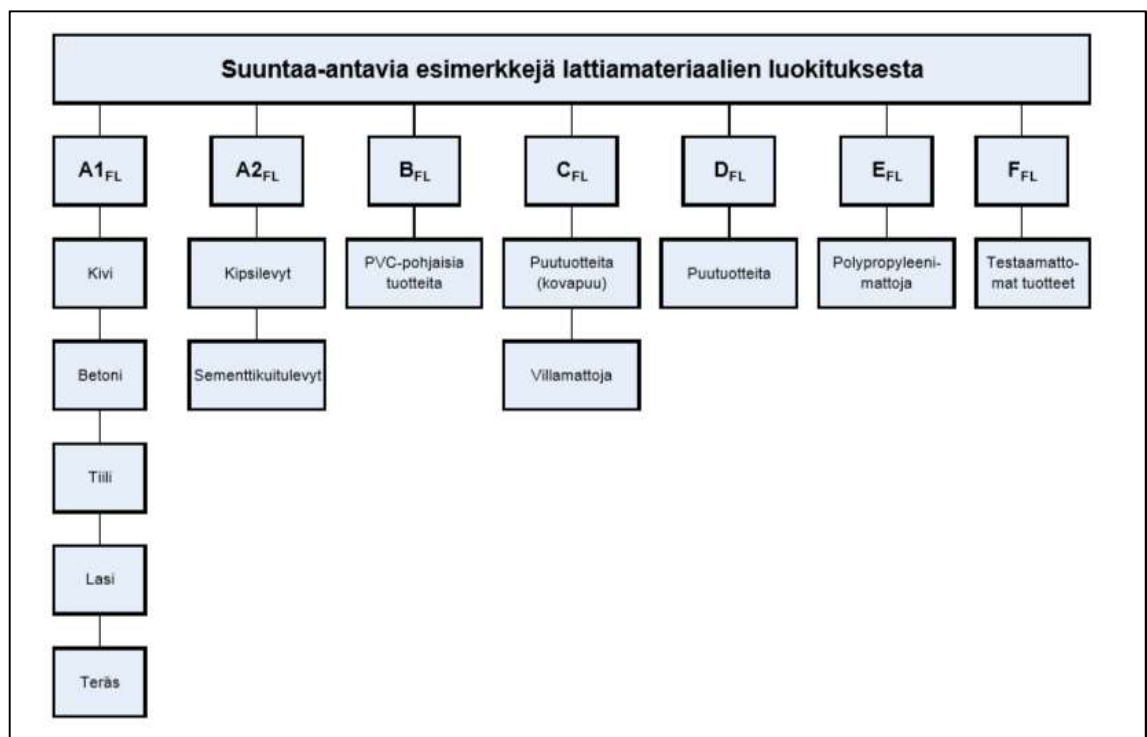
Palokuorma määritetään joko käyttötarkoituksen perusteella tai laskemalla. P0-paloluokan rakennuksen palokuormat tulee määrittää tapauskohtaisesti. (Perustelumuistio ympäristöministeriön asetukseen 848/2017 rakennusten paloturvallisuudesta, 11–12).

4.3 Rakennustarvikkeiden ja pintojen luokitus

Rakennustarvikkeen luokka määräytyy siitä, kuinka se osallistuu paloon, minkälainen sen savuntuotto on sekä miten tarvike tuottaa palavia pisaroita ja osia. Paloon osallistumisen merkinnät ovat A1, A2, B, C, D, E ja F. Esimerkiksi Luokka A1 tarkoittaa sellaista tarviketta, joka ei osallistu paloon olleenkaan, kun taas luokka F tarkoittaa tarviketta, jonka käyttäytymistä ei ole määritetty. Rakennustarvikkeet, jotka kuuluvat A1-luokkaan, ovat yksiaiaineisia palamattomia tuotteita. A1-luokkaan kuuluvat esimerkiksi betoni ja teräs. Vastaavasti puutuotteet kuuluvat yleensä luokkaan D, paitsi palosuojattu puu voi kuulua luokkaan B tai C. Kuvassa 29 on esitetty esimerkkejä seinä- ja kattomateriaalien paloluokituksista. Lattiapinnoitteen merkintä eroaa siten, että paloon osallistumisen merkintään lisätään alaviite FL, esimerkiksi A1_{FL} (kuva 30). Katemateriaalin tulee olla B_{ROOF(t2)}-luokkaa ja suuret kattopinnat tulee jakaa enintään 2400 m²:n osiin. Jos katteen alusta on vähintään A2-s1, d0 -luokkaa tai paloturvallisuustasoa voidaan muutoin pitää hyväksyttävänä, ei osiin jakoa tarvitse suorittaa. (Ympäristöministeriön asetus (848/2017) rakennusten paloturvallisuudesta, 17).



Kuva 29. Seinä ja kattomateriaalien paloluokituksia (Lahtela 2018b, 26).



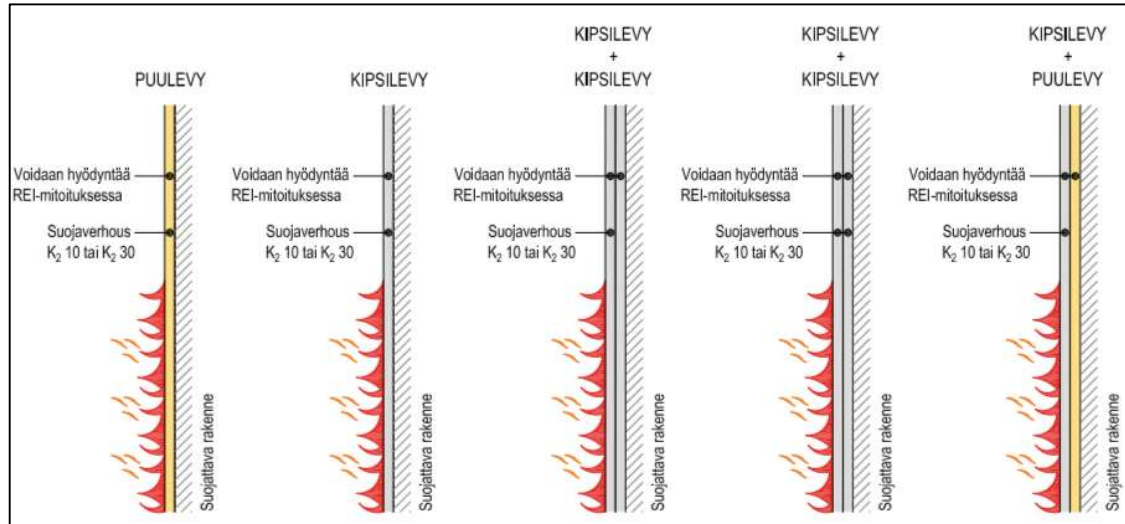
Kuva 30. Lattiamateriaalien paloluokituksia (Lahtela 2018b, 26).

Rakennustarvikkeen savuntuottoa kuvaavat merkinnät s1, s2 ja s3 sekä palavien pisaroiden ja osien tuottoa kuvaavat merkinnät d0, d1 ja d2. S1-luokan tarvikkeen savuntuotto on erittäin vähäistä, s2-luokan vähäistä ja s3-luokan savuntuotto on muuta kuin s1 tai s2. Merkintä d0 kuvaa rakennustarviketta, jossa ei esiinny palavia pisaroita tai osia ja d1-luokan tarvike tuottaa nopeasti sammuvia pisaroita ja osia. Luokka d2 tarkoittaa tarviketta, jonka palavien pisaroiden ja osien tuotto on muuta kuin d0 tai d1. (Lahtela 2018, 24–26.)

Edellä mainituista ominaisuuksista koostuu rakennuksen sisä- ja ulkopintojen pintaluokka, jolla on suuri merkitys palon leviämiseen, lämmöntuottoon, lieskahduksen alkamishetkeen sekä savun ja pisaroiden muodostumiseen. Käytettäessä puupohjaisia tuotteita tulee huomiota kiinnittää asennustapaan, tuotteen tiheyteen ja paksuuteen sekä alusrakenteeseen, koska näillä asioilla on suuri merkitys rakennustarvikkeella saavutettavaan pintaluokkaan. (Lahtela 2018a, 24.)

4.4 Suojaverhous

Palon kehittymistä rajoittaa rakennusosan pinnan muodostama suojaverhous. Suojaverhous suojaa alustaansa määrätyn ajan syttymiseltä, hiiltymiseltä tai muulta vaurioitumiselta. Suomessa käytettävät suojaverhousluokat ovat K₂ 10 ja K₂ 30. Numerot 10 ja 30 tarkoittavat suojausaikaa minuutteina ja alaindeksi 2 tarkoittaa, että kyseistä suojaverhousta voidaan käyttää kaikilla alustoilla. Suojaava rakenne ei saa hiiltyä eikä muutoin vaurioitua. Lisäksi suojaverhouksen taustan pintalämpötila K₂-luokassa ei saa nousta yli 270°C alkulämpötilasta. Suojaverhousmateriaalina voidaan käyttää esimerkiksi kipsilevyä ja sitä voidaan myös hyödyntää REI-mitoituksessa (kuva 31). (Lahtela 2018a, 35.)



Kuva 31. Esimerkkejä suojaverhousvaihtoehdoista (Lahtela 2018b, 36).

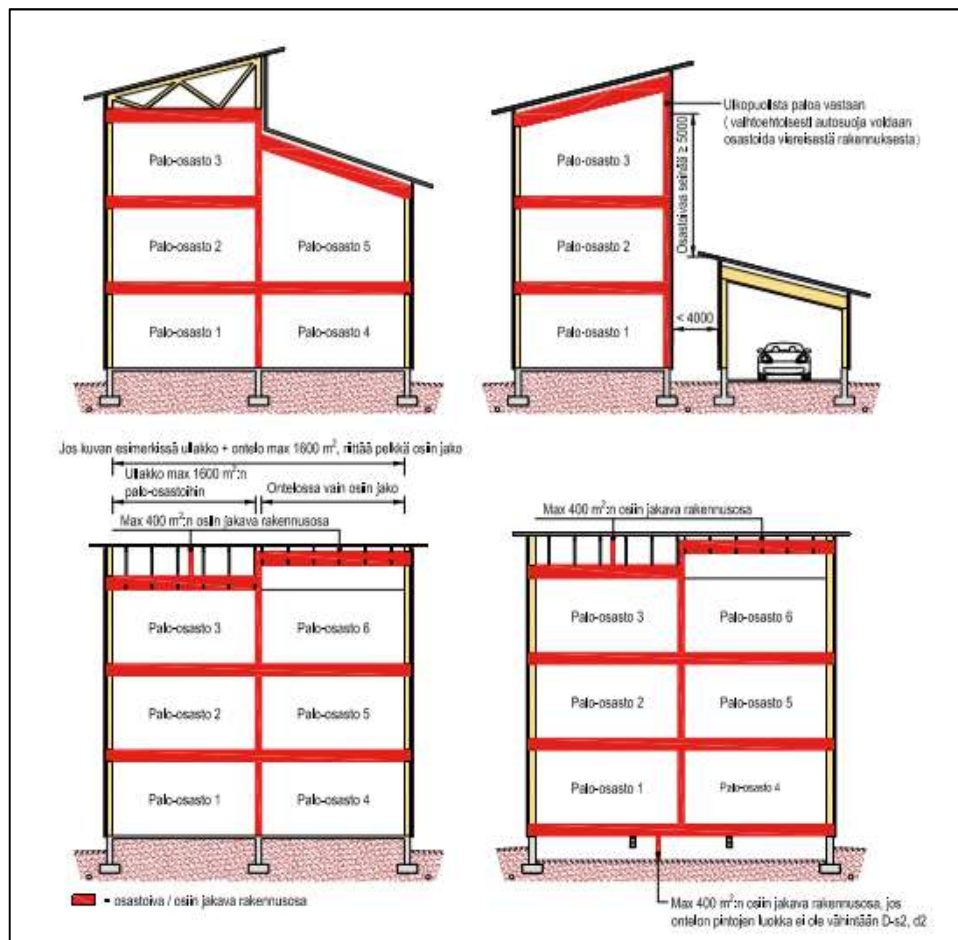
Enintään 8-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen uloskäytävien pintojen, porrastanteiden, portaiden ja palosulun pinnat tulee varustaa vähintään $K_2 10$, A2-s1, d0 -luokan suojaverhouksella. Lisäksi enintään 8-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen sisäpuolisten pintojen suojaverhousvaatimus seinä- ja kattopinnoilla on vähintään $K_2 30$, A2-s1, d0. Edellä mainittu suojaverhousvaatimus ei koske palo-osaston sisäisiä ei-kantavia väliseiniä eikä vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehtyjä rakenteita. Edellä mainitun suojaverhousvaatimuksen täyttyessä on mahdollista jättää korkeintaan 20 % suojaamatonta pintaa näkyviin ilman erityisvaatimusta. Jos rakennusosien palonkestoaikaa pidennetään 30 minuuttia, niin verhoamatonta pintaa voidaan jättää näkyviin korkeintaan 80 %. Jos palonkestoaikaa vastaavasti pidennetään 60 minuuttia, voidaan verhoamatonta pintaa jättää näkyviin yli 80 %. (Asetus 848/2017, 2017, 14.)

4.5 Palon leviämisen rajoittaminen

4.5.1 Palo-osastointi

Palo-osastoinnilla pyritään rajoittamaan palon ja savun leviäminen rakennuksessa. Palo-osastoinnin avulla järjestetään turvallisempi poistuminen rakennuksesta, helpotetaan pelastus- ja sammutustehtäviä sekä vähennetään mahdollisia

omaisuusvahinkoja. Palo-osastointi toteutetaan osastoivalla rakennusosalla, joka rajoittaa palon ja savun leviämistä vaaditun palonkestoajan. Yli 2-kerroksisessa P2-paloluokan rakennuksessa kerrokset osastoidaan yleensä EI60 mukaan (Ympäristöministeriön asetus (848/2017) rakennusten paloturvallisuudesta, 11). Tuona aikana rakennusosa ei saa liikkua, jotta osastoivan rakennusosan vaadittavat ominaisuudet säilyvät. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että osastoivan rakennusosan rungon tulee kestää sortumatta koko palonkestoajan. Osastoivan rakenteen pintalämpötila ei saa nousta liian suureksi palon vastaiselta puolelta. Lämpötilan nousu ei saa olla missään kohtaa yli 180°C alkulämpötilasta eikä keskimääräinen lämpötilan nousu saa olla yli 140°C. Palo-osastointia suunniteltaessa tulee huomioida lämmöneristeen tyyppi. Esimerkiksi lasivillan ei katsota suojaavan puuosia palossa, koska se sulaa. Vastaavasti kivivilla suojaa puuosia palossa, koska se ei pala. (Lahtela 2018a, 40–57.)



Kuva 32. Esimerkkikuvia P1- ja P2-paloluokan palo-osastoinnista (Lahtela 2018b, 45).

Asuinkerrostalo osastoidaan huoneistoittain eli jokainen asuinhuoneisto muodostaa oman palo-osaston. Tämän lisäksi poistumisportait ja kerroskäytävät osastoidaan omiksi palo-osastoikseen. Lisäksi myös poistumisportaitko ja kerroskäytävä pitää palo-osastoida. Ne voivat kuulua joko samaan palo-osastoon tai ne voidaan toteuttaa erillisinä palo-osastoina. P2-paloluokan rakennuksen eri kerrokset, kellarikerrokset ja ullakko pitää muodostaa omiksi palo-osastoiksi eli ne pitää kerrososastoida (kuva 32). Asuinkerrostalon kohdalla kerrososastointi yleensä toteutuu, kun jokainen huoneisto muodostaa oman palo-osaston. Palo-osasto voi poikkeustapauksissa käsittää useampia kerroksia. Poikkeuksena yli 28 metriä korkeassa rakennuksessa 28 metrin yläpuolella voi olla enintään kaksi kerrosta samaa palo-osastoa, mutta palo-osaston koon tulee pysyä alle 2400 m²:n. Lisäksi asuinhuoneistossa voi olla kaksi kerrosta sisältävä palo-osasto, mutta tällöin kummastakin kerroksesta pitää olla pääsy uloskäytävään. Jotta syttyvästä palosta ei aiheutuisi kohtuuttoman suuria vahinkoja, tulee palo-osaston kokoa rajoittaa pinta-alaosastoinnilla. Lisäksi tilat, jotka poikkeavat oleellisesti toisistaan käyttötarkoitukseltaan tai palokuormaltaan, on muodostettava omiksi palo-osastoikseen (käyttötarkoituksosastointi). Tarvittaessa palo-osastot on jaettava osiin, jotta turvataan turvallinen poistuminen rakennuksesta sekä helpotetaan pelastus- ja sammutustöiden toteuttamista. P2-paloluokan rakennuksen ullakot tulee rajoittaa enintään 1600 m²:n palo-osastoihin, jotka jaetaan enintään 400 m²:n osiin vähintään R15-luokan rakenteilla. P2-paloluokan rakennuksen kellarikerrokset tulee rajoittaa 800 m²:n palo-osastoihin. Jos rakennus on varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla, voidaan kellarikerroksen palo-osastoa kasvattaa jopa 2400 m²:n kokoiseksi. Palo-osastointiin käytettävässä seinässä olevan oven tulee olla itsestään sulkeutuva ja salpautuva. (Ympäristöministeriön asetus (848/2017) rakennusten paloturvallisuudesta, 1–11.)

4.5.2 Palomuri

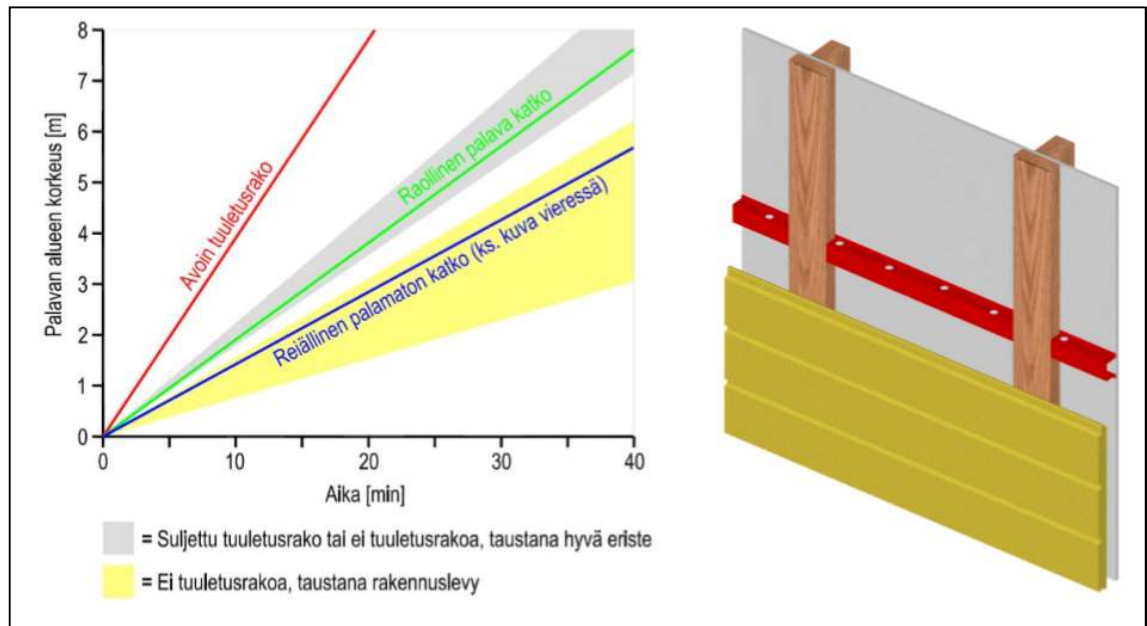
”Palomuri on yleensä seinä, joka määrätyn ajan estää palon leviämisen sen toiselle puolelle ja kestää riittävän luotettavasti siihen liittyvien rakennusten tai niiden osien sortumisen” (Ympäristöministeriö 2017, 31). Jos palomuurina toimivassa seinässä on ovi, sillä tulee olla sama palonkestävyys kuin palomuurilla.

Kun on kyseessä P0-, P1-paloluokan rakennus tai yli 14-metriä korkea P2-paloluokan rakennus, tulee palomuuuri tehdä A1-luokan rakennustarvikkeista. Palomuurissa olevan oven tulee tällöin olla tehty A2-s1, d0-luokan tarvikkeista. (Lahtela 2018a, 41.)

Palomuuria käytetään yleensä, kun eri tontilla tai samalla rakennuspaikalla olevat rakennukset rakennetaan kiinni toisiinsa, rakennuksen eri osat ovat eri paloluokkaa sekä henkilömäärä- tai kerrosalarajoitukset ylittyvät. Palomuuuri tulee kyseeseen myös silloin, jos kahdella eri tontilla tai rakennuspaikalla olevat rakennukset rakennetaan niin lähelle toisiaan, jotta palon leviäminen on ilmeistä, eikä sitä ole rajoitettu erillisellä palo-osastoinnilla tai rakennusten välisellä etäisyydellä. (Lahtela 2018a, 41.)

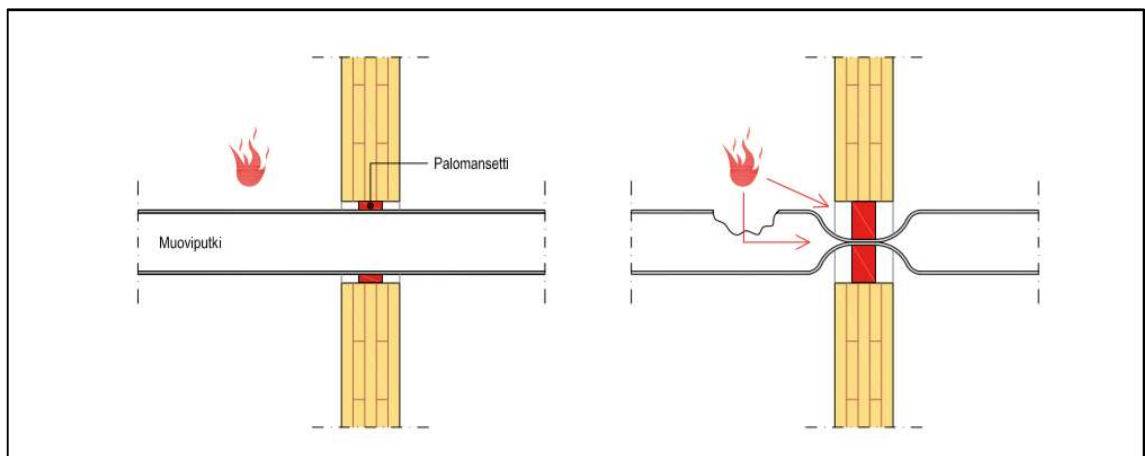
4.5.3 Palokatko ja paloräystäs

Palokatkon tehtävänä on estää palon leviäminen tuuletusrakojen, onteloiden ja läpivientien kautta (kuva 33). Jos palo pääsee leviämään runko-onteloon, tulee sitä rajoittaa siten, että se ei leviä viereisiin palo-osastoihin. Palokatkon tehtävänä on myös estää ja hidastaa palon leviämistä rakenteen pinnalla. Polttokokeiden avulla on huomattu, että palon leviäminen tapahtuu ulkoverhouksen takana olevassa ontelossa. Tähän on kehitetty ratkaisuksi esimerkiksi rei'itetty peltiprofiili, joka toimii vaakasuuntaisena palokatkona. Se hidastaa ilmavirtausta ja savukaasujen poistumista tuuletusraosta sekä hidastaa palon hapensaantia. Pystysuuntaisena palokatkona toimivat julkisivun pystykoolauspuut, jotka jakavat tuuletusraon kaistoihin. Jos on kyseessä ristiinkoolattu julkisivu, tulee pystysuuntaisten koolauspuiden väli tukkia, etteivät savukaasut pääse leviämään viereisiin onteloihin. Vaakasuuntainen palokatko kannattaa toteuttaa väli- ja yläpohjan kohdalla. (Lahtela 2018a, 40–57.)

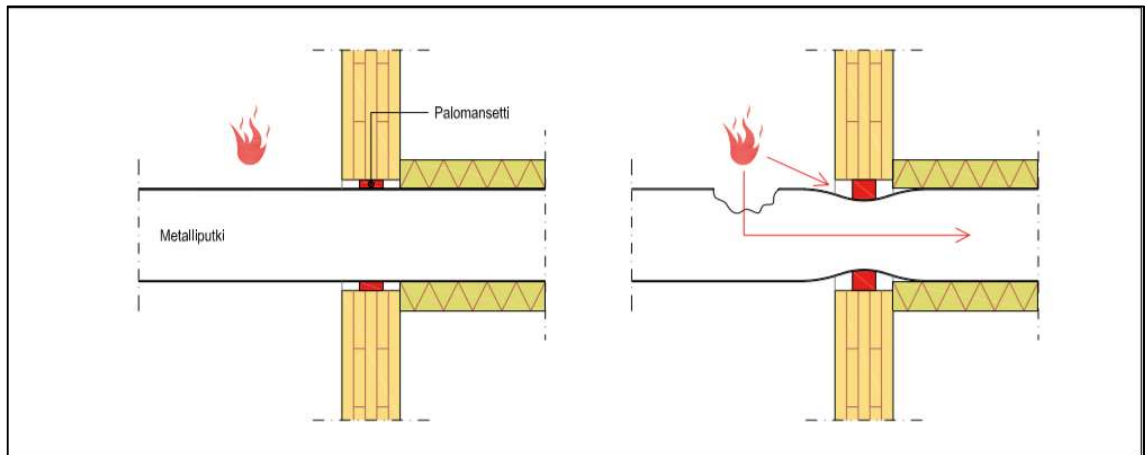


Kuva 33. Palokatolla hidastetaan merkittävästi palon etenemistä (Puuinfo Oy 2011b, 2).

Putket, kaapelit ja vastaavat asiat, jotka viedään osastoivan rakenteen läpi, tulee varustaa palokatkoilla. Läpivienteihin on olemassa erilaisia palokatkovaihtoehtoja, kuten esimerkiksi palonkestävät tiivistysmassat ja palomansetit. Palomansetti asennetaan muoviputken ympärille ja se reagoi lämmön vaikutuksesta ja turpoaa sulaneen muoviputken ympärille tukkien liekkien pääsyn rakenteisiin. Palomansetti toimii sellaisenaan muoviputken kanssa (kuva 34), mutta metalliputken kanssa tulee käyttää lisäksi putken ympärillä kivivillaeristettä (kuva 35). (Lahtela 2018a, 42.)

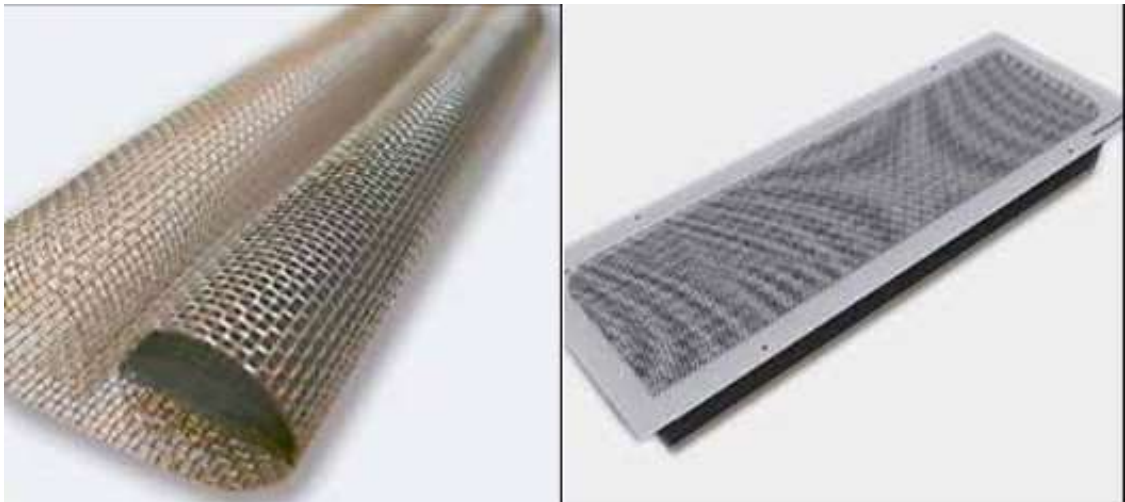


Kuva 34. Palomansetin toiminta muoviputken kanssa palotilanteessa (Lahtela 2018b, 57).



Kuva 35. Palomansetin toiminta metalliputken kanssa palotilanteessa (Lahtela 2018b, 57).

Paloräystään ideana on estää palon leviäminen tuuletusrakojen ja -aukkojen kautta yläpohjaan. Esimerkiksi SECURO on kehittänyt tähän tarkoitukseen soveltuvat FB-ontelo- ja räystäsventtiilit (kuva 36). FB-paloventtiilit estävät palon leviämisen, mutta eivät vaikuta rakenteen ilmankiertoon. (Renotech Oy 2018.)

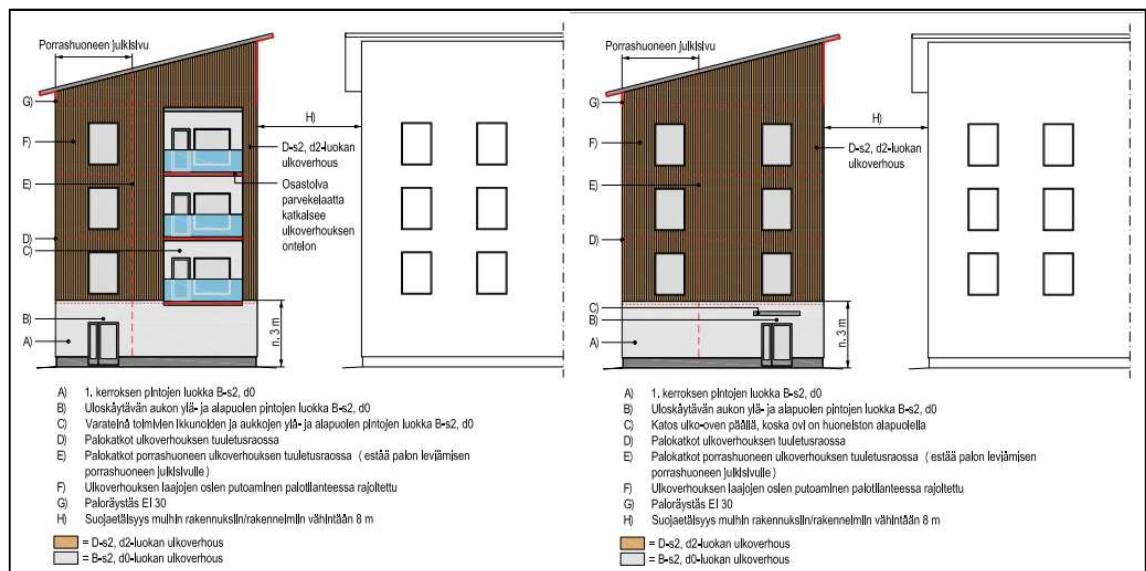


Kuva 36. Esimerkkejä Securon FB-paloventtiileistä (Lahtela 2018b, 56).

4.5.4 Ulkoverhous

Korkeintaan 8-kerroksisen sprinklatun P2-paloluokan puukerrostalon ulkoverhous voi olla D-s2, d2-luokkaa eli puuta seuraavin edellytyksin (kuva 37):

- ensimmäisen kerroksen ulkoverhouksen, uloskäytävän aukon ylä- ja alapuolen sekä varateinä toimivien aukkojen pintojen pintaluokka tulee olla vähintään B-s2, d0-luokkaa, joka tarkoittaa käytännössä vähintään palo-suojattua puuta.
- Ulkoverhouksen tuuletusraossa tulee olla palokatkot.
- Ulkoverhouksen laajojen osien sortuminen ja putoaminen tulee olla rajoitettu.
- Rakennus tulee olla varustettu paloräystäällä, jonka vähimmäisluokkavaatimus on EI30.
- Lisäksi suojaetäisyys viereisiin rakennuksiin tulee olla vähintään 8 m.
- Jos ovi on huoneiston alapuolella, tulee oven yläpuolelle rakentaa katos.



Kuva 37. Ennalta määrättyjen ehtojen tulee täyttyä, jotta D-s2, d2-luokan julkisivu on mahdollista toteuttaa (Lahtela 2018b, 52).

Jos korkeintaan 8-kerroksisen P2-paloluokan kerrostalon julkisivu on tehty kokonaan vähintään B-s2, d0-luokan rakennustarvikkeista, ei palokatkoja eikä paloräystästä tarvita. Yli 8-kerroksinen puukerrostalo kuuluu P0-paloluokkaan, joka mitoitetaan toiminnallisella palomitoituksella. (Lahtela 2018a, 50–54.)

4.6 Uloskäytävät

Rakennuksesta poistuminen tulee olla nopeaa ja turvallista. Jos rakennuksen sisäänkäyntitason ja ylimmän kerroksen lattian korkeusero on yli 24 metriä, tulee rakennus toteuttaa kahdella erillisellä uloskäynnillä. Uloskäytävän tulee olla vähintään 850 mm leveä ja 2100 mm korkea. Uloskäytävän leveys riippuu henkilömäärästä. Uloskäytävät tulee toteuttaa osastoituina tai niiden pitää johtaa suoraan turvalliselle paikalle. Jos kyseessä on asunto tai alle 300 m²:n työpaikkatila, riittää yksi uloskäytävä ja lisäksi varatie. Varatien suunnittelussa käytetään apuna pelastusviranomaisia, joiden kanssa suunnitellaan kohdekohtaisesti paras mahdollinen varatiejärjestely. Osastoitu porrashuone toimii yhtenä uloskäytävänä. Varatienä voidaan käyttää parveketta, ikkunaa, luhtikäytävää tai rakennuksen ulkopuolisia tikkaita tai portaita. Parvekkeelta voidaan pelastautua pelastusviranomaisten avulla tai parvekkeen lattiassa voi olla luukku (vähintään 600 mm*600 mm), jonka kautta päästään poistumaan. Varatienä toimivat puurakenteiset parvekkeet tulee sprinklata, kun kyseessä on yli 2-kerroksinen P2-luokan rakennus. Hissiä ei saa käyttää hätäpoistumistienä. Uloskäytävälle ja varatienä toimivalle parvekkeelle on asetettu tiettyjä vaatimuksia suojaverhouksen ja pintaluokan suhteen. Kuvassa 38 on esitetty yli 2-kerroksisen P2-paloluokan uloskäytävälle esitetyt palotekniset vaatimukset. Kuvassa 39 on taas esitetty edellä mainitun rakennuksen varatienä toimivan sprinklatun parvekkeen palotekniset vaatimukset. (Lahtela 2018a, 58–71.)

Yleiset vaatimukset				
- Uloskäytävän kantavat rakennusosat R 60 - Uloskäytävän osastoivat rakennusosat EI 60 - Porrastasanteet ja -syöksyt R 30 - Portaain rungon rakennustarvikkeet vähintään D-s2, d2-luokkaa				
Nro	Rakennusosa	Suojaverho	Pintaluokka	Huomioitavaa
1)	Lattiat	K ₂ 10, A2-s1, d0	D _{FL} -s1	
2)	Seinät	K ₂ 10, A2-s1, d0	A2-s1, d0	Seinissä ja katossa vähäisten osien pintaluokka B-s1, d0
3)	Katot	K ₂ 10, A2-s1, d0	A2-s1, d0	
4)	Porrastasanteet ja -syöksyt	K ₂ 10, A2-s1, d0	A2-s1, d0	Vähäiset B-s1, d0-luokan osat ilman suojaverhusta
5)	Portaiden yläpinnat Porrastasanteiden yläpinnat Portaiden etupinnat Porrastasanteiden etupinnat	-	D _{FL} -s1 D _{FL} -s1 B-s1, d0 B-s1, d0	
Nro	Muut palotekniset vaatimukset			
6)	Kun $H \leq 6$ m, voidaan savunpoistotapana käyttää porrastasanteelta seisten helposti avattavaa ikkunaa tai luukkaa, jonka vähimmäisala $\geq 0,5$ m ² Kun $6 < H \leq 12$ m, voidaan savunpoistotapana käyttää porrastasanteelta seisten helposti avattavaa ikkunaa tai luukkaa, jonka vähimmäisala $\geq 1,0$ m ² Kun $H > 12$ m, savunpoistotapana tulee käyttää sisäänkäyntitasolta avattavaa savunpoistoluukkaa tai -ikkunaa, jonka vähimmäisala $\geq 1,0$ m ²			
7)	Ovi osastoivassa seinässä EI 30			

Kuva 38. Uloskäytävälle asetetut palotekniset vaatimukset yli 2-kerroksisessa P2-paloluokan rakennuksessa (Lahtela 2018b, 63).

Yleiset vaatimukset				
- Parvekkeen kantavat rakennusosat R 30 - Parvekelaatan osastoivuus EI 0 - Lasitetun parvekkeen parvekelaatan osastoivuus EI 30 - Osastoivan parvekelaatan tiivistykset ja läpiviennit E 15				
Nro	Rakennusosa	Suojaverho	Pintaluokka	Huomioitavaa
1)	Lattiat (1. krs.)	-	-	
2)	Laatan alapinta (1. krs.)	-	B-s2, d0	
3)	Lattiat (2. krs.)	-	-	
4)	Katot	-	B-s2, d0	
5)	Ulkoverhouksen ulkopinta Tuuletetun ulkoverhouksen taustapinta (tuuletusvälin ulkopinta)	-	B-s2, d0 B-s2, d0	
	Ulkoverhouksen kiinnityskoolaus		D-s2, d2	
6)	Ulkoseinän rungon ulkopinta (tuuletusvälin sisäpinta)	K ₂ 10, A2-s1, d0	A2-s1, d0	
7)	Kantavan rungon pilarit ja palkit	-	D-s2, d2	
Nro	Muut palotekniset vaatimukset			
8)	Lasitetussa parvekkeessa seinä EI 15 (myös R 15) - kun seinä on vierekkäisten parvekkeiden väliseinä - kun erillisten parvekkeiden vapaa väli on < 2 m (riittää, että toisessa parvekkeessa on EI 15 seinä) - kun seinän etäisyys viereisen palo-osaston luokittelemattomaan ikkunaan on < 2 m ja seinän kulma $< 135^\circ$ kyseiseen ikkunaan nähden (ks. kuva 32)			

Kuva 39. Parvekkeen palotekniset vaatimukset yli 2-kerroksisessa P2-paloluokan rakennuksessa. Kuvassa esitetyt vaatimukset koskevat tilannetta, jossa parveke toimii sprinklereillä varustettuna varatienä. (Lahtela 2018b, 71.)

4.7 Paloturvallisuutta parantavat laitteet

4.7.1 Palovaroitin

Palovaroitin on laite, joka havaitsee ilmassa olevia kaasuja ja varoittaa voimakkaalla äänimerkillä tilassa olevia havaitessaan mahdollisen alkavan palon, vaikka syttymistä ei olisikaan vielä tapahtunut. Sähköverkkoon kytketty palovaroitin on oltava muun muassa asunnoissa, vapaa-ajan asunnoissa ja enintään 150 hoidettavan päiväkodeissa. (Lahtela 2018a, 74.)

Asunnon jokainen kerros sekä niihin yhteydessä olevat kellarikerrokset ja ullakot on varustettava vähintään yhdellä palovaroittimella. Asunnon jokaisen kerroksen tai tason alkavaa 60 m² kohden on oltava vähintään yksi palovaroitin.

Majoitustilan ja hoitolaitoksen majoitushuone on varustettava vähintään yhdellä palovaroittimella. Majoitushuoneita sisältävän palo-osaston yleiset tilat on varustettava kerroksittain vähintään yhdellä palovaroittimella. Yleisten tilojen huoneistoalan jokaista alkavaa 60 m² kohden on oltava vähintään yksi palovaroitin. (Finlex 2018.)

4.7.2 Paloilmoitin

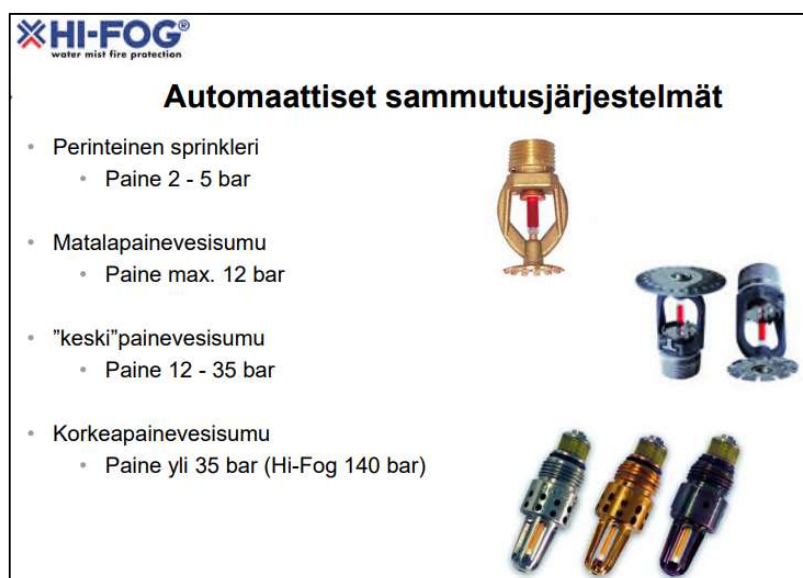
Paloilmoitinjärjestelmä hälyttää alkavasta palosta sekä laitteiston toimintavalmiutta vaarantavista vioista. Se antaa hälytyksen kaikkialla rakennuksessa sekä hälytyskeskuksessa. Automaattisen paloilmoitinjärjestelmän ero paloilmoitinjärjestelmään on se, että se lähettää tiedon hälytyksestä hätäkeskukseen. Automaattinen paloilmoitin on pakollinen yli 50 majoituspaikan majoitustiloissa, yli 25 vuodepaikan hoitolaitoksissa, yli 50 paikan ympärivuorokautisissa päiväkodeissa sekä yli 500 oppilaan kouluissa. (Lahtela 2018a, 74.)

4.7.3 Sprinklerit

Sprinklerin toiminta perustuu lasiampulliin, jossa on nestettä ja palotilanteessa neste laajenee, jolloin lasiampulli hajoaa. Sprinkleriputkistossa on koko ajan paineenalaista vettä, joten lasiampullin hajottua suuttimesta alkaa tulla vettä. Paitsi

kylmään tilaan asennettavien sprinkleriputkien tapauksessa laukaisumekanismi voidaan asentaa lämpimän tilan puolelle, jolloin putkistossa ei ole kylmän tilan puolella vettä (kuivasuutin). Tällä toimenpiteellä estetään sprinkleriputkiston jäätyminen ja turvataan sprinklerijärjestelmän toiminta palotilanteessa. Kuivasuutinta käytetään esimerkiksi parvekkeelle asennettavissa sprinkleriputkissa. Palotilanteessa laukeaa yleensä maksimissaan neljä suutinta. Poikkeuksena avosuuttimilla suunnitellun järjestelmän laukeamisen aiheuttaa erillinen paloilmaisin ja silloin kaikki suuttimet mitoitusalueella laukeavat. (Lahtela 2018a, 74–75.)

Sprinklereitä on olemassa kahta eri tyyppiä, perinteinen sprinklerijärjestelmä ja vesisumusprinklerijärjestelmä. Perinteinen sprinklerijärjestelmä on yleisempi, koska se on ollut käytössä pitkään. Tämän takia se on myös investointi- ja huoltokustannuksiltaan halvempi vaihtoehto. Vaikka perinteinen järjestelmä on halvempi rakennusvaiheessa, se tulee vahingon sattuessa maksamaan paljon enemmän kuin vesisumusprinkleri. Syynä on yksinkertaisesti se, että vesisumusprinklerijärjestelmä käyttää huomattavasti vähemmän vettä kuin perinteinen järjestelmä. Perinteisen järjestelmän toiminta perustuu siihen, että se kastelee pinnat ja sammuttaa palon. Perinteisen järjestelmän putkistopaine on 2...5 bar. (Lahtela 2018a, 74–75.)



Kuva 40. Marioff on kehittänyt Hi-Fog –korkeapainevesisumusprinklerin, jonka putkistopaine on melkein 30-kertainen verrattuna perinteiseen sprinkleriin (Puu-info Oy 2014, 3).

Vesisumujärjestelmiä on olemassa kolmea erilaista vaihtoehtoa: matalapaine-, keskipaine- ja korkeapainevesisumujärjestelmä, joiden putkistopaineet on esitetty kuvassa 40. Korkeamman paineen ansiosta pisarat ovat paljon pienempiä, jonka seurauksena tarvittava vesimäärä on noin 10 % perinteisen järjestelmän tarvitsemasta vesimäärästä. Vesisumujärjestelmän toiminta on moninaisempaa. Vesisumu täyttää palotilan kokonaan ja vähentää näin lämpösäteilyä tilassa rajoitettua paloa. Se myös jäähdyttää palotilaa sekä jopa 1700-kertaisiksi laajenevat vesipisararat syrjäyttävät palotilan hapen. Korkeapainejärjestelmän etuna on se, että sen pumppuyksikön teho riittää useampaan kohteeseen. Pienemmän vesimäärän takia sprinklereistä johtuvan vesivahingon riski pienenee ja näin ollen se on turvallisempi vaihtoehto etenkin puusta valmistettuun rakennukseen. (Lahtela 2018a, 74–75.)

Sprinklerit jaetaan SFS 5980 mukaiseen 2-luokkaan ja SFS-EN 12845 mukaisiin OH1–OH4 luokkiin (kuva 41). OH-luokan toiminta-aika on 60 minuuttia ja SFS 5980 mukaisen 2-luokan toiminta-aika on 30 minuuttia. (Lahtela 2018a, 79.)

- OH1
 - Toimistot, Sairaalat, Asuinrakennukset, Hotellit, ...
 - Suojausala 72 m², toiminta-aika 60 min
- OH2
 - Parkkihallit, Laboratoriot, ...
 - Suojausala 144 m², toiminta-aika 60 min
- OH3
 - Varastotilat rakennuksissa
 - Suojausala 216 m², Toiminta-aika 60 min
- OH4
 - Elokuvateatterit, Auditoriot, ...
 - Suojausala 360 m², toiminta-aika 60 min

Kuva 41. Sprinkleriluokkien esimerkkikohteet (Puuinfo Oy 2014, 6).

4.8 Savunpoisto

Painovoimainen savunpoisto toteutetaan osastoidusta uloskäytävästä ja hissikuilusta katossa olevasta luukusta tai ikkunasta, jonka alareuna on vähintään yhden metrin korkeudella ylimmän kerrostason lattiapinnasta. Lisäksi luukun tai ikkunan on oltava vähintään yhden neliömetrin kokoinen ja se on saatava avattua sisäänkäyntitasolta. Painovoimainen savunpoisto voidaan korvata koneellisella savunpoistolla, jolloin puhaltimen ohjauksen tulee olla mahdollista sisäänkäyntitasolta käsin. Asuntojen savunpoisto hoidetaan ikkunoiden kautta. Lisäksi kerroskäytävien savunpoisto saatetaan joutua toteuttamaan koneellisesti. Savunpoiston lisäksi on huomioitava riittävän korvausilman saaminen tilaan, josta poistetaan savua. Yleensä korvausilmareitit toteutetaan siten, että paloviranomainen hoitaa niiden aukaisun. Korvausilmareittinä voi olla esimerkiksi ikkuna tai uloskäynti. (Ympäristöministeriö 2017, 44–46.)

5 Ääneneristys

Rakennuksen ääneneristyksen tarkoituksena on estää rakenteiden kautta siirtyvän äänen liikkuminen tilasta toiseen. Ääneneristys voidaan jaotella äänilähteen mukaan ilmaääneneristykseen ja askelääneneristykseen. Ilmaääntä syntyy ihmisten ja koneiden toiminnasta, kuten puheesta ja äänentoistosta. Askeläänet syntyvät rakenteisiin kohdistuvista iskuista, jotka aiheuttavat rakenteessa etenevää runkoääntä. Eli askelääntä voi olla kävelyn lisäksi esimerkiksi esineiden putoaminen ja huonekalujen liikuttaminen. Runkoäänet voivat liikkua suoraan rakenteen läpi toiseen tilaan tai sivutiesiirtymäreittien kautta. Sivutiesiirtymässä ääni liikkuu tilojen läpi kulkevien rakenteiden tai patteri- ja ilmanvaihtoputkien kautta toiseen tilaan. (Kryssi 2013, 23–24.)

5.1 Uudet asetukset ääneneristyksestä

Ympäristöministeriön antamat määräykset ja ohjeet ääneneristyksestä ja meluntorjunnasta rakennuksessa rakentamismääräyskokoelman osassa C1 vuodelta 1998 korvattiin vuoden 2018 alusta voimaan astuneella asetuksella 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä. Uuden asetuksen suurimmat uudistukset koskevat ääneneristyksen mittalukuja ja asetuksen soveltamisalaa.

Kumotussa määräyksessä käytettiin rakenteen ilmaääneneristävyydelle mittalukuna ilmaääneneristyslukua R'_{w} , joka kuvaa kahden tilan välistä ilmaääneneristävyyttä, kun mittaus on tehty rakennuksessa. (Eli se kuvaa äänitehon siirtymistä tilasta toiseen.) Uudessa asetuksessa on otettu käyttöön äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ ilmaääneneristävyyden mittaluvuksi (taulukko 2). Äänitasoeroluku kuvaa äänenpainetasojen erotuksia huoneiden välillä taajuusalueella 100-3150 Hz, kun vastaanotto huoneen jälkikaiunta aika on 0,5 sekuntia. Uusi mittaluku kertoo paremmin, kuinka asumismelu siirtyy huoneistosta toiseen, riippumatta siitä onko huone kalustettu vai ei. Askelääneneristävyyden mittalukuna oli ennen käytössä normalisoitu askeläänitasoluku $L'_{n,w}$, joka saadaan vertaamalla taajuuskaistoittain mitattua ja normalisoitua äänenpainetasoa standardisoituun vertailukäyrään. Uutena mittalukuna käytetään standardisoitua askeläänitasolukua $L'_{nT,w}$, johon on lisätty spektripainotusermi $C_{l,50-2500}$, jolloin uusi mittaluku on $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$. Spektripainotusermi laajentaa mitattavaa taajuusaluetta matalammille taajuuskaistoille 50,63 ja 80 Hz, sekä huomioi yksittäisillä taajuuskaistoilla esiintyvät suuret poikkeamat vertailukäyrästä. (Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä.) Puurakenteilla on yleensä heikot ääneneristävyys ominaisuudet matalilla taajuuksilla, joten mitattavan taajuusalueen madaltaminen vaikeuttaa puurakenteiden suunnittelua.

Taulukko 2. Vaatimukset uuden rakennuksen ääneneristykselle (Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä).

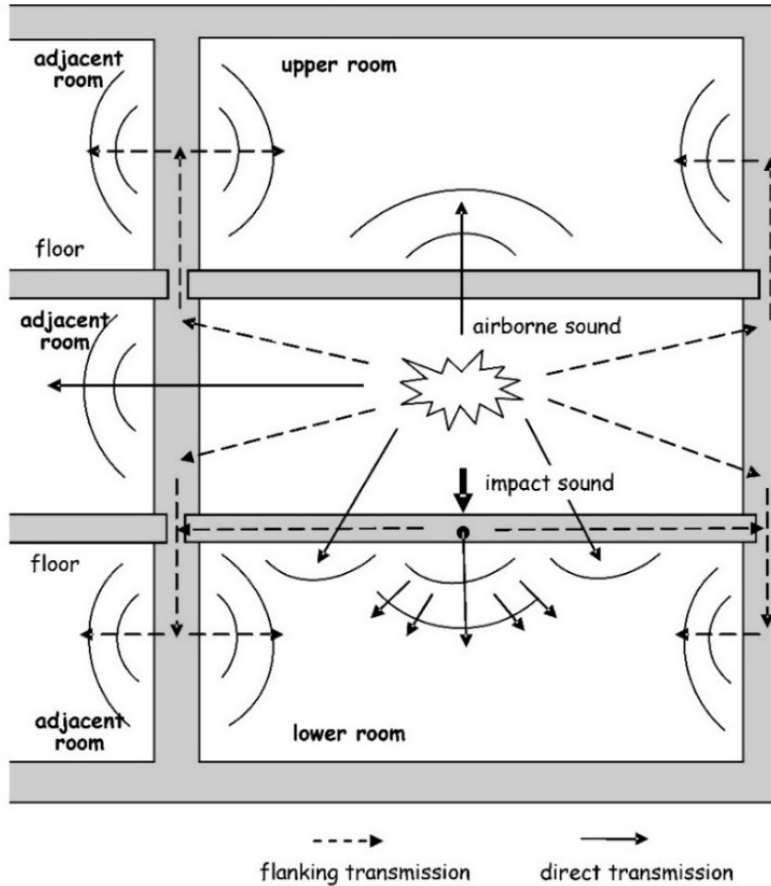
Huonetila	Pienin sallittu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ (dB)	Suurin sallittu askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{l, 50-2500}$ (dB)
Asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä	55	53
Uloskäytävästä asuin-, majoitus- tai potilashuoneeseen	39	63

Soveltamisalat laajenevat uudessa asetuksessa ääneneristyksestä ja melutortunnasta vastaamaan myös tärinätorjuntaa ja ääniolosuhteita. Uusi asetus velvoittaa myös korjaus- ja muutostöitä, joita ei aikaisemmin huomioitu. Sovellettaisiin tilatyyppeihin lisättiin uusina opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta- ja toimistotilat sekä majoitus- tai potilashuoneet. Aikaisemmin määräykset koskivat vain asuntoja. (Kylliäinen 2018.)

5.2 Äänen liike

Ääni siirtyy rakenteen kautta toiseen tilaan, kun ääniteho saa rakenteen värähtelemään. Rakenteen värähtely saa ilman rakenteen toisella puolella värähtelemään, jolloin syntyy ääniteho toisessa tilassa (kuva 42). Rakenteen massa, jäykkyys ja rakennepaksuus vaikuttavat rakenteen värähtelyherkkyyteen ja siten myös ääneneristävyyteen. Äänentaajuus vaikuttaa rakenteen äänitekniiseen toimintaan merkittävästi. Rakenteilla on tiettyjä rajataajuuksia, joissa niiden ääneneristävyys muuttuu ja heikkenee. Ääneneristyksen kannalta merkittävin rajataajuus on koinsidenssin rajataajuus, joka usein sijaitsee riippuen rakenteesta välillä 50–3150 Hz. Tämä alue on rakennusakustiikan kannalta olennaisin alue. Pienen massan ja jäykkyyden omaavan rakenteen koinsidenssin rajataajuus on suuri, kun taas raskaan ja jäykän rakenteen rajataajuus on pieni. Koinsidenssin rajataajuus on lähes kaikilla rakentamisessa käytettävillä puutavaroilla ja -levyillä alu-

eella, jota tulisi välttää. Lisäksi puurakenteet värähtelevät herkästi pienen massan ja jäykkyyden takia, jolloin niihin joudutaan lisäämään ääneneristystä parantavia osia. (Kylliäinen 2006.)



Kuva 42. Äänen kulkureitit rakennuksessa (Scottish Government 2017, 344).

5.3 Puurakenteiden ääneneristys

Puurakenteissa on matalilla taajuuksilla (alle 100 Hz) huono ääneneristävyys, koska ne värähtelevät herkästi. Etenkin välipohjissa asumisesta johtuvien askeleen taajuus 25–200 Hz aiheuttaa lisätarkasteluja. Toisaalta monikerrosrakenteet eristävät hyvin korkeita ääniä, joita asuinrakennuksissa on suurin osa äänistä. Puurakennusten ääneneristys perustuu useimmiten monikerroksisiin levyrakenteisiin, joissa äänet vaimentuvat levyn tai levyjen, rungon ja väliin jäävän ilman muodostamaan jousi-massa-yhdistelmään. Levy toimii massana, joka vähentää äänenpaineesta aiheutuvaa rakenteen värähtelyä ja kerrosten väliin jäävä

ilma toimii jousena, joka heikentää värähtelyn siirtymistä rakenteen toiselle puolelle. Sijoittamalla ääntä absorboivaa materiaalia kuten mineraalivillaa monikerroksisen levyrakenteen ilmatilaan, pystytään parantamaan ääneneristystä. Puurakenteiden mekaaniset liitokset ovat joustavia ja yleensä sisältävät sauman, joka katkaisee rakenteen jatkuvuuden, jolloin värähtelyjen sivutiesiirtymät eivät välity niin helposti rakenteesta toiseen. (Tolppanen ym. 2013, 158–170.)

Puukerrostalojen sivutiesiirtymien ehkäisyyn käytetään joskus tärinäeristeitä (kuva 43). Tärinäeristykseen käytetään elastomeeriä, joka on usein tehty solumaisesta polyuretaanista. Elastomeeri on elastinen ja sitkeä aine, joka käyttäytyy jousimaisesti rakennuksen massan alla. Niitä käytetään runko- ja askeläänien, sekä tärinän etenemisen rajoittamiseen välipohjissa, lattioissa, portaissa tai pysty- ja vaakarakenteiden liittymissä. (Bolmsvik 2013, 30–32.) Tärinäeristeiden käyttö on hankalaa korkeissa puukerrostaloissa, koska niistä tulee suuri määrä joustavia kerroksia rakennukseen, mikä voi johtaa rakennuksen kokonaissiirtymien liialliseen kasvuun (Heilä 2018, 22–23).



Kuva 43. Tärinäeristys seinän ja välipohjan liitoksessa (Getzner Werkstoffe 2018).

6 Kosteudenhallinta

Kosteudenhallinta on tärkeässä asemassa rakentamisessa ja erityisesti se korostuu puurakentamisessa. Kastuessaan puu on altis homeelle ja laholle, josta voi seurata asukkaalle turvallisuus- ja terveysriski. Kosteus ei itsessään ole vaarallista, jos rakenteet pääsevät kunnolla tuulettumaan ja kuivumaan. Kosteudenhallinnan parempaa toteutusta varten on kehitetty kuivaketju10-toimintamalli, jonka avulla pyritään vähentämään kosteusvaurioiden syntymistä rakennuksen koko elinkaaren ajan.

Malli sisältää riskilistan, jossa on eritelty 10 keskeisintä kohtaa kosteusvaurioiden syntymiseen. Kosteutta tulee esimerkiksi maaperästä, sateena taivaalta ja ihmisten arkitoimista. Yhden suurimmista kosteusvaurion riskeistä aiheuttaa rakentamiselle varatun ajan riittämättömyys. Rakentamista ei suoriteta riittävällä huolella, koska aikataulu on suunniteltu liian tiukaksi. Esimerkiksi huonosti toteutetut märkätilat ovat suuri kosteusvaurioriski. Myös väärin mitoitettulla ilmanvaihdolla aiheutetaan ylimääräistä kosteusrasitusta rakenteisiin, josta voi seurata kosteusvaurio. (RALA ry 2018).

Kosteudenhallinta alkaa jo suunnittelusta ja kestää rakennuksen käyttöaikaiseen huoltoon ja ylläpitoon. Rakenteet on suunniteltava siten, että rakenteisiin pääsisi mahdollisimman vähän kosteutta ja rakenteisiin päässyt kosteus tuulettuisi pois. Työmaa-aikainen kosteudenhallinta korostuu esimerkiksi rakennustavaroiden varastoinnissa työmaalla. Rakennustavarat, erityisesti puumateriaali, tulisi säilyttää mahdollisimman hyvin kosteudelta suojattuna pressujen ja muovien avulla. Esimerkiksi lautakasa tulee nostaa ylös maasta lankkujen avulla, jotta ilma pääsee kiertämään lautojen alapuolelta ja päälle tulee asettaa pressu, jotta sade ei kastele lautoja. Näillä toimenpiteillä puutavaran kosteus pysyy hallinnassa ja rakentamista ei pilata huonolla varastoinnilla. Työmaalla tulee myös huolehtia suunnitelmien noudattamisesta ja esimerkiksi muurarin tulee olla riittävän ammattitaitoinen, jotta hän ei tuki muurauslaastilla tiiliverhouksen takana olevaa tuuletusväliä. Kolmas tärkeä kosteudenhallinnan osa-alue on huolto ja ylläpito. Kun rakennuksesta ja sen laitteista pidetään huolta, niin rakennus on pitkäikäinen.

6.1 Sääsuojaus

Yksi kosteudenhallinnan keino puurakentamisessa on sääsuojan käyttö rakentamisen aikana. On tärkeää, että kuivaketju ei katkea missään rakentamisen vaiheessa, kun on kyse puurakentamisesta. Puukerrostalorakentamiseen soveltuu käytännössä kaksi erilaista sääsuojaratkaisua. Toinen on sääsuojatelttä ja toinen on väliaikainen kattorakennelma, joka voidaan nostaa nostojen ajaksi pois paikaltaan.

6.1.1 Sääsuojelttä

Sääsuojatelttä suojaa rakenteita ja työmiehiä sateelta, lumelta, tuulelta ja pakkaselta. Lisäksi se lisää työnteon tehokkuutta ja työturvallisuutta, koska töitä saa tehdä kuivassa tilassa. Sääsuojatelttä käytettäessä on huolehdittava riittävästä ilmanvaihdosta, jotta esimerkiksi hitsauskäryt tuulettuvat riittävän tehokkaasti pois teltan sisältä. Lisäksi talviaikana on huolehdittava lumen pudotuksesta sääsuojan katolta. Sääsuojateltan sisään tulee myös asentaa riittävä valaistus työskentelyä varten. (Savolainen 2018).

Sääsuojateltan huonoja puolia ovat sen aiheuttamat kokonaiskustannukset, jotka koostuvat suurimmalta osin vuokra- ja ylläpitokustannuksista. Rakennuksen koko sekä muoto rajoittavat sääsuojateltan käyttöä ja nostot vaikeutuvat, jos sääsuojassa itsessään ei ole nosturia, vaan katto pitää aina aukaista ennen nostoja. Tontilla tulee olla riittävästi tilaa sääsuojan pystytystä varten. Tämän lisäksi työmaalogistiikka tulee suunnitella tarkasti, jotta työt sujuvat aikataulussa. (Savolainen 2018). Sääsuojatelttä lisää myös suunnittelukustannuksia, koska teltta pitää saada jäykistettyä lumi- ja tuulikuormia varten. Rakenteisiin pitää mahdollisesti tehdä varauksia tai sidontapisteitä, joihin teltan jäykisteet voidaan ottaa kiinni. Mitä korkeammasta rakennuksesta on kyse, sitä haastavampaa sääsuojateltan käyttö on ja joudutaan mahdollisesti keksimään vaihtoehtoisia ratkaisuja kohteen sääsuojauksen toteutukseen.

Ramirentilla on olemassa nosturilla varustettu Ramitower-sääsuojatelttä, joka soveltuu puukerrostalorakentamiseen. Nosturin nostokapasiteetti on 3200 kg ja suurin jänneväli on 25 metriä. Sillä saa hyvin hoidettua puuelementtien nostot. Suojassa on moottorit, joilla sitä voidaan kätevästi nostaa ylöspäin työmaan edessä. Tavaroiden nostaminen sääsuojateltan sisään voidaan toteuttaa joko suojan päädystä tai vaihtoehtoisesti suojan kattoon on mahdollista tehdä noin 2,6 metrin levyinen aukko. Suojan suurin jänneleveys on 40 metriä ja maksimikorkeus on 25 metriä, joka käytännössä vastaa korkeudeltaan maksimissaan 7-8 kerroksista kerrostaloa. (Ramirent 2018).

6.1.2 Väliaikainen sääsuojakatto

Väliaikainen kattorakennelma voidaan rakentaa työmaalla ja nostaa paikoilleen nosturilla (kuva 44). Väliaikainen sääsuojakatto kannattaa rakentaa lohkoissa, jolloin elementtien asennusta voidaan jaksottaa useammalle päivälle eikä koko kerrosta tarvitse saada valmiiksi saman päivän aikana. Lohkojen välisten saumojen tiiveydestä tulee huolehtia tarkasti, jotta sade ei kastele rakenteita. Väliaikainen sääsuojakatto on edullisempi vaihtoehto verrattuna sääsuojatelttään, koska siitä ei aiheudu samalla tavoin kustannuksia kuin sääsuojateltan kasaus- ja ylläpitokustannuksista. Se ei myöskään rajoita rakennettävien kerrosten lukumäärää. Tontilla tulee kuitenkin olla riittävästi tilaa kattolohkojen väliaikaista poisnostoa varten. Väliaikainen sääsuojakatto ei suojaa julkisivua, joten julkisivun seinien kautta aiheutuva rakenteiden kastuminen pitää estää muilla keinoilla, kuten esimerkiksi asentamalla seinään julkisivumateriaali ennen seinän paikoilleen asentamista.



Kuva 44. Väliaikainen sääsuojakatto välipohjan päällä.

7 Lighthouse Joensuu

Joensuuhun rakenteilla oleva 14-kerroksinen puukerrostalo (kuva 45) kantaa nimeä Lighthouse Joensuu. Kerrostalon rakennuttajana toimii *Opiskelija-asunnot Oy Joensuun Elli*, ja rakennukseen tulee 117 opiskelijoille tarkoitettua asuntoa. Kerrostalo on rungoltaan kokonaan puuta lukuun ottamatta alinta kerrosta, joka tehdään teräsbetonista. Joensuun kaupunki haluaa edistää puurakentamista ja näin ollen tontin luovutuksen ehtona oli se, että kerrostalo rakennetaan puusta (Päivinen 2016).



Kuva 45. Lighthouse Joensuun tontti sijaitsee Pielisjoen rannassa Ylisoutajan sil-
lan vierellä (Ympäristöministeriö 2018, 6).

Kerrostalon arkkitehtisuunnittelusta vastaa *Arcadia Oy arkkitehtitoimisto* ja raken-
nesuunnittelusta *A-Insinöörit Suunnittelu Oy*. Kerrostalon puuosat toimittaa *Stora*
Enso Oyj ja pääurakoitsijana toimii *Rakennustoimisto Eero Reijonen Oy*, joka ra-
kensi Joensuuhun vuonna 2017 valmistuneen 6-kerroksisen puukerrostalon Pi-
hapetäjän. Pihapetäjä rakennettiin tilaelementeistä ja tuleva kerrostalo rakenne-
taan suurelementeistä, joten kohde tuo urakoitsijankin kannalta uusia haasteita
rakentamiseen. Kerrostalo on ainutlaatuinen rakennus- ja suunnittelukohde Suo-
messä, koska yhtä korkeaa puukerrostaloa ei ole vielä rakennettu maassamme.
Tämä luo haasteita rakentamiselle ja suunnittelulle, koska näin korkean puuker-
rostalon pitkäaikaiskestävyydestä, kosteuselämisestä ja liitosten toimivuudesta
ei ole kokemusta. Tämän takia kyseinen puukerrostalohanke kuuluu poikkeuk-
sellisen vaativaan luokkaan suunnittelun osalta. (Rakennuslupapäätös 2017.)
Lighthouse Joensuun rakennuspiirustuksia on liitteissä 1, 2 ja 3.

Lisäksi *Karelia-ammattikorkeakoulu* on hankkeessa mukana kehittämässä puu-
rakentamista ja on käynnistänyt *Joensuu Light House* -tutkimushankkeen, jonka
avulla kerätään tietoa kohteen suunnittelusta ja toteutuksesta. Kohteessa seura-

taan esimerkiksi rungon painumaa, siirtymiä ja ääniteknistä toimivuutta. Tarkoituksena on edistää puurakentamisen alan kehittymistä. (Karelia-ammattikorkeakoulu 2018.)

7.1 Rakennejärjestelmä

Rakennus on 14-kerroksinen puukerrostalo, jossa perustukset sekä ensimmäinen kerros tehdään teräsbetonista ja muut kerrokset massiivipuu-elementeistä. Rakennus tehdään kantavat seinät -rakennejärjestelmällä. Perustuksena on jatkuva paaluantura, joka tehdään teräsputkipaalujen varaan. Paaluina käytetään pora- ja lyöntipaaluja, joista osa on vinopaaluja perustuksiin kohdistuvien suurten vaakavoimien takia. Porapaaluihin kohdistuu vetojännityksiä perustuksista, joten ne toimivat vetopaaluina. Perustukset ankkuroidaan vetopaalujen läpi kallioon vetoankkureiden avulla. Perustusten painoa ja jäykkyyttä lisätään kantavalla alapohjalla, joka on 300 mm paksu. Ensimmäisessä kerroksessa seinien betoniosan paksuus vaihtelee 200 ja 300 mm:n välillä ja betoninen välipohjalaatta on 500 mm paksu. Normaalia suuremmilla paksuuksilla lisätään rakennuksen massaa, joka muuten puukerrostalossa jää vähäiseksi. Puukerrostalon seinät tehdään LVL-X-elementeistä ja välipohjat CLT-laattaelementeistä. LVL-seinien paksuudet vaihtuvat rakennuksen korkeuden kasvaessa niin, että kerrosten 2–4 seinät ovat 162 mm paksuja, kerrosten 5–11 seinät ovat 144 mm paksuja ja kerrosten 12–14 seinät ovat 126 mm paksuja. Ylöspäin mentäessä kuormitus vähenee, joten seinien paksuutta voidaan kaventaa. Myös hissikuilun seinät ovat LVL-elementtejä. Porrashuoneen ja käytävien välipohjat tehdään CLT- ja LVL-laatoilla. Portaat ovat puurakenteisia porraselementtejä. LVL-seinien sisään porataan tehtaalla pystysuuntaiset reiät jännetangoille 2–11 kerroksissa ja 12–14 kerroksissa ulkoseinillä tangoille jyrjitään urat seinän pintaan. Jännetankojen avulla puukerrokset ankkuroidaan toisiinsa, sekä betonikerrokseen. (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018b.)

7.2 Jäykistys

Tässä kohteessa välipohjan on voitu ajatella toimivan äärimmäisen jäykkänä rakenteena, koska liitoksien toleranssit ovat niin pieniä, että ne toimivat asennuksen jälkeen puskuliitoksina. Vaakavoimat välittyvät puskuliitoksien, kulmaveyjen ja ruuviliitoksien avulla seuraavalle laattakentälle ja edelleen jäykistäville seinille. Rakennuksen kaikki seinät toimivat jäykistävinä seininä, mutta kaatavat voimat ovat ongelmallisempia vähän omaa painoa omaaville seinille. Jännetangoilla jäykistetään muun muassa näitä ongelma kohtia. Melkein kaikki LVL-seinät ankkuroidaan betonikerrokseen jännetangoilla, jotka kulkevat seinien sisälle poratuissa tai jyrskyissä rei'issä. Betonikerros on lisäraudoitettu jännetankojen kohdalta niin, että vetovoimat välittyvät perustuksiin. Anturoissa on vetopaalujen kohdissa ankkurilevyt, jotka kiinnitetään vetoankkureilla vetopaalujen läpi kallioon. Vetopaalut sijoitetaan paikkoihin, joihin kohdistuu eniten nostavia voimia jännetangoista. (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018b; 2018c.)

Seinä- ja välipohjaelementit liitetään toisiinsa naulauslevyillä ja ruuvauksella liitosten jäykkyyden varmistamiseksi ja vaakavoimien siirtämistä varten. Jatkuvan sortuman estämisen takia kulmaveyjen määrä kasvaa suureksi seinien pystyliitoksissa. Jos jokin seinä menettää kantokykynsä, ylemmän seinän pystyliitosten tulee ottaa vastaan paino, joka muuten jatkuisi alemmille seinille. Betonirakenteinen ensimmäinen kerros on suunniteltu toimimaan jäykistävänä kuutiona, joka vastaanottaa rakennukseen kohdistuvat rasitukset ja siirtää ne perustuksille. Alapohjalaatta toimii anturaperustusten jäykistäjänä. Rakenteiden ankkuroinnin lisäksi, nosteen vaikutusta lisätään rakennuksen massaa kasvattamalla. Puurakenteisten välipohjien ja askeläänieristeen päälle valetaan 50 millimetriä paksu maakostea betonikerros, anturoiden päälle tulee kantavaksi alapohjaksi 300 millimetriä paksu teräsbetonilaatta, sekä pohjakerroksen ja perustuksen betonirakenteita paksunnetaan, suuremman massan saavuttamiseksi. (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018b; 2018c.)

7.3 Rakennuksen liitokset ja ankkurointi

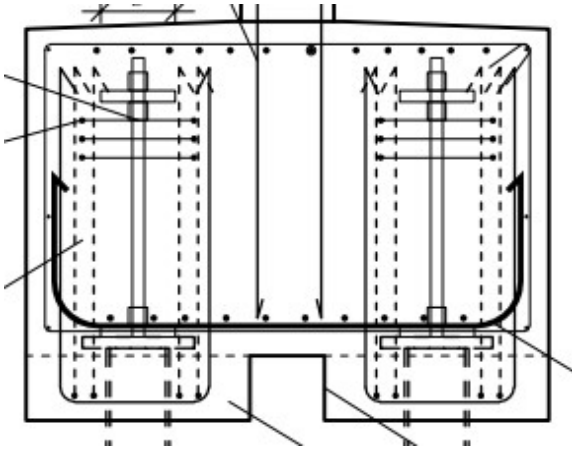
Rakennuksen liitokset jakautuvat puuliitoksiin ja betoniliitoksiin, joihin voidaan lisätä perustusten ankkurointi kallioon ja puurakenteisten kerrosten ankkurointi betonikerrokseen. Elementtien väliset puuliitokset toteutetaan mekaanisilla liitoksilla, pääasiassa metallisilla kulma- tai naulauslevy- ja ruuviliitoksilla (kuva 46). Puuelementtien sisäiset liitokset, kuten LVL-elementtien viilujen väliset liitokset ja CLT-elementtien lamellien väliset liitokset tehdään tehtaassa liimaliitoksilla. Betonirakenteidenliitokset ovat normaaleja paikallavalutekniikalla tehtyjä liitoksia. Betonikerroksen liittyminen puuelementteihin tehdään kulma- ja naulauslevyliitoksilla. (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c.)



Kuva 46. Kulmalevyliitoksia.

7.3.1 Rakennuksen ankkurointi

Jatkuvat paaluanturat ankkuroidaan kallioon vetopaalujen, ankkurilevyjen ja vetoankkureiden avulla. Vetoankkureiden kohdalle tehdään anturan paksuuden lisäys 175 mm, sekä hakaraudoitus ankkurien ympärille anturaan (kuva 47). (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018f.)

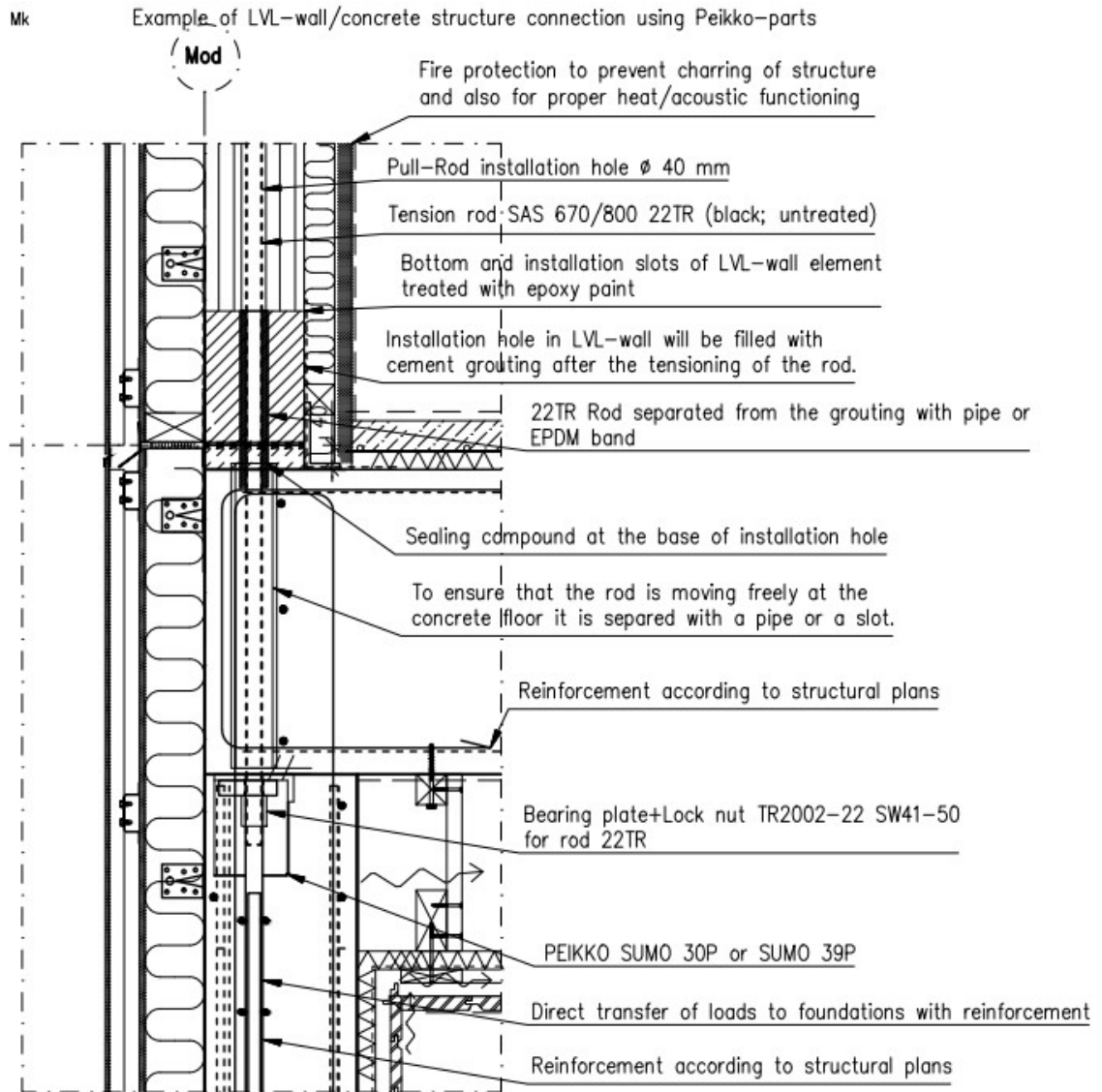


Kuva 47. Vetoankkureiden hakarautoitus (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018f).

Puukerrokset ankkuroidaan ensimmäisen kerroksen betoniseiniin teräksisillä jännetangoilla, jotka kulkevat rakennuksen läpi korkeussuunnassa LVL-seinien sisällä. Jännetankojen liitos betoniin toteutetaan Peikon SUMO30P ja SUMO39P -seinäkengien avulla (kuva 48). Seinäkengiä käytetään normaalisti betonielementtiseinien alapään liitoksissa ankkurointipulttien kanssa. Tässä tapauksessa seinäkengi valetaan ylösalaisin betoniseinän yläpähän, betoniholvin alareunaan. Jännetanko kiinnitetään betoniholvin alareunaan seinäkengän, jännetankoihin sopivan ankkurimutterin ja ankkurilevyn avulla (kuva 49). (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c.)

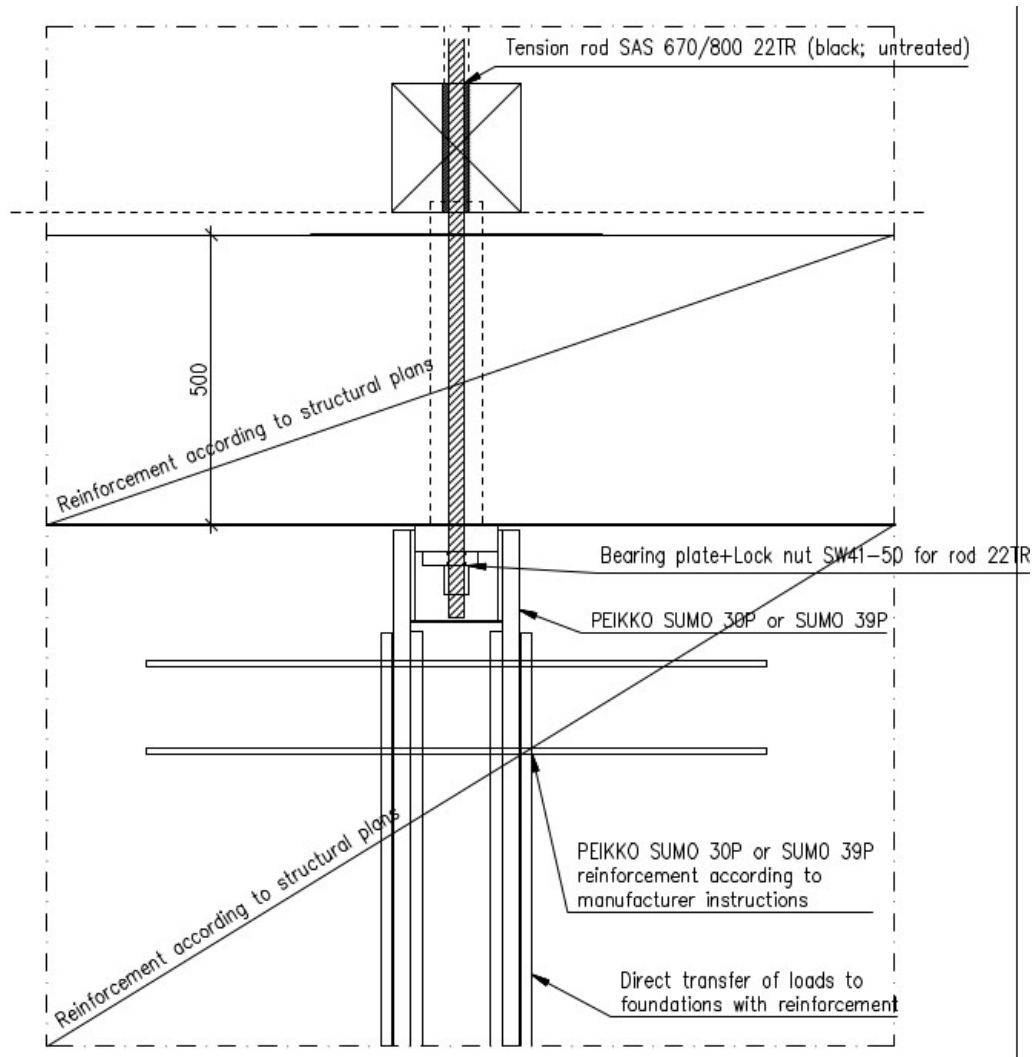


Kuva 48. Seinäkengät betoniholvin alapinnassa väliseinässä.



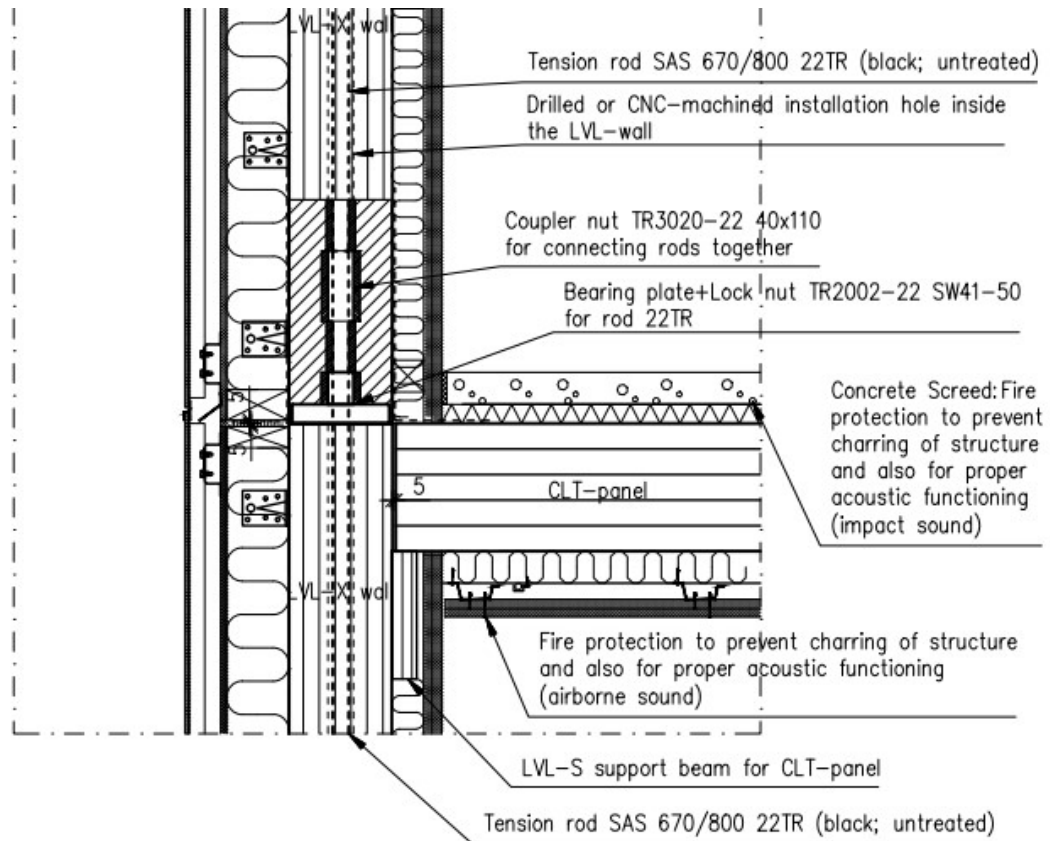
Kuva 49. Jännetangon liitos seinäkenkään ulkoseinällä (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018d).

Betoniholviin jätetään 60x90 mm kokoinen varaus jännetankoa varten. Varausta ei valeta umpeen, vaan vetovoimat vietään jännetankoa pitkin seinäkengälle. Koska seinäkenkä valetaan betoniseinään, vetovoimat siirtyvät betoniseinän kautta perustuksille. Betoniseinään asennetaan seinäkenkien tartuntarautoihin jatkosraudat, jotka vietään alapohjalaatan yläpintaan saakka, jotta vetovoimat saadaan välittymään perustuksille asti (kuva 50). (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c.)



Kuva 50. Poikittaisraudoitus seinäkengän alareunassa ja jatkosraudoitus seinäkengän teräksistä perustuksille (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018d).

LVL-seinäelementteihin tehdään tehtaalla asennuskolot jännetankoja varten. Jännetangot pujotetaan LVL-seinän läpi ja kiinnitetään seuraavaan tankoon jatkomutterilla, jokaisessa kerroksessa (kuva 51). Tangot jännitetään kolmen kerroksen välein, koska pidemmillä jännitysväleillä jännityshäviöt saattavat kasvaa liian suuriksi. Tangot jännitetään suunniteltuun jättövoimaan tunkin avulla, minkä jälkeen jännetangot lukitaan ankkurilevyllä ja ankkurimutterilla. (Keskisalo 2018, 9–10.)



Kuva 51. Jännetangon jännitys kohta keskellä rakennusta (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018d).

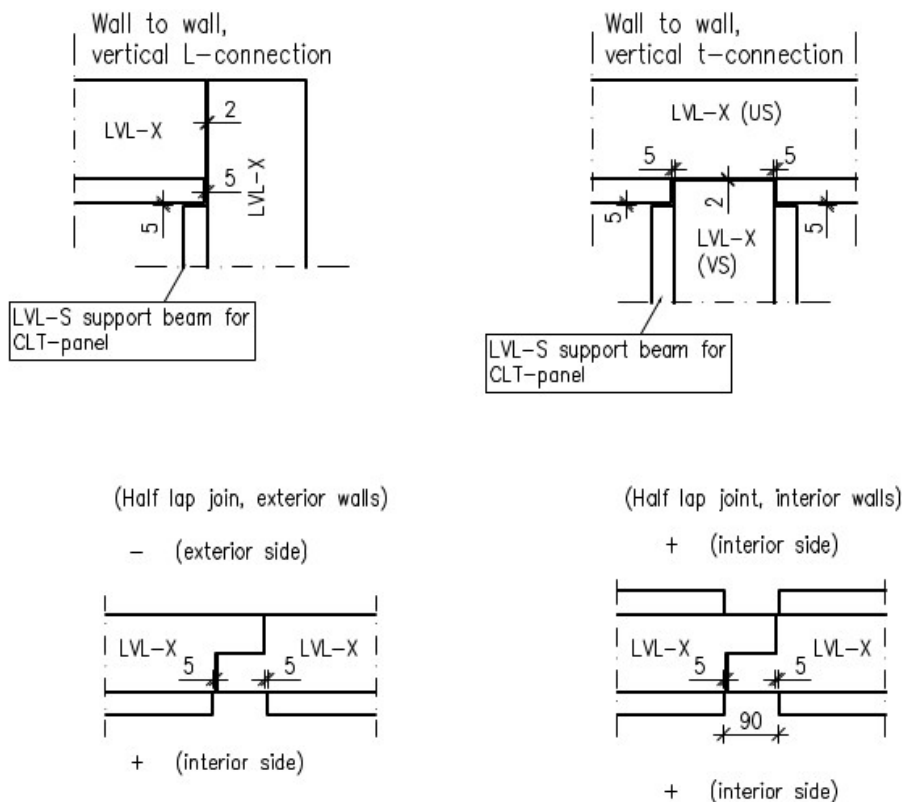
Lukituksen jälkeen, asennuskolot valetaan umpeen juotosbetonilla, paitsi ylimmissä kerroksissa asennuskoloihin kiinnitetään LVL-levyt peittämään kolot. Jännetanko erotetaan juotosbetonista irrotuskaistalla, jotta betoni ei vaikuta tangon toimivuuteen. Jännetankojen määrä vähenee ylöspäin mentäessä, koska ankkuroitavat voimat pienenevät ylemmissä kerroksissa, joten osa jännetangoista päättyy jännitettävään kerrokseen (kuva 52). (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c.)



Kuva 52. Jatkuva ja päättyvä jännetanko porrashuoneessa.

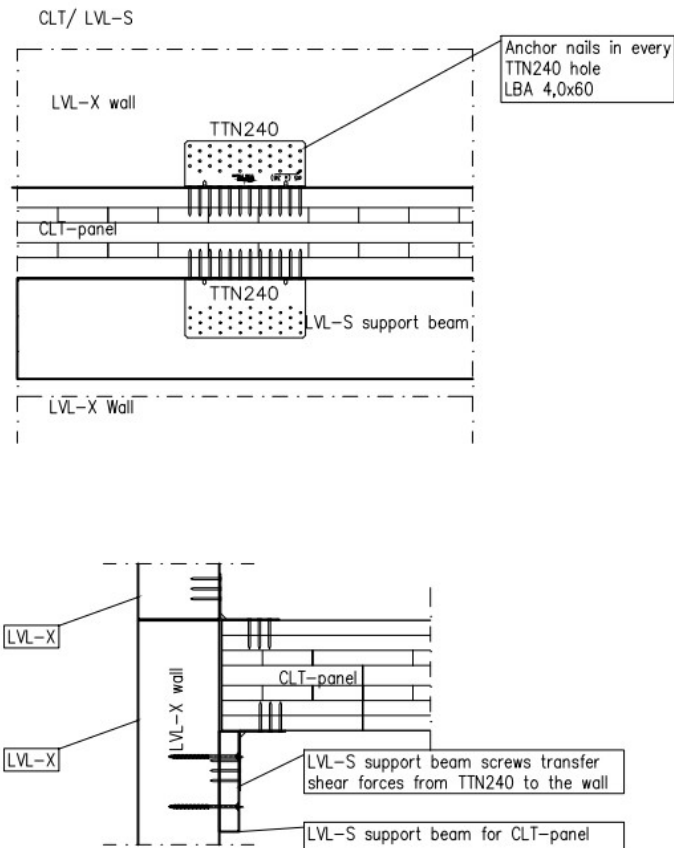
7.3.2 Puuliitokset

CLT- ja LVL-elementtien tehdastuotannon toleranssit ovat todella tarkkoja, mikä mahdollistaa puuelementtien tarkemman asentamisen työmaalla. Kohteen elementtien saumojen asennusvarat ovat niin pieniä (kuva 53), että asennuksen jälkeen liitokset toimivat jäykistyksen kannalta puskuliitoksina, joissa osan voimasta välittää kulmateräkset ja ruuvit. (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c.)



Kuva 53. LVL-seinäelementtien liitoksia (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018d).

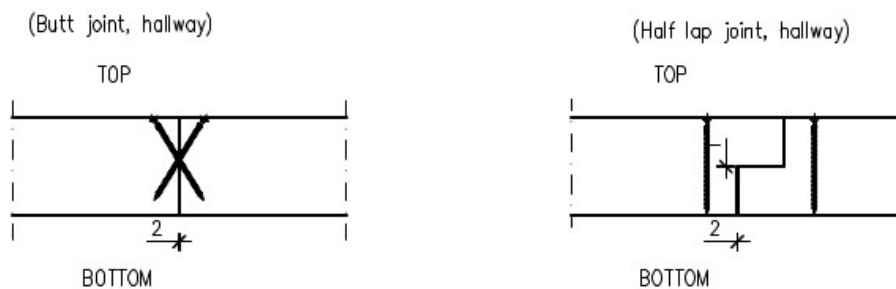
Seinät ovat LVL-elementtejä, joiden pystyliitokset toteutetaan puoliponttiliitoksella. Liitoksessa seinien päätypontit kiinnitetään toisiinsa yksileikkeisellä ruuvi-liitoksella. Väliseinän ja ulkoseinän liitoksissa ja ulkoseinien nurkissa käytetään kulmalevyliitoksia, joissa liittiminä toimivat ankkurinaulat. Välipohjat ovat CLT-laattaelementtejä, joiden liitokset toisiinsa ovat ruuvattuja puoliponttiliitoksia kuten seinillä. Laatat kannatetaan seinäelementeistä konsoleilla, jotka tehdään kiinnittämällä 39x200 mm kokoinen LVL-levykaistale ruuveilla seinään. Välipohjaelementit kiinnitetään seinäelementteihin ylä- ja alapuolelta kulmalevyillä ja ankkurinauloilla (kuva 54). (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c.)



Kuva 54. Välipohjan ja seinän liitos (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018d).

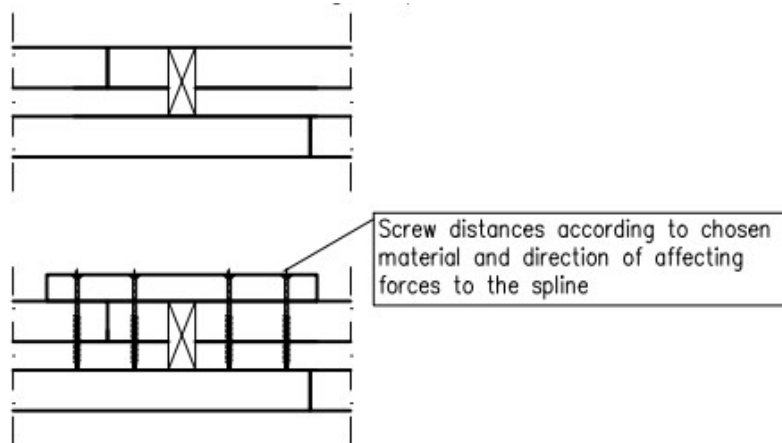
Rakennuksen kerroksissa on kaksi käytävää hissikuilun molemmilla puolilla (liite 1). Lyhyemmän käytävänlattiat ovat CLT-elementtejä puoliponttiliitoksella. Pidemmän käytävänlattiat ovat LVL-elementtejä ja niissä on sekä pusku- että puoliponttiliitoksia. Käytävän lattiaelementtien puskuliitokset kiinnitetään vinoruuveilla (kuva 55) ja puoliponttiliitokset suoralla ruuvauksella (kuva 56). (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c.)

LVL-X 162 floors (LVL-X 162 floor)



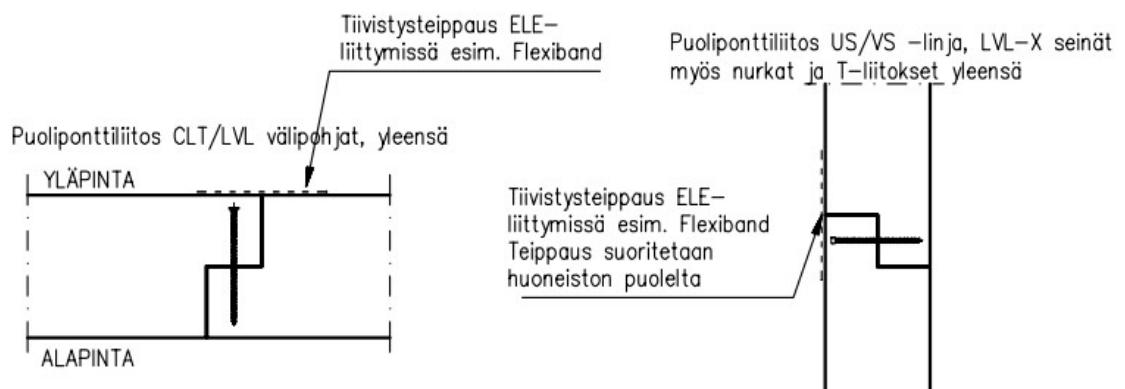
Kuva 55. Käytävän välipohjan liitokset (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018d).

Jännetangon reikä heikentää seinäelementtiä reiän läheisyydessä. Kun seinäelementtien LVL-lamellien kuiva (sisätilassa oleva) pystysauma tai muu elementin valmistuksesta aiheutuva heikompi kohta osuu lähelle jännetangon reikää, kohtaa reiän ympärillä joudutaan vahvistamaan. Vahvistus tehdään kapealla LVL-levyllä, joka liimataan ja ruuvataan seinäelementtiin reiän päälle (kuva 61). (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c.)



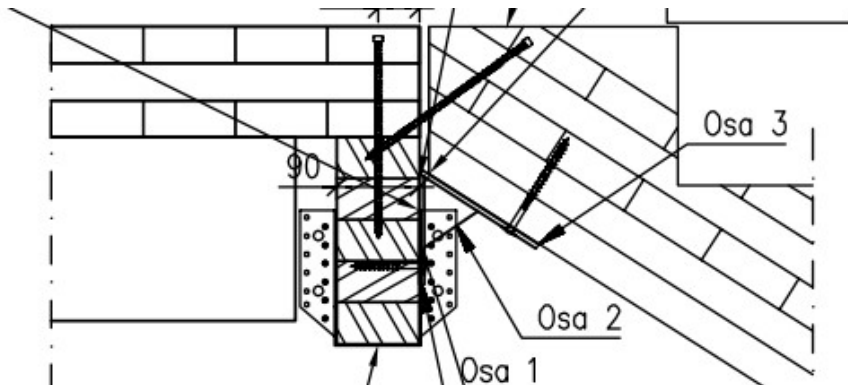
Kuva 56. Kuivan pystysauman vahvistus jännetangon kohdalla (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018d).

Rakennuksen ulkovaipassa ei tarvita erillistä höyrynsulkua, koska puuelementtien diffuusiokerroin on riittävän suuri, mutta elementtien saumat tulee kuitenkin tiivistää teippauksilla. Kaikkiin puuelementti saumoihin tehdään tiivistysteippaukset tiivistysnauhoilla. CLT- ja LVL-elementtien liitoksiin teippaus tehdään ruuvi-kiinnitysten jälkeen, mutta ennen kulmalevyjen kiinnitystä (kuva 57). (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c.)



Kuva 57. Liitosten tiivistysteippaukset (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c).

Porrashuone kasataan kokonaisuutena puuelementeistä. Porrashuoneen laatat ovat CLT-laattoja ja portaat ovat CLT-elementtejä, joihin on jyrsitty askelmat tehtaalla. Portaan kiinnitys laattaelementteihin toteutetaan teräsosilla ja ruuveilla (kuva 58). Laattaelementtien portaan puoleiseen reunaan tulee liimapuusta tehty kannatinpalkki, joka kiinnitetään palkkikengillä ja ankkurinauloilla seinäelementteihin. Liimapuupalkkiin kiinnitetään teräksinen liitososa, jonka toinen laippa ruuvataan porraselementin yläpään (kuva 59). Porraselementin alapäässä teräksinen liitososa ruuvataan porrashuonelaatan yläpintaan ja porraselementin alapään. Porrashuoneen ja hissikuilun LVL-seinien liitokset kiinnitetään nauhauslevyillä ja ankkurinauloilla. (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c.)



Kuva 58. Portaan liitos (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018c).

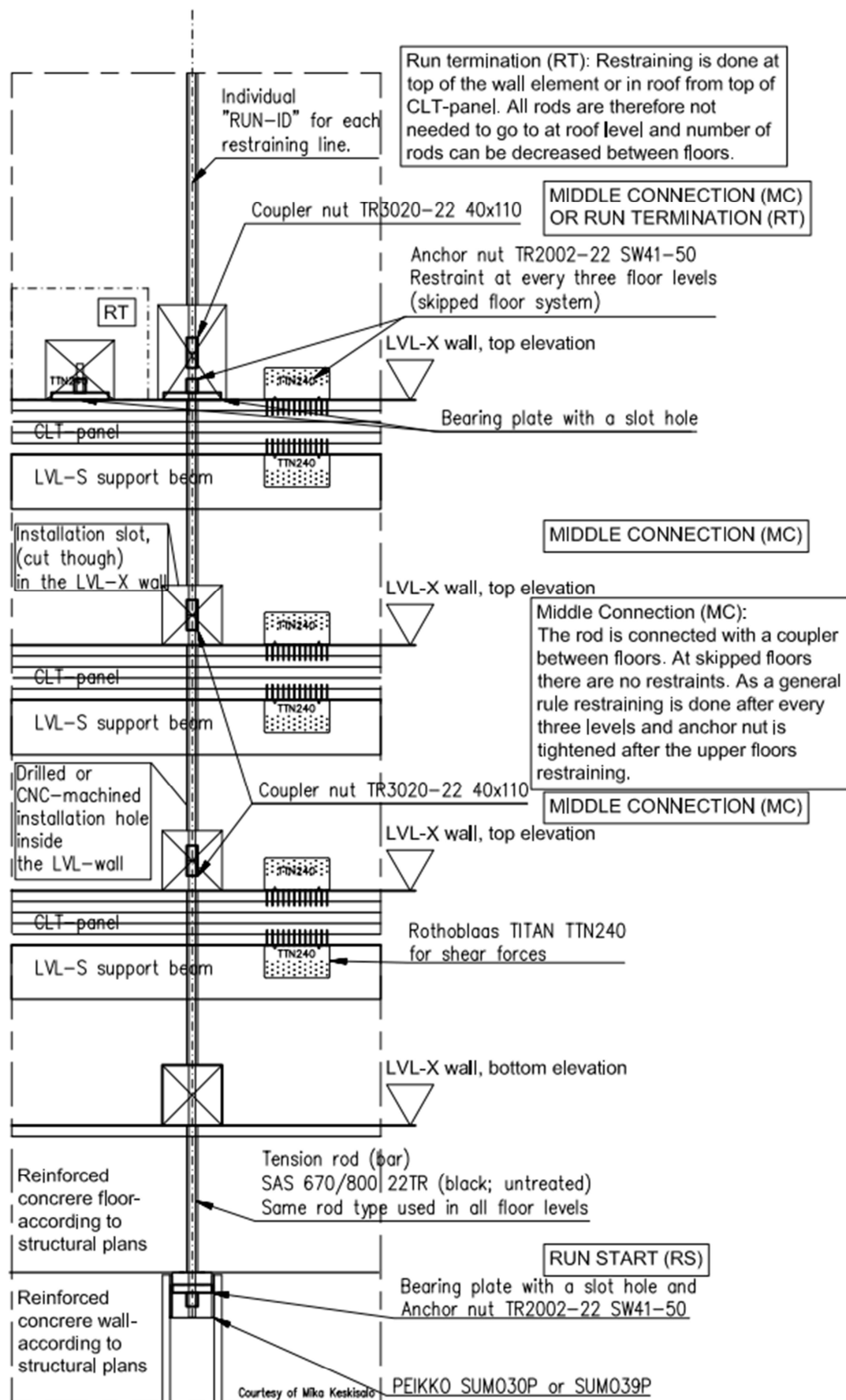


Kuva 59. Portaan liitososa.

7.4 Jännetankojen suunnittelu ja asennus

Kohteessa käytetään kerroksia ohittavaa jännetankoankkurointijärjestelmää. Rakennuksen jännetangot jälkijännitetään elementtien asennuksen jälkeen. Tangot jännitetään kolmen kerroksen välein, koska pidemmällä jännitysväleillä jännityshäviöt kasvavat liian suuriksi ja toisaalta jokaisen kerroksen jännittäminen ei ole kustannustehokasta eikä rakenneteknisesti välttämätöntä. Rakennukseen muodostuu kolmen kerroksen suuruisia ankkurointiryhmiä, joita tässä kohteessa ovat kerrokset 2–4, 5–7, 8–10 ja 12–14. Seinäelementtien paksuuden vaihtumisen takia kerrokseen 11 tehdään yksittäisen kerroksen ankkurointi. Kuvassa 60 on esitetty kerroksia ohittavan jännetankoankkuroinnin periaatteita Lighthousessa. (Keskisalo 2018, 4–10.)

Jännetankojen määrä ja sijoittelu jokaisen seinän sisällä suunniteltiin erikseen, käyttämällä kaatavan momentin laskutapaa. Kaatavia momenteja seinään aiheuttaa tuuli ja seinän epäkeskisyys. Omapaino ja tankojen jännitysvoima toimivat seinää stabiloivina voimina, joilla molemmilla on oma momenttivartensa. Jännetangot jaettiin seinän sisälle seinän geometrian keskipisteeseen nähden symmetrisesti. Stabiloivia voimia pystyttiin siirtämään elementtien välillä kulmarautojen avulla. Paljon stabiloivaa voimaa omaavalta vakaammalta seinältä siirrettiin stabiloivia voimia risteävälle seinälle, jolloin risteävältä seinältä voitiin vähentää jännetankoja. Tämä voidaan tehdä, jos vakaamman seinän jännetangon kapasiteettia tai seinän omaa painoa on jäljellä jaettavaksi. Jännitysvoima kaatumista vastaan käyttörajatilassa tarkoittaa jännitystä, joka on jäljellä jännityshäviöiden jälkeen. Tässä kohteessa tankojen jännitysvoima kaatumista vastaan käyttörajatilassa on 170 kN. Murtorajatilan jännitysvoima on sama kuin jännitysvaiheessa ennen jännityshäviöiden syntymistä, joka tässä kohteessa on 216,4 kN. (Keskisalo 2018, 7–8.) Erillistä korroosiosuojausta jännetangoille ei tehdä, koska ne ovat kuivassa ja lämpimässä tilassa (rasitusluokka C1) seinien sisällä, jolloin korroosiota ei tapahdu. CLT-yläpohjan läpivientien tiiveydestä huolehditaan ja jännetangoille tehdään suojamaalaus yläpohjassa, jossa kosteusrasitus on suurempaa. Vetyurtumaa ei pitäisi päästä tapahtumaan tässä kohteessa.



Kuva 60. Ankkurointijärjestelmän suunnittelun periaate Lighthousessa (Keskiö 2018, 15).

Jännetangot ovat yhden kerroksen korkuisia, jotta ne ovat helppoja asentaa ja tarvittaessa ne voidaan vaihtaa jokaisessa kerroksessa. Tangot yhdistetään toisiinsa kerroksittain jatkomutterilla (jatkosmuhvi). Seinät jännitetään tasaisesti läpi seinän, ettei yhdelle reunalle kerry liiallista määrää jännitysvoimaa kerralla verrattuna toiseen reunaan. Tankojen jännitykselle on suunniteltu asennusjärjestys, jotta jännitysvoiman vaikutus etenee tasaisesti, eikä rakenteet pääse kallistumaan yksipuoleisen jännittämisen takia. Asennus aloitetaan rakennuksen keskeltä painovoiman keskipisteestä, josta sitä jatketaan tasaisesti kohti rakennuksen ulkonurkkia. Jännetankoa jännitetään aluksi voimalla, joka on 20 % suunnitellusta jännitysvoimasta, minkä jälkeen tangon pituuden muutos mitataan. Mittauksen jälkeen tanko jännitetään suunniteltuun jättövoimaan asti ja lukitaan ankkurilevyillä ja -mutterilla. (Keskisalo 2018, 9–10.)

7.5 Kohteen paloturvallisuus

Lighthouse Joensuun suunnitteluvaiheessa uudet palomääräykset eivät olleet vielä astuneet voimaan, joten kohde on suunniteltu pääosin toiminnallisen palomitoituksen avulla, mutta siihen on myös osittain sovellettu RakMK E1:n taulukkomääräyksiä. Rakennus kuuluu paloteknisen suunnitelman mukaan P1-paloluokkaan ja kohteen osastointivaatimuksena käytetään yleisesti EI60, lukuun ottamatta seuraavia poikkeuksia:

- Ovet ja luukut EI30
- Väestönsuojan rakenteet EI90 ja ovet EI45
- 1-kerroksen osastoivat rakenteet EI90.

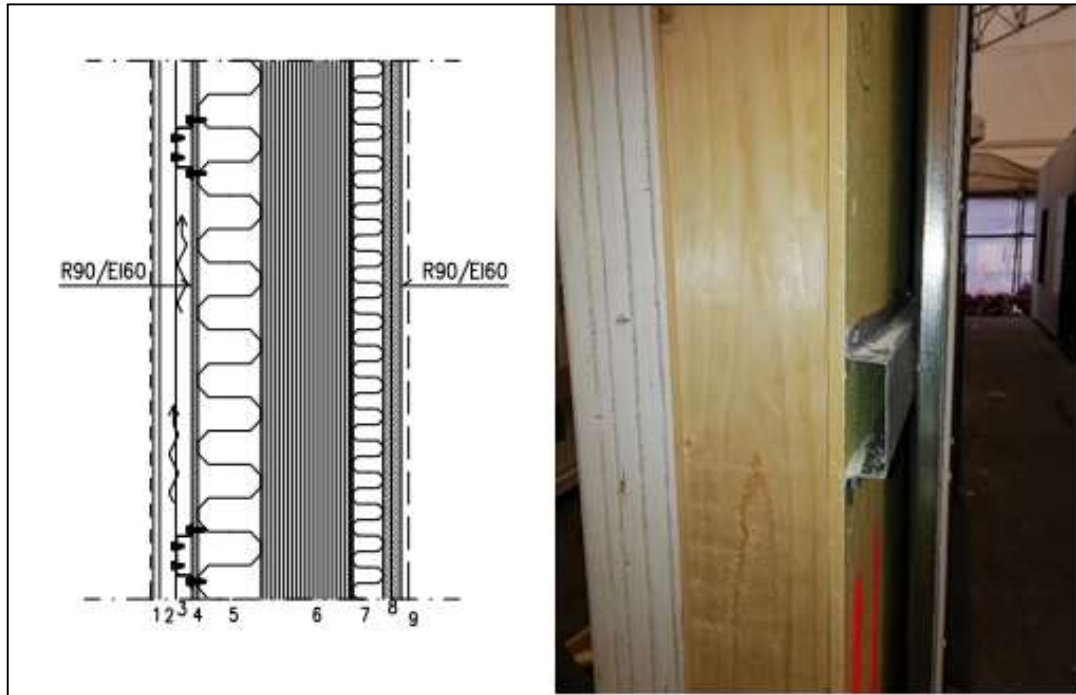
Kantavien rakennusosien luokkavaatimukset ovat kerroksissa yleisesti R90 ja porrassyöksyissä R30. 1-kerroksen irtaimistovarastolle on vaatimuksena R180 ja muilla tiloilla 1-kerroksessa on vaatimuksena R120. Lisäksi pystyhormien rakenteille on vaatimuksena R120. (Salminen, Myllylä & Kauriala 2017, 3–7.)

Rakennuksen sisäpuoliset pinnat (paitsi kantamattomat väliseinät) varustetaan vähintään K₂30-luokan suojaverhouksella, joka on tehty vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista, kun rakenne ei ole tehty vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista. Jos esimerkiksi rakenne ei ole palamatonta materiaalia, kuten betonia, tulee rakenne suojata esimerkiksi kipsilevyllä. (Salminen ym. 2017, 7.)

Kohteen asuntojen sisäseinät ja –katot sekä kantamattomat väliseinät varustetaan B-s1, d0-luokan suojaverhouksella lukuun ottamatta saunaa ja uloskäytävää sekä tuuletusraon sisäpintaa. Saunassa riittää D-s2, d0-luokan pintarakenne, mutta uloskäytävässä ja tuuletusraon sisäpinnassa pitää olla A2-s1, d0-luokan pintarakenne. (Salminen ym. 2017, 8.) Kohteen ulkoseinäelementin tuuletusraon sisäpinta on suunniteltu määräysten mukaisesti (kuva 62). Tuuletusraon sisäpinnassa on 9,5 mm:n Glasroc Storm -tuulensuojalevy (kuva 61). Ristiinkoolaus on hoidettu kuumasinkityllä teräshatturangalla ja julkisivulevytyksenä on Steni Colour -julkisivuverhouslevy.

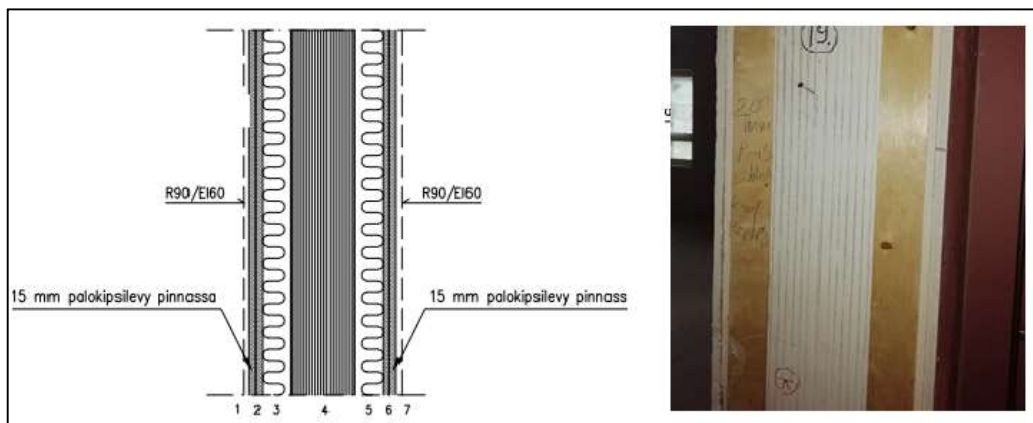


Kuva 61. Vasemmalla kuvassa on kohteen ulkoseinään asennettu Glasroc Storm -tuulensuojalevy ja oikealla on valmiiksi koottu seinäelementti, jossa on Steni Colour -julkisivuverhouslevy paikallaan.



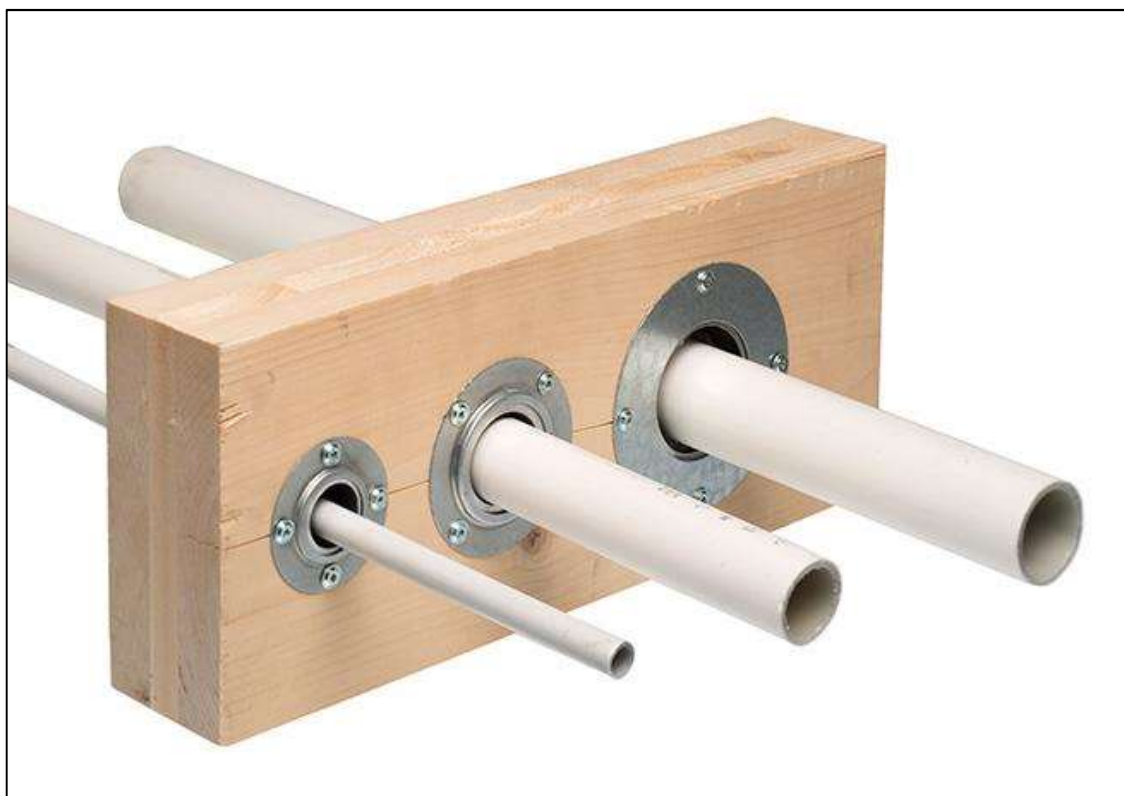
Kuva 62. Kohteen ulkoseinä täyttää palomääräysten asettamat vaatimukset (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018a).

Toiminnallisen palomitoituksen perusteella asunnoissa olisi voinut jättää puupintaa näkyviin. Palomitoituksessa laskettiin kaksi erilaista ratkaisua, joilla rakennus voitaisiin toteuttaa. A-vaihtoehdossa seinät suojataan kahdella 13 mm:n kipsilevyllä ja välipohja yhdellä 13 mm:n kipsilevyllä sekä yhdellä 15 mm:n palokipsilevyllä. Vastaavasti B-vaihtoehdossa sekä seinät että välipohja suojataan kahdella palokipsilevyllä. Näillä suojaustoimenpiteillä molemmissa tapauksissa lattia voi olla kokonaan puupinnalla ja tämän lisäksi näkyvää puupintaa voi jättää vaipan alasta A-vaihtoehdossa 8 % ja B-vaihtoehdossa 20 %. Vaikka puuta saisi jättää pinnoille näkyviin, niin kohteessa ei jää yhtään näkyvää puupintaa. Tämä johtuu osittain ääniteknisistä syistä. Koska puuta ei jää näkyville, käytetään rakenteiden suojaustoimenpiteinä vähintään A-vaihtoehdon suojausratkaisua. Kuvassa 63 on esitetty kohteen huoneistojen välinen seinä. (Salminen ym. 2017, 9.)



Kuva 63. Huoneistojen välisessä seinässä on palokipsilevy pinnassa (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018a).

Läpivientien palokatkot toteutetaan Sewatekin D-sarjan palokatkotuotteilla. Paisuvat aktiiviset palokatkomansetit (kuva 64) asennetaan elementtien reikiin, jotka on tehty valmiiksi tehtaalla. Kyseinen palokatkotuotesarja soveltuu muovi-, komposiitti-, ja metalliputkille sekä siitä voidaan viedä myös kaapeliniiput läpi. D-sarjan palonkestävyysluokka on EI30...EI120 riippuen läpivietävästä tekniikasta ja eristeistä. (Sewatek Oy, 2018.)



Kuva 64. Palokatkomansetti koostuu läpivientiputkesta ja sen päihin asennettavista alumiinimanseteista (Puuinfo Oy 2019b).

Rakennuksen suojaustaso on 3, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että rakennuksessa tulee olla alkusammutuskalusto, joka sijoitetaan ensimmäiseen kerrokseen. Lisäksi koko rakennus varustetaan standardin SFS-EN 12845 mukaisella OH1-luokan automaattisella sammutusjärjestelmällä. B-luokan vesilähteen vaatimus täyttyy, koska vettä on saatavilla kahdesta suunnasta rengasvesijohdon ansiosta. (Salminen ym. 2017, 10–11.)

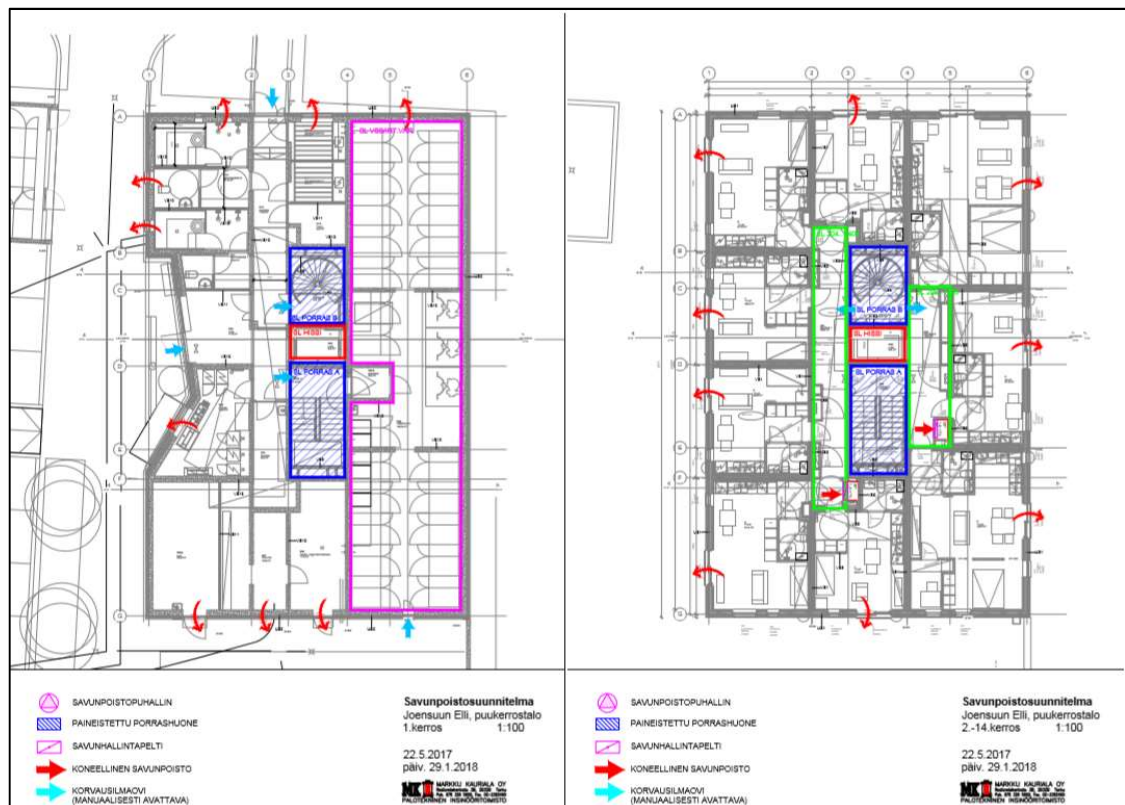
Kohteelle on tehty rakennusaikainen paloturvallisuussuunnitelma, jossa käydään läpi muun muassa ohjeet tulitöiden suorittamisesta ja vaarallisten aineiden säilytykseen liittyvät vaatimukset. Jokaisessa kerroksessa tulee työaikana olla molemmissa käytävissä kaksi käsiammutinta (teholuokka vähintään 27A-144B). Lisäksi tulityökohteissa on oltava erilliset käsiammuttimet. Rakennus myös varustetaan vartiointiliikkeeseen yhteydessä olevilla palovaroittimilla ja savunpoitohoidetaan rakennusaikana hissikuilusta ja asuntojen ikkunoista. Poistumistiejärjestelyt rakennusaikana hoidetaan siten, että toinen porrashuone osastoidaan ja se toimii pääasiallisena uloskäytävänä palotilanteessa. Työmaahissi toimii varatienä ja palotilanteessa on myös mahdollista poistua palokunnan tikasauton avulla. Rakennusaikaiset pelastustiet ja nostopaikat toteutetaan paikallisen pelastusviranomaisen ohjeiden mukaisesti. Rakennusaikaisen paloturvallisuussuunnitelman noudattamisesta työmaalla on vastuussa työmaan vastaava mestari, mutta jokaisen työmaalla työskentelevän henkilön pitää omalta osaltaan huolehtia sen noudattamisesta. (Salminen & Myllylä 2017.)

7.6 Savunpoisto

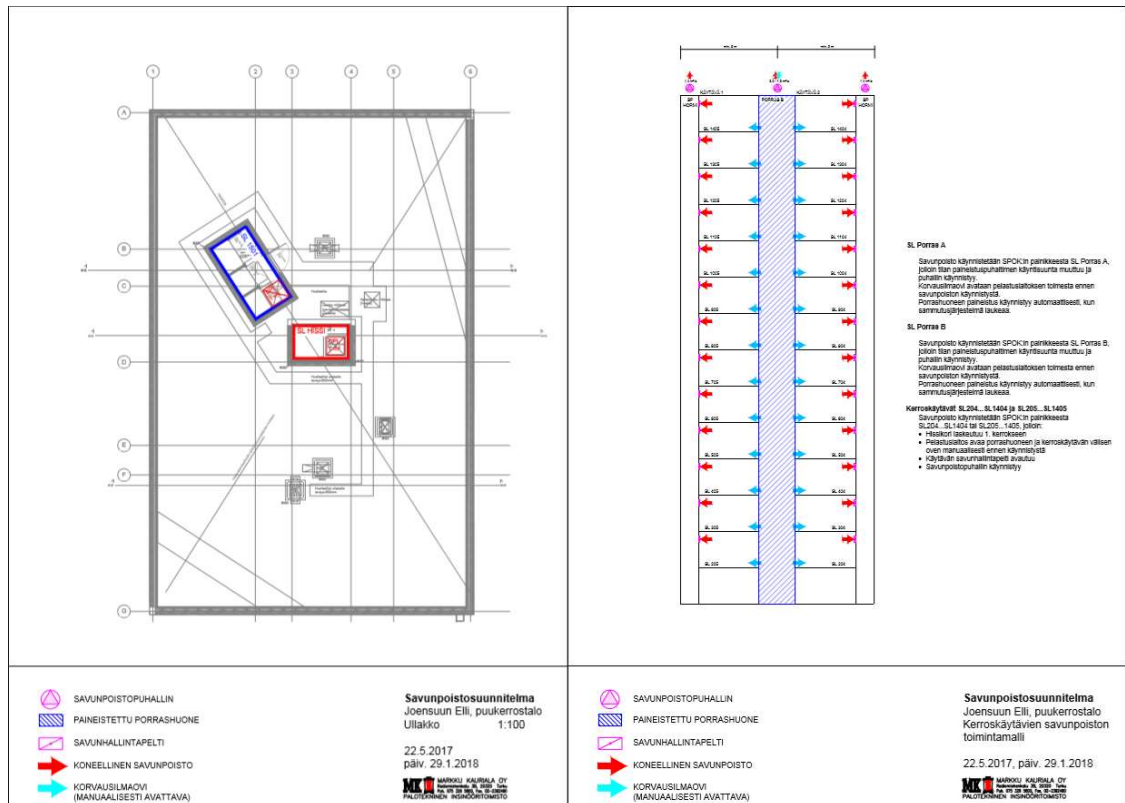
Lighthouse Joensuun savunpoisto toteutetaan painovoimaisesti ja koneellisesti (kuvat 65 ja 66). Kerroskäytävien savunpoisto 2–14 kerroksien välillä toteutetaan rakentamalla poisto- ja korvausilmahormit kerroksien välille. Poistohormit palvelevat useampaa palo-osastoa ja palo-osastojen rajalle asennetaan savunhallintapellit. Korvausilma otetaan toisen porrashuoneen kautta. Porrashuoneiden savunpoisto toteutetaan kaksisuuntaisilla paineistuspuhaltimilla ja muiden tilojen

savunpoisto hoidetaan painovoimaisesti, johon korvausilma saadaan palokunnan toimesta ovista ja ikkunoista. Asuinhuoneistot varustetaan kiintopainikkeilla ovilla ja ikkunoilla. (Markku Kauriala Oy 2018a.)

Kuvasta 65 nähdään myös kohteen poistumistiejärjestelyt. Ne on hoidettu kahdella erillisellä osastoidulla porrashuoneella, joihin on pääsy osastoitujen kerroskäytävien (rajattu vihreällä) kautta. Osastoidut kerroskäytävät toimivat palolta suojatun porrashuoneen savusulkutiloina. Kaikkien asuntojen poistumismatkat ovat alle sallitun maksimipituuden (30m). Rakennuksen henkilömäärä on 143, joten uloskäytävien yhteenlasketun leveyden tulee olla 1600 mm. (Markku Kauriala Oy 2018a.)



Kuva 65. Lighthouse Joensuun savunpoiston periaatekuvat kerroksista 1-14 (Markku Kauriala Oy 2018b).



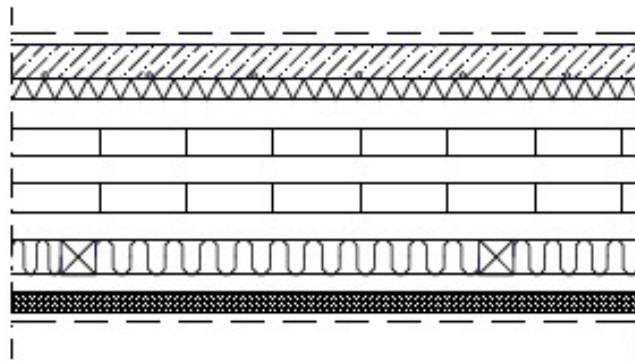
Kuva 66. Lighthouse Joensuun savunpoiston periaatekuvat ullakolta sekä toimintamalli rakennuksen savunpoistosta (Markku Kauriala Oy 2018b; 2018c).

7.7 Ääneneristys

Tässä kohteessa ei käytetä tärinäeristimiä puuliitoksissa, koska niistä tulee ylimääräisiä painumia rakenteisiin, mikä myös hankaloittaa jännetankojen jännityshäviöiden suunnittelua (Keskisalo 2018, 7). Tärinäeristimien puuttumisesta johtuvia askeläänien sivutiertymiä vaimennetaan kantavaan runkoon kiinnitettävällä koolauksen, kivivillan ja kipsilevyjen muodostamalla akustisella sisäkuorella. Sisäkuori toimii jousi-massa-yhdistelmänä, jossa kivivilla toimii ääntä absorboivana materiaalina ja kipsilevyt rakenteen massana. (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018a.)

Välipohjassa on maakosteasta betonista tehty kelluva pintalaatta, joka valetaan askeläänieristeen päälle. Pintalaatan avulla saadaan lisättyä välipohjaan massaa, joka parantaa rakennuksen stabiiliteettia ja välipohjan ääneneristävyttä.

Kelluva pintalaatta erotetaan ympäröivistä seinistä irrotuskaistalla, jolloin vältetään äänisiltojen syntymiseltä. Kantavana rakenteena välipohjissa toimii viisi lamellinen CLT-levy, minkä päälle askeläänieristeet ja pintalaatta rakennetaan. CLT-levyn alapintaan asennetaan 50 mm kivivilla ja puukoolaus, josta kannatellaan akustiset jousirangat ja kaksinkertainen kipsilevytys (kuva 67). Jousirankojen avulla levytyksestä saadaan hyvin joustava, jolloin varsinkin ongelmallisten matalien taajuuksien askeläänien eristävyttä saadaan parannettua huomattavasti (kuva 68). (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018a; 2018e.)

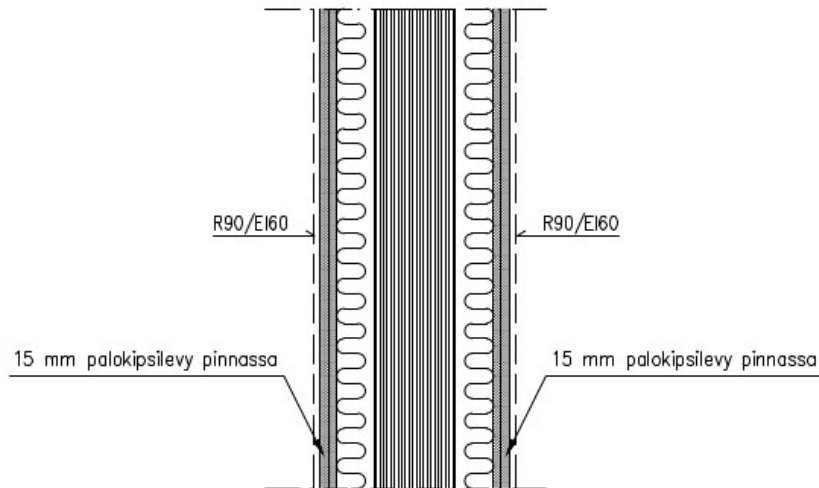


Kuva 67. Välipohja rakenne (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018a).



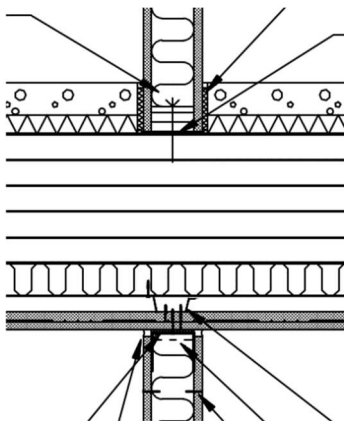
Kuva 68. Jousirangat huoneiston katossa.

Huoneistot erottavissa väliseinissä on kantavana rakenteena LVL-X suurelementti, jonka molemmin puolin rakennetaan akustinen sisäkuori. Koolauksena toimii 66 mm puurangat, joiden välit täytetään 50 mm kivivillalevyillä. Uloimpana kerroksena on kaksi kipsilevyä, joista pinnassa on palokipsilevy (kuva 69). Seinän ylä- ja alareunaliittymissä on tiivistyksenä elastinen palokittaus ja elementtien liitoksissa höyrynsulkuteippaukset. (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018a; 2018e.)



Kuva 69. Huoneistojen välinen seinä (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018a).

Huoneistojen sisäiset ei-kantavat seinät ovat tavanomaisia keveitä väliseiniä. Näiden seinien alajuoksun alle ja yläjuoksun päälle asennetaan polyeteenikaistat ehkäisemään runkoäänien kulkeutumista (kuva 70). Seinän yläjuoksu kiinnitetään katon levytysten alapintaan, jottei se katkaise välipohjan akustista toimivuutta. (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018e.)

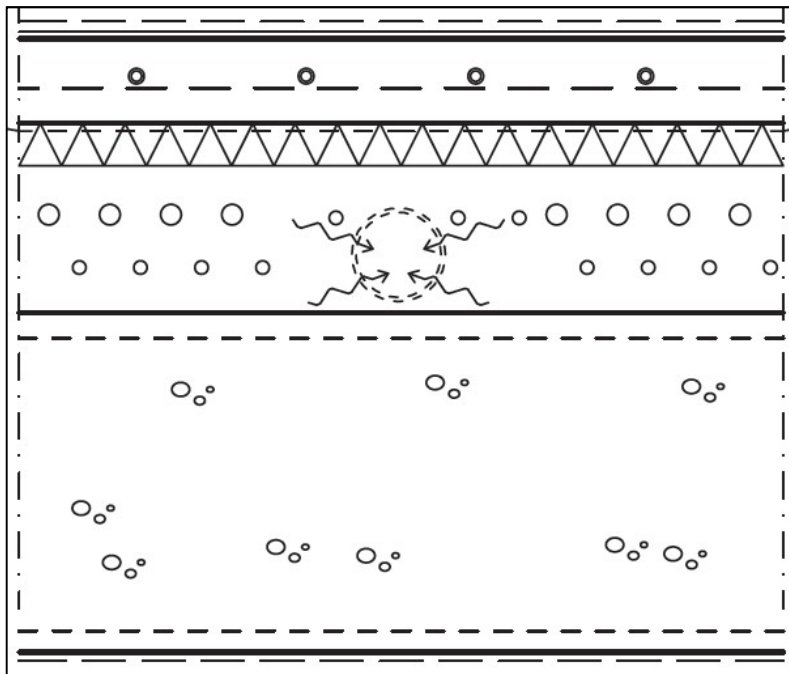


Kuva 70. Kevyen väliseinän liittyminen välipohjaan (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018e)

7.8 Rakennusaikainen kosteudenhallinta

Rakennusaikaista kosteudenhallintaa varten on laadittu kosteudenhallinta suunnitelma, jonka noudattamisesta työmaan vastaava mestari on vastuussa. Suunnitelmassa on käyty läpi tiettyjen rakenteiden ja rakennusvaiheiden oikeanlainen toteutus kosteudenhallinnan kannalta sekä kosteuden mittaus- ja seurantamenetelmät. Suunnitelmassa painotetaan suunnittelijoiden vastuuta omista suunnitteluvirheistään.

Ensimmäisen kerroksen betonirungosta tulee tehdä kosteusmittaukset ennen vesieristystöiden aloittamista. Kevytsoratäytön päälle tehtyjen lattiavalujen (kuva 71) ja CLT-välipohjarakenteiden kuivumista seurataan antureilla. Lisäksi rakennuksen ulkoseiniin asennetaan antureita kosteuden ja lämpötilan mittausta varten. Vinyylilankulla päällystettävät pinnat tasoitetaan matala-alkalisella tasoitteella ja väliseinäelementtien sahatut pinnat on tehdaskäsitelty puunsuoja-aineella (kuva 72), jolla hidastetaan veden imeytymistä rakenteisiin. (Eero Reijonen Oy 2018, 1–5.)



Kuva 71. Lattian pintavalun kuivumista seurataan antureilla (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018a).



Kuva 72. Väliseinäelementtien sahatut pinnat on käsitelty kosteussulkuaineella.

Veden käyttöä rakennuksessa rajoitetaan rakentamisen aikana. Rakennuksessa ei saa säilöä vettä avoimissa astioissa, joten veden käyttöä varten on rakennettu vesilinjasto ja vesipisteitä kerrokseen. Vettä käytettäessä rakenteet on suojattava roiskeilta muovikalvolla.

Sisäilman kosteutta ja lämpötilaa aloitetaan seuraamaan päivittäin heti, kun kohteeseen saadaan lämmöt päälle. Lämpötila pyritään pitämään 18–20 asteessa ja suhteellinen kosteus 35–50 %. Viikon kuluttua lämpöjen päälle laittamisesta aloitetaan kosteusseuranta mittaus betonirakenteista ja mittauksia otetaan jokaisesta rakennetyypistä. Uudet kuivumisaika-arviot tehdään ensimmäisen mittauskierroksen jälkeen ja näiden perusteella tehdään kosteusmittaus suunnitelma ja suunnitelmaan merkitään kosteudenhallintatoimenpiteet. Kosteussuunnitelmasta käy ilmi, milloin kukin rakenne voidaan päällystää. (Eero Reijonen Oy 2018, 6–7.)

Tontilla on Ramirentin suojateltta, jossa varastoidaan työmaalle tulevat seinäelementit ennen nostoja (kuva 73). Teltassa asennetaan ikkunat, ovet, lämmöneriste ja ulkoverhous elementteihin paikoilleen, jotta ne olisivat mahdollisimman valmiita nostovaiheessa ja noston jälkeen ulkoseinien aukkoja tai pintoja ei tarvitse erikseen suojata sateelta. On tärkeää, että työmaa seuraa säätiedotusta ja nostot suunnitellaan sateettomille päiville, jotta kuivaketju ei katkea missään rakentamisen vaiheessa.



Kuva 73. Ulkoseinäelementit kasataan sääsuojateltassa valmiiksi nostoa varten.

Sääsuojateltan käyttö näin korkeassa kerrostalossa olisi tuonut ylimääräisiä haasteita rakentamiseen ja olisi ollut kustannuksiltaan kallis verrattuna väliaikaiseen kattoon. Sääsuojateltan sijaan kohteen rakennusaikainen kosteudenhallinta hoidetaan kahdeksassa eri lohossa olevalla väliaikaisella sääsuojakatolla, jonka käytöstä kohteen rakentajalla on jo aiempaa positiivista kokemusta. Väliaikainen sääsuojakatto nostetaan lohkoissa paikoilleen kerrosten edetessä (kuva 74).



Kuva 74. Kattolohkon nostaminen paikoilleen.

8 Työn tuloksien yhteenveto

8.1 Tutkimuksen tulokset

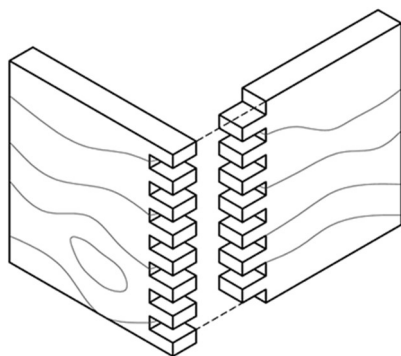
Työn tuloksena saatiin kirjallinen selvitys Lighthouse Joensuu -puukerrostalon rakennetekniikasta ja kuinka niin korkea puukerrostalo on mahdollista rakentaa. Lisäksi työssä on kirjallisella tutkimuksella löydettyä olennaista teoretietoa puukerrostaloista ja niiden rakennetekniikasta. Opinnäytetyö kertoo lukijalleen laajasti puukerrostaloihin liittyvää teoretietoa ja valaisee uudistuneita palo- ja ääneneristysasetuksia, sekä kertoo vähemmän tunnetusta jännetankoankkuroinnista. Lopuksi lukijalle selvitetään, kuinka teoriaosuudessa käsitellyt aiheet on toteutettu

tutkittavassa kohteessa Lighthouse Joensuussa. Mielestämme työn tuloksena saatiin aikaan oppimateriaalia puukerrostaloista, jota voivat hyödyntää niin opiskelijat kuin aiheesta kiinnostuneet ammattilaisetkin.

8.2 Jatkotutkimuksia vaativat osa-alueet

Puukerrostaloista ja varsinkin korkeista sellaisista löytyisi paljonkin aiheita tutkimuksille ja oppimateriaalin tekemiselle. Jatkotutkimusta voisi tehdä ainakin jännetangoista ja niihin mahdollisesti tapahtuvista muutoksista pitkällä aikavälillä. Lisäksi uusia liitosratkaisuja, ääneneristystä ja sääsuojausta tulisi tutkia ja kehittää kustannustehokkaampaan suuntaan.

Tällä hetkellä puukerrostalojen suunnittelusta puuttuu vakioituja ja tutkittuja liitosratkaisuja, jotka olisivat taloudellisesti kannattavia mitoituksen ja työmaa-asennuksen kannalta. Tutkittavia asioita olisivat liitosten kuormankantomekanismit, liitosten jäykkyys- ja lujuusominaisuuksien muuttuminen pitkän ajan kuluessa ja se, miten eri liitokset toimivat kosteusolosuhteen vaihteluissa. Suunnittelutyön tueksi tulisi kehittää tutkimusten pohjalta yhdenmukaisia ja vakioituja detaljeja, liitososia ja suunnittelumenetelmiä. Lisätutkimusta ja kehitystä liitoksiin voitaisiin tehdä myös massiivipuulementtien välisten ns. perinteisten puuliitosten osalta. Voitaisiin tutkia, millaisien liitoksien tekemisen nykypäivän tehtaiden puuntyöstökoneet mahdollistavat ja ovatko ne taloudellisesti järkeviä toteuttaa. Esimerkiksi voitaisiin miettiä, toimiiko seinäelementin alapään ja välipohjalaatan liittymässä kampaliitos (kuva 75), joka ottaisi vastaan rakenteisiin kohdistuvat vaakavoimat. Tästä liitoksesta tulisi tutkia, onko elementtien liitokset liian vaikea asentaa työmaalla ja onko liitosten mittatarkkuuden sovitus mahdotonta puun kosteuselämissen takia. Näillä ratkaisuilla voitaisiin vähentää työmaalla tehtävää kiinnitystyötä ja poistaa mekaanisia liitososia, joita tällä hetkellä puukerrostaloissa tulee valtavia määriä.



Kuva 75. Kampaliitos (Rakennustieto Oy 2019).

Euroopassa tieto terästanko- ja jännetankoankkurointijärjestelmän käytöstä puukerrostaloissa on melko vähäistä tällä hetkellä. Pohjois-Amerikassa näitä järjestelmiä on käytetty seismisesti aktiivisten tai koville tuulille alttiiden alueiden rannakarunkoisissa puutaloissa. Tietämys järjestelmästä on siellä selvästi Eurooppaa edellä. Aiheesta tulisi tehdä lisätutkimusta, testausta ja lisäykset koodistoihin ja määräyksiin. Niiden pohjalta voitaisiin tehdä suomenkielistä ohjeistusta ja oppimateriaalia, sekä järjestää koulutuksia niin oppilaitoksiin kuin myös nykyisille ammattilaisille. Tällä tavoin järjestelmä voisi vakiintua rakennusalalle hyvänä ankkurointimahdollisuutena. Jännitettyjen jännetankojen käyttö ankkuroinnissa vaikuttaa järkevältä ratkaisulta korkeisiin taloihin, joissa tarvitaan paljon stabiloivaa voimaa.

Lisäksi äänen kulkeutumisesta rakenteessa eri liitosratkaisuilla tulisi tehdä lisätutkimuksia, jotta liitosten toimivuudesta ääniteknisesti saataisiin lisää tietoa ja niitä voitaisiin kehittää paremmiksi. Äänien kulkeutuminen kovien liitosten kautta on ongelma puukerrostalossa. Tämän takia saatetaan joutua peittämään esimerkiksi muutoin paljaalle puupinnalle jäävä seinä kipsilevyllä, jotta äänen kulkeutuminen saadaan estettyä asuntojen välillä. Kyseinen toimenpide lisää puukerrostalon kustannuksia huomattavasti.

9 Pohdinta

Puun käyttö korkeissa kerrostaloissa tuo paljon haasteita projektin jokaiselle osapuolelle, mutta erityisesti suunnittelijalle ja urakoitsijalle. Puukerrostalon suunnittelu on vaativampaa kuin vastaavan betonikerrostalon, koska puu ei ole tasalaatuista kuten betoni eikä betonitalo tuota ääni- ja paloteknisesti samalla tavalla haasteita kuin puukerrostalo. Puun haasteet isoissa kohteissa ovatkin rakenteiden mitoituksessa, jäykistyksessä, paloturvallisuudessa ja ääneneristävyydessä. Puukerrostalojen kohdalla puurunko vuorataan yleensä kipsilevyllä sisäpuolelta palo- ja ääniteknisten vaatimusten takia. Uusien ääneneristysvaatimusten myötä puurakenteissa joudutaan huomioimaan enemmän matalia taajuuksia, jotka ovat tyypillisesti puurakenteille ongelmallista aluetta. Puukerrostalon seinien välissä käytetään yleensä tärinäeristysnauhaa, joka vaimentaa äänen kulkeutumista runkoa pitkin huoneistosta toiseen. Kuitenkaan esimerkiksi Lighthouse Joensuussa sitä ei käytetä, koska se aiheuttaisi painumia rungossa ja korkeassa kerrostalossa se kertautuisi hallitsemattoman suureksi. Edellä mainitussa kohteessa käytetään siis kovia liitoksia eli puu puuta vasten, jotta painumat pysyvät kurissa. Tämän seurauksena äänen kulkeutumista on pyritty osittain vaimentamaan kipsilevytyksellä, vaikka palomitoitus olisikin antanut jättää puupinnan näkyviin.

Puu on kevyt materiaali, joten se vaatii ankkuroinnin takia massiivisemmat perustukset kuin samanlainen betonikerrostalo. Yleensä puukerrostalo rakennetaan täysin puusta, lukuun ottamatta alinta kerrosta. Alin kerros tehdään yleensä betonista palomääräysten takia ja myös sen takia, jotta kerrostaloon saadaan lisää massaa. Rakenteiden keveydestä seuraa myös tuulen aiheuttamaa suurempaa huojuntaa kuin vastaavalla betonikerrostalolla. Kerrostalo tulee jäykistää, jotta esimerkiksi huojunta pysyy määräysten sallimissa rajoissa. Mitä korkeammalle rakennetaan, sitä suuremmissa ongelmassa tuulen kanssa ollaan. Jäykistyksen toimivuuden kannalta, seinien sijoittelu rakennuspohjaan oikein, on ensiarvoisen tärkeää. Varsinkin puukerrostalon huonompien jäykkyysominaisuuksien takia seinien symmetrinen sijoittaminen ja voimien jakaminen tasaisesti koko kerrokseen, on jäykistyksen suunnittelussa olennaista. Jotta näissä tavoitteissa

onnistutaan, rakennesuunnittelijan on oltava mukana suunnittelun alusta asti neuvottelemassa seinien sijainneista. Näin toimimalla voitaisiin säästää rakenteiden kustannuksissa huomattavia summia.

Palomääräyksiin tulleiden lievennyksien myötä puulla on yhä paremmat mahdollisuudet kilpailla betonirakentamisen kanssa ja houkutella uusia tekijöitä puurakentamisen pariin. Toki betonirakentamisella on yhä vahva jalansija Suomen rakennusmarkkinoilla, mutta palomääräysten lievennykset ja puun näkyviin jättämisen mahdollisuudet varmasti edesauttavat puurakentamisen alan kasvua. Puu tuskin tulee syrjäyttämään betonia tai ottamaan valta-asemaa runkomateriaalina tulevaisuudessa, mutta sen käyttö tulee varmasti lisääntymään ja monipuolistumaan. Kerrostaloa suunniteltaessa kannattaisi pohtia useammin eri materiaalien käytön yhdistämistä rakennusjärjestelmässä. Oikein suunniteltuna hybridirakenteilla saavutetaan useamman materiaalin hyvien ominaisuuksien summana rakenteellisesti- ja kustannuksellisesti tehokkaampi runkorakenne, kuin yhtä materiaalia käyttämällä paikoissa, joissa sen käyttö on hankalaa ja kallista.

Toiminnallinen palomitoitus saattaa olla joissakin vaativissa tapauksissa järkevä ratkaisu, vaikka taulukkomitoitus olisikin mahdollinen, koska sen avulla saatetaan päästä keveämpiin ja kustannustehokkaampiin rakenneratkaisuihin. Tällä voi olla suurikin vaikutus rakennuksen kokonaiskustannuksiin, jos esimerkiksi kantavat rakenteet voidaankin toteuttaa R60 vaatimuksen mukaan sen sijaan, että rakenteet tehtäisiin R90 mukaan. Tai seinään ei tarvitsekaan laittaa tuplakipsilevytystä vaan yksi kipsilevykerros riittää. Tämä vaatii kokemusta rakennuttajalta ja suunnittelijalta, jotta tietää milloin kannattaa käyttää toiminnallista palomitoitusta, vaikka kohde olisikin mahdollista toteuttaa taulukkomitoituksen avulla.

Lisäksi puurakentamisen yksi tärkeimmistä asioista on kosteudenhallintaprosessin oikeanlainen suunnittelu ja toteutus. Betoni sisältää jo itsessään vettä, joten sille kosteus ei ole niin suuri ongelma kuin puulle. Puu on herkkä kosteuden vaikutuksille etenkin, jos rakenteeseen joutunut kosteus ei tuuletetu kunnolla pois. Tällöin seurauksena voi olla puupinnan homehtuminen ja pahimmassa tapauksessa rakenteen lahoaminen. Toisaalta puun kuivumisen hallinta on tärkeässä roolissa kosteudenhallinnan kannalta, koska puun liian nopea kuivuminen voi aiheuttaa

halkeilua puussa ja etenkin näkyvissä puupinnoissa siitä on esteettistä haittaa. Kosteudenhallinta lisää puukerrostalon kustannuksia, koska puukerrostalotyömaalla tulee huolehtia rakenteiden suojauksesta ja se voi nostaa kustannuksia paljonkin suojaustavasta riippuen. Sääsuojateltan käyttö lisää kustannuksia ja vaatii työmaalogistiikan tarkkaa suunnittelua, mutta voi myös hyvin suunniteltuna tuoda säästöjä ja nopeuttaa rakennusprojektin läpivientiä.

Puurakentaminen on kehittymässä koko ajan eteenpäin ja rakenteiden toteutustavoista sekä toimivuudesta kerätään koko ajan lisää tietoa. Uusia puukerrostaloja seurataan yhä enemmän erilaisilla antureilla ja laitteistoilla, jotta saadaan tietoa eri toteutustapojen vaikutuksista esimerkiksi pitkäaikaiskestävyyteen tai äänen kulkeutumiseen rakenteessa. Esimerkiksi Karelia-amk tutkii Lighthouse Joensuun rungon painumista antureiden avulla rakentamisvaiheessa ja sen jälkeen. Antureiden avulla saatu tieto on tärkeää, jotta rakenteita saadaan tarvittaessa kehitettyä ja parannettua. Etenkin korkeissa puukerrostaloissa painumisen pysyminen tasaisena on tärkeää, koska epätasainen painuminen luo epäkeskisyttä rakenteissa, mikä taas saattaa aiheuttaa rakenteelle ylimääräisen kuormituksen ja rakenteen murtumisen. Lisäksi liian suuret painumat voivat aiheuttaa ongelmia talotekniikassa.

Kuntien ja kaupunkien tulisi kaavoittaa yhä enemmän ja rohkeammin alueita puukerrostaloille, jotta puun käyttö suurissa kohteissa yleistyisi ja laajenisi. Joensuun kaupungin ja Karelia-amk:n pyrkimyksenä on edistää puun käyttöä rakentamisessa Joensuun alueella. Karelia-amk:ssa on meneillään puurakentamiseen liittyviä projekteja ja opinnäytetöitä, joiden avulla pyritään saamaan lisää tietoa puurakentamisesta ja edistämään sen käyttöä suurissa kohteissa. Viime vuosina on alettu kiinnittämään yhä enemmän huomiota rakentamisen ympäristövaikutuksiin ja erityisesti rakennuksen elinkaaren hiilidioksidipäästöihin ja hiilijalanjälkeen. Puulla on tulevaisuudessa hyvät mahdollisuudet kasvattaa osuuttaan suurissa hankkeissa, koska puun hiilijalanjälki on positiivinen eli se sitoo hiilidioksidia itseensä eikä näin ollen rasita ympäristöä kuten esimerkiksi betoni tai teräs.

Tekijöilleen opinnäyte antoi laajan näkemyksen ja opin puukerrostaloihin liittyvästä tiedosta Suomessa ja hieman myös maailman laajemmasta tietotarjonnasta. Oppia tuli myös tiedon etsinnästä ja hankinnasta, sekä kuinka siitä jalostetaan yhtenäinen laaja kirjallinen selvitys, muiden ihmisten opiskelua helpottamaan. Työ antoi taitoa itseopiskeluun tulevaisuudessa eteen tulevien monien uusien asioiden opiskelua varten, etenkin taitoa hyödyntää ulkomaista kirjallisuutta ja tutkimustietoa.

Lighthouse Joensuun ainutlaatuisuus ja haastavuus tekee suunnittelusta erittäin vaativaa, jolloin tarvitaan paljon tarkistuksia ja detaljeja liitoksista. Työn määrä on valtavaa niin suunnittelussa kuin työmaallakin, koska moni asia joudutaan opettelemaan alusta asti, eikä työmaalla eteen tulevia ongelmia pystytä ennustamaan läheskään niin hyvin kuin pidempään käytössä olleissa rakentamistavoissa. Jostain tämäkin pioneerityö on kuitenkin aloitettava, jos halutaan rakentaa ilmastoystävällisempiä kerrostaloja puusta. Lighthouse Joensuu tulee valaisemaan tietä tulevaisuuden korkeille puukerrostaloille.

Lähteet

- Arcadia Oy Arkkitehtitoimisto. 2018. Referenssit/Lighthouse Joensuu. Arcadia Oy Arkkitehtitoimisto. <http://www.arcadia.fi/referenssit/lighthouse>. 10.11.2018.
- Auerniitty, M., OOPEAA office for Peripheral Architecture Oy & Puuinfo Oy. 2019a. Joensuun pihapetäjä. Puuinfo Oy. <http://kuvapakki.puuinfo.fi/file/1559>. 15.2.2019.
- Auerniitty, M., OOPEAA office for Peripheral Architecture Oy & Puuinfo Oy. 2019b. As Oy Jyväskylän Puukuokka. Puuinfo Oy. <http://kuvapakki.puuinfo.fi/file/826>. 15.2.2019.
- A-Insinöörit Suunnittelu Oy. 2018a. Rakennetyypit.
- A-Insinöörit Suunnittelu Oy. 2018b. Rakennejärjestelmäkuvaus.
- A-Insinöörit Suunnittelu Oy. 2018c. Rakennedetaljit.
- A-Insinöörit Suunnittelu Oy. 2018d. Esitysdetaljit.
- A-Insinöörit Suunnittelu Oy. 2018e. Väliseinä liitosdetaalit.
- A-Insinöörit Suunnittelu Oy. 2018f. Paaluantura.
- Bolmsvik, Å. 2013. Structural-acoustic vibrations in wooden assemblies: Experimental modal analysis and finite element modeling. Linnaeus University. School of Engineering. Doctoral dissertation. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:607732/FULLTEXT01.pdf>. 14.1.2019.
- Canadian Wood Council. Brock Commons Tallwood House. Canadian Wood Council. http://wood-works.ca/wp-content/uploads/CS-BrockCommon.Study_23.lr_.pdf. 9.11.2018.
- Finnish Wood Research Oy. 2014. RunkoPES. Finnish Wood Research Oy. <https://www.puuinfo.fi/articles/runkopes>. 13.12.2018.
- Getzner Werkstoffe GmbH. 2019. Sound Control in Timber Construction. <https://www.getzner.com/media/802/download/Brochure%20Sound%20Control%20in%20Timber%20Construction%20EN.pdf?v=2>. 14.1.2019.
- Heilä, S. 2018. Joensuuhun Suomen korkein puukerrostalo. Rakennusinsinööri ja -arkkitehti -lehti, 1/2018, Rakennusinsinöörit ja -arkkitehdit RIA ry. <https://www.lukusali.fi/index.html?p=Rakennusinsin%C3%B6%C3%B6rit%20ja%20-arkkitehdit%20RIA%20ry&i=61bfe684-186c-11e8-a8f5-00155d64030a>. 15.1.2019.
- Ho, T., Dao, T., Aaleti, S., van de Lindt, J.W. & Rammer, D.R. 2016. Hybrid System of Unbounded Post-Tensioned CLT Panels and Light-Frame Wood Shear Walls. Journal of Structural Engineering. https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2016/fpl_2016_ho001.pdf. 13.1.2019.
- Karelia-ammattikorkeakoulu. 2018. Joensuu Light House – tutkimushanke. Karelia-ammattikorkeakoulu. <https://www.karelia.fi/puurakentaminen/2018/08/15/joensuu-light-house-tutkimushanke-kaynnistyi/>. 19.8.2018.
- Keskisalo, M. 2018. Use of tension rods in wood construction- 14 storeys- with laminated veneer lumber as shear walls: Lighthouse Joensuu. International Holzbau-forum IHF 2018. Tiivistelmä esityksestä. Tiivistelmä tullaan julkaisemaan osoitteessa: <http://www.forumholzbau.com/>.

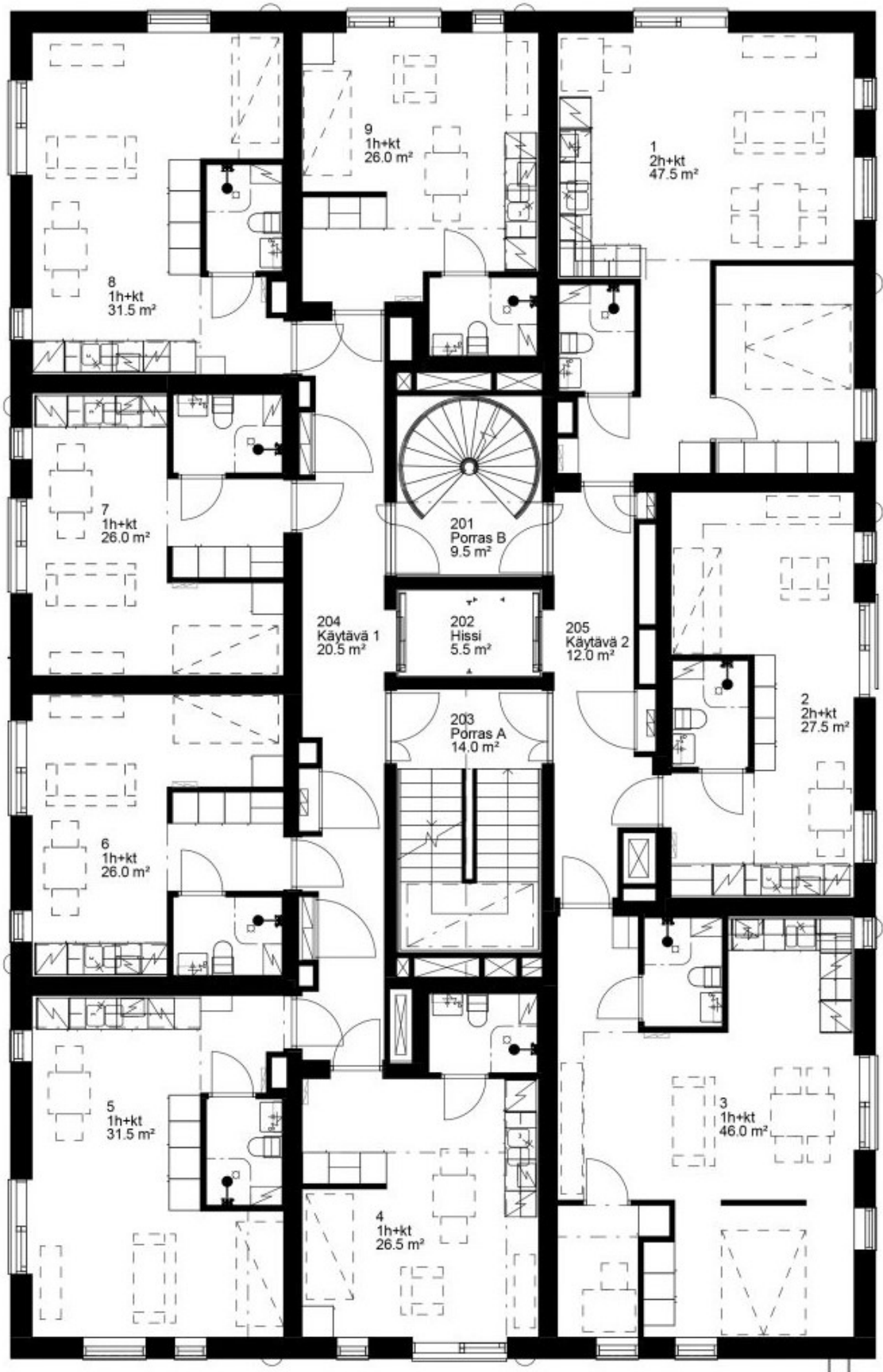
- Kimmo, K. 2019. Mikä ihmeen hiilinielu. Metsä Group. <https://www.metsagroup.com/fi/Media/Pages/Mika-ihmeen-hiilinielu.aspx#>. 25.1.2019.
- Kryssi, E. 2013. Puukerrostalo. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21966/Kryssi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 13.12.2018.
- Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos. Tutkimusraportti; Painos 137. [https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/talonrakentamisen-akustiikka\(471f1108-ba98-4e6f-89af-7b91f3c1c527\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/talonrakentamisen-akustiikka(471f1108-ba98-4e6f-89af-7b91f3c1c527).html). 13.12.2018.
- Kylliäinen, M. 2018. Ääniympäristöä koskevat määräykset käyttäjälähtöisiksi. Asetus rakennusten ääniympäristöstä-mikä muuttuu. <https://www.ains.fi/blogit/aaniymparistoa-koskevat-maaraykset-kayttajalahtoisiksi/>. 14.12.2018.
- Lahtela, T. & Puuinfo Oy. 2017. Levyjäykistys puukerrostalossa. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2017. Materiaali. Puuinfo Oy.
- Lahtela, T. 2018a. Paloturvallinen puutalo, Asuin- ja toimitilarakentaminen. Helsinki: Puuinfo Oy.
- Lahtela, T. 2018b. Paloturvallinen puutalo, Asuin- ja toimitilarakentaminen. Puuinfo Oy. <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Paloturvallinen%20puutalo%20Asuin-%20ja%20toimitilarakentaminen%20web.pdf>. 9.11.2018.
- Lane, T. 2012. Designing a dancefloor: Ramboll's new moves. Building. <https://www.building.co.uk/designing-a-dancefloor-rambolls-new-moves/5033378.article>. 14.1.2019.
- Lepikonmäki, L. 2014. Puukerrostalon jäykistysratkaisut käytännössä. Esitys puupäivillä. <http://2014.puupaiva.com/sites/default/files/Puukerrostalojen%20j%C3%A4ykistysratkaisut%20k%C3%A4yt%C3%A4nn%C3%B6ss%C3%A4.pdf>. 11.12.2018.
- Malo, K.A., Abrahamsen, R.B. & Bjertnaes, M.A. 2016. Some structural design issues of the 14-storey timber framed building "Treet" in Norway. European Journal of Wood and Wood Products. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00107-016-1022-5.pdf>. 20.10.2018.
- Mayo, J. 2015. Solid Wood: Case Studies in Mass Timber Architecture, Technology and Design. Abingdon: Routledge.
- Nelson, R.F., Patel, S.T. & Arevalo, R. 2002. Continuous Tie-Down System for Wood Panel Shear Walls in Multi Story Structures. Structure magazine. <https://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2014/10/Continuous-Tie-down1.pdf>. 8.1.2019.
- Palotekninen insinööritoimisto Markku Kauriala Oy. 2018a. Savunpoistosuunnitelma.
- Palotekninen insinööritoimisto Markku Kauriala Oy. 2018b. Savunpoistosuunnitelma, liitetiedostot.
- Palotekninen insinööritoimisto Markku Kauriala Oy. 2018c. Savunpoistosuunnitelma, toimintamalli.

- Pearson, A. 2016. Dalston Lane: Tall Timber. Building. <https://www.building.co.uk/technical-case-studies/dalston-lane-tall-timber/5079749.article>. 21.10.2018.
- Poikajärvi, M. 2017. Puurakentamisen uusia aikoja – hybridirakenteet. Lumen-lehti, 1/2017, Lapin ammattikorkeakoulu. http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/125429/Poikajarvi%20Miika%20Lumen-lehti%201_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 14.1.2019.
- Puuinfo Oy. 2011a. Puukerrostalo – palomääräykset 2011. Puuinfo Oy. <https://www.puuinfo.fi/rakentamism%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset/puukerrostalo-palom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset-2011>. 28.9.2018.
- Puuinfo Oy. 2011b. Puujulkisivun palokatko. Puuinfo Oy. <http://www.segrateproduce.it/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puujulkisivun-palokatko/puujulkisivun-palokatko-188.pdf>. 10.11.2018.
- Puuinfo Oy. 2014. Automaattiset sammutusjärjestelmät. Puuinfo Oy. <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/moduuli-6/122automaattisetsammutusjarjestelmat.pdf>. 11.11.2018.
- Puuinfo Oy. 2018a. Viilupuu (LVL). Puuinfo Oy. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/insin%C3%B6%C3%B6ripuutuotteet/viilupuu-lvl>. 9.11.2018.
- Puuinfo Oy. 2018b. Puukerrostalon rakenteet. Puuinfo Oy. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakenteet/puukerrostalon-suunnittelu/puukerrostalon-rakenteet>. 12.1.2019.
- Puuinfo Oy. 2018c. Yleisimmät rakennejärjestelmät. Puuinfo Oy. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puusta-rakentamisen/yleisimm%C3%A4t-rakennej%C3%A4rjestelm%C3%A4t>. 12.1.2019.
- Puuinfo Oy. 2019a. CrossLam Kuhmon CLT (Cross-laminated timber). Puuinfo Oy. <https://www.puuinfo.fi/tuote/crosslam-kuhmon-clt-cross-laminated-timber>. 15.2.2019.
- Puuinfo Oy. 2019b. SEWATEK-läpiviennit. Puuinfo Oy. <https://www.puuinfo.fi/tuote/sewatek-lapiviennit>. 15.2.2019.
- Puutuoteteollisuus ry. 2019. Puutuoteteollisuuden toimialat. Puutuoteteollisuus ry. <http://puutuoteteollisuus.fi/toimialat/>. 23.1.2019.
- Päivinen, S. 2016. Opiskelijoiden puukerrostalosta tulossa Joensuulle uusi maamerkki. Yle. <https://yle.fi/uutiset/3-8804078>. 19.8.2018.
- Rakennuslehti. 2013. Riskialttiita jänneteräsrakenteita on tutkimatta useita kymmeniä. RIL, RIA, RKL ja Rakennusteollisuus RT. <https://www.rakennuslehti.fi/2013/12/riskialttiita-janneterasrakenteita-on-tutkimatta-useita-kymmenia/>. 15.1.2019.
- Rakennus- ja ympäristölautakunta. 2017. Rakennuslupapäätös.
- Rakennustieto Oy. 2019. Kampaliitos. Rakennustieto Oy. <https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/5odusk7lq%3A%2447%24610023%2495%2418%2495%24e%2446%24gif>. 16.1.2019.
- Rakennustoimisto Eero Reijonen Oy. 2018. Kosteudenhallintasuunnitelma, Penttilänkulma 2.
- RALA ry. 2018. Kuivaketju10. RALA ry. <http://kuivaketju10.fi/>. 11.8.2018.
- Ramirent Oy. 2018. Telineet ja sääsuojaus. Ramirent Oy. http://www.ramirent.fi/files/attachments/ramirent_fi/tuote-esitteet/saasuojat_ja_telineet/telineet_ja_saasuojaus.pdf. 18.8.2018.

- RIL 244-2007 Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta. 2007. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Rotho Blaas srl. 2017. X-RAD. Rotho Blaas srl. <https://issuu.com/rothoblaas/docs/x-rad-en?e=18207635/31724874>. 18.1.2019.
- Salminen, M. & Myllylä, P. 2017. Rakennusaikainen paloturvallisuussuunnitelma. Palotekninen insinööritoimisto Markku Kauriala Oy.
- Salminen, M. & Myllylä, P. & Kauriala, M. 2017. Palotekninen suunnitelma. Tampere. Palotekninen insinööritoimisto Markku Kauriala Oy.
- Savolainen, V. 2017. Kustannusvertailu puuelementtirakentamisessa käytettyjen sääsuojiin ja nostureiden välillä. Oulun ammattikorkeakoulu. Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/133944/Savolainen%20valtteri.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 18.8.2018.
- Scottish Government. 2017. Building Standards Technical Handbook 2017: domestic buildings. Julkaisu. <https://www.gov.scot/binaries/content/documents/govscot/publications/advice-and-guidance/2017/01/building-standards-2017-domestic/documents/building-standards-technical-handbook-2017-domestic/building-standards-technical-handbook-2017-domestic/govscot%3Adocument>. 15.1.2019.
- Sewatek Oy. 2018. D-sarja puurakenteessa. Sewatek Oy. <http://sewatek.fi/tuote/d-puurakenne>. 26.12.2018.
- SHERPA Connection Systems GmbH. 2013. SHERPA Manual. http://en.sherpa-connector.com/dl/SHERPA_Manual_EN.pdf. 9.11.2018.
- SHERPA Connection Systems GmbH. 2018. CLT Connector. http://en.sherpa-connector.com/dl/092018_CLT%20und%20Schallschutz_6-Seiter_EN_Einzelseiten_web.pdf. 9.11.2018.
- Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Siikanen, U. 2016. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Simpson Strong-Tie Company Inc. 2018. Strong-Rod Systems Seismic and Wind Restraint Systems Guide. Simpson Strong-Tie Company Inc. <https://embed.widencdn.net/pdf/plus/ssttoolbox/atdzh0nul8/F-L-SRS18.pdf>. 16.1.2019.
- Sisäasiainministeriön asetus 239/2009 palovaroittimen sijoittamisesta ja kunnossapidosta. Sisäasiainministeriö. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090239>. 5.7.2018.
- Stora Enso Oyj. 2013. CLT-massiivipuorakentaminen. Stora Enso Oyj. <http://www.clt.info/fi/tuote/clt-massiivipuorakentaminen/>. 9.11.2018.
- Stora Enso Oyj. 2018. Wonder of wood – Pushing beyond wood’s perceived boundaries. Stora Enso Oyj. <https://www.storaenso.com/en/products/wood-products/massive-wood-construction/lvl>. 9.11.2018.
- Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2017. Puurakentaminen Euroopassa. Verkkojulkaisu. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2017/T297.pdf>. 25.1.2019.
- Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T. & Viljakainen, M. 2013. Suomalainen puukerrostalo – Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Opetushallitus.
- University of Cambridge. 2002. Strength - Density. http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/strength-density/NS6Chart.html. 26.1.2019.

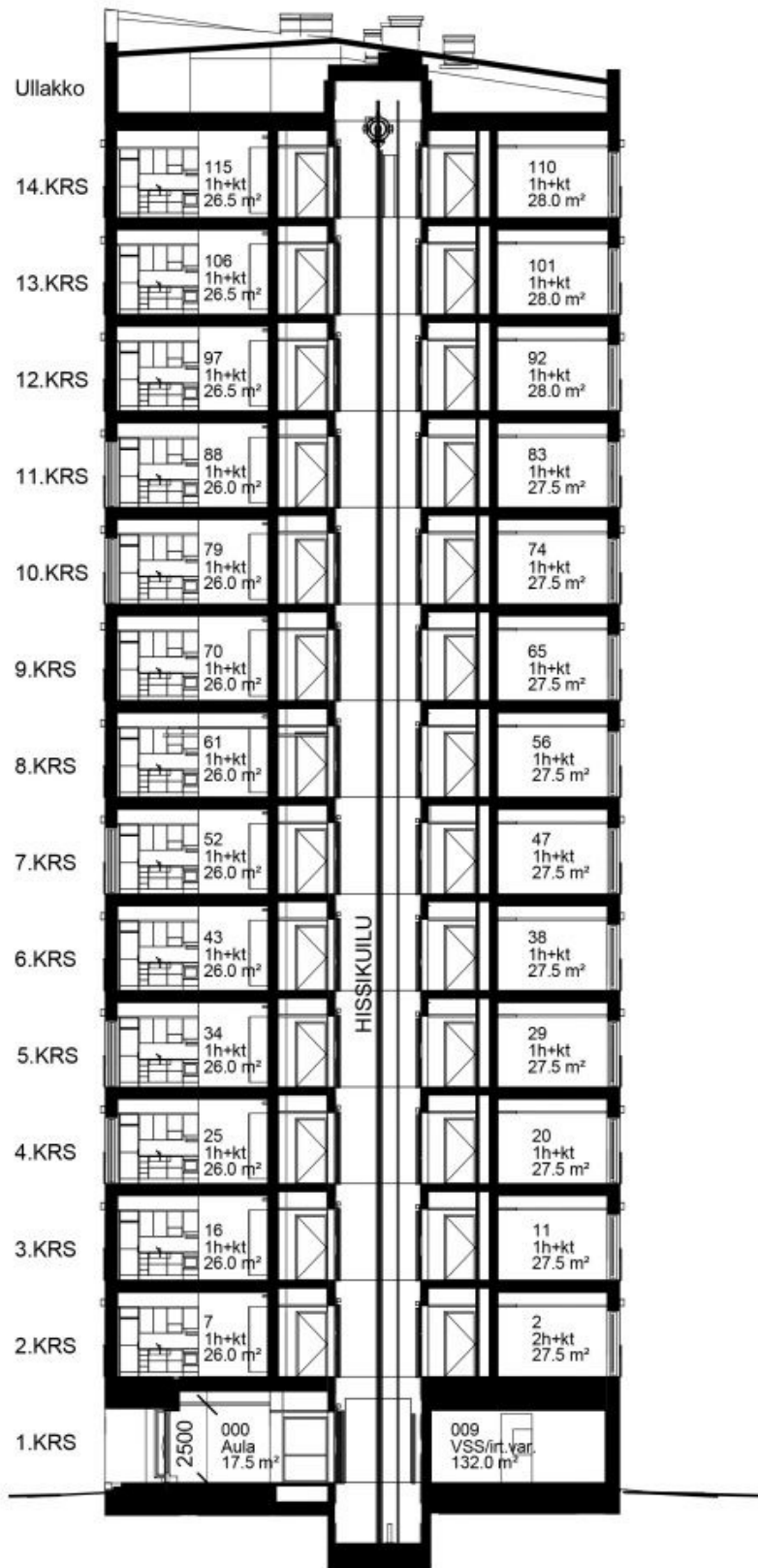
- Viljakainen, M. & Puuinfo Oy. 2017. Nopeasti, laadukkaasti ja terveellisesti – puun tarjoamat mahdollisuudet julkisissa rakennushankkeissa. Puutuoteteollisuus. <http://puutuoteteollisuus.fi/wp/wp-content/uploads/2017/02/Nopeasti-laadukkaasti-ja-terveellisesti-%E2%80%93-puun-tarjoamat-mahdollisuudet-julkisissa-rakennushankkeissa.pdf>. 9.11.2018.
- Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä. Ympäristöministeriö. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>. 14.12.2018.
- Ympäristöministeriön asetus 848/2017 rakennusten paloturvallisuudesta. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B66288BFB-A697-4FCB-B602-CE0316F2C37B%7D/134002>. 14.7.2018.
- Ympäristöministeriö. 2017. Perustelumuiotio ympäristöministeriön asetukseen 848/2017 rakennusten paloturvallisuudesta. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B68F439B3-9D6E-44C4-8618-34FE9387FCE8%7D/132701>. 15.7.2018.
- Ympäristöministeriö. 2018. Suomalainen puukerrostalohankekanta. Ympäristöministeriö. <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puukerrostalohankekanta%2C%20p%C3%A4ivitetty%2011-2018.pdf>. 5.11.2018.
- Ympäristöministeriö. 2019. Puurakentamisen ohjelma. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/puurakentaminen>. 23.1.2019.

Lighthouse Joensuun pohjapiirustus



Lähde: Arcadia Oy Arkkitehtitoimisto

Lighthouse Joensuu leikkauspiirustus



0 1 2 3 4 5

Lähde: Arcadia Oy Arkkitehtitoimisto

Lighthouse Joensuun julkisivupiirustus

