



SAVONIA



KORKEAN MASSIIVIPUUKERROSTALON R120 LIITOKSEN SUUNNITTELU JA PALOSUOJAUS

TEKIJÄ/T: Emma Mustonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Emma Mustonen	
Työn nimi Korkean massiivipuukerrostalon R 120 liitoksen suunnittelu ja palosuojaus	
Päiväys	31.5.2017
Sivumäärä/Liitteet	47
Ohjaaja(t) Arto Puurula, Rakennetekniikan yliopettaja, TKT, Matti Mikkonen, diplomi-insinööri, lehtori	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Toni Kekki, A-Insinöörit Suunnittelu Oy (Kuopio)	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Suomi on tunnettu tuhansista järivistä ja metsäisistä erämaista. Metsä on pitkään ollut varallisuutemme perusta. Paperi on tunnetuin puusta jalostettu tuote. Puuteollisuuden rakennemuutos on pakottanut miettimään puulle uusia käyttötarkoituksia. Monien pientalojen kantava runko on usein tehty puusta, mutta kerrostalojen pääasiallinen runkomateriaali on betoni. Ensimmäiset puurunkoiset kerrostalot rakennettiin 1990-luvulla. Puukerrostalot alkoivat yleistyä 2000-luvun puolivälissä. Tiukentuvat energiavaatimukset ja kiihtynyt ilmastonmuutos pakottivat miettimään vaihtoehtoisia materiaaleja betonille. Puurakentamisen kehittymistä on tuettu viime vuosina monin tavoin. Rakennusmääräysten muutoksella on pyritty helpottamaan puurakentamista. Suomen rakentamismääräyskokoelma uudistuu kokonaisuudessaan tämän vuoden loppuun mennessä. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää millainen on puukerrostalo. Työn tavoitteena oli myös suunnitella ja mitoittaa CLT -tilaelementin kantavaan väliseinään mekaaninen puuliitos, joka kantaa palotilanteessa 120 minuuttia. Liitokselle mietittiin myös palosuojausta.</p> <p>Työ toteutettiin kirjallisuustutkielmana. Opinnäytetyössä kerrotaan puukerrostalojen runkojärjestelmistä, mekaanisista puuliitoksista, muuttuvista palomääräyksistä, toiminnallisesta palosuunnittelusta ja palosuojauksesta. Työ tehtiin yhteistyössä A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n kanssa. Liitossuunnittelun lähtötiedot saatiin A-Insinööreillä suunnittelussa olevasta puukerrostalosta. Tässä opinnäytetyössä mitoitettiin liitoksen liimaruuviliitos ja tappivaarna-liitos sekä mietittiin puuliitokselle palosuojausta.</p> <p>Opinnäytteestä saa käsityksen millainen on puukerrostalo. Työstä saa tietoa puurakentamisesta, mekaanisista puuliitoksista, palosuojauksesta ja palomääräyksistä. Tappivaarna- ja liimaruuviliitossuunnitelmia ja -laskelmia tullaan käyttämään mekaanisten puuliitosten suunnittelussa ja mitoituksessa tulevilla työtehtävissä.</p>	
Avainsanat Puukerrostalo, mekaaniset puuliitokset, CLT, LVL, palosuojaus, palomääräykset	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Emma Mustonen			
Title of Thesis Design, Dimensioning and Fire Retardant Treatment of the Timber Joint of a High Timber-framed Block of Flats			
Date	31 May, 2017	Pages/Appendices	47
Supervisor(s) Mr Arto Puurula, Principal Lecturer in Structural Engineering, PhD, Mr Matti Mikkonen, M.Sc.			
Client Organisation /Partners Mr Toni Kekki, A-Insinöörit Suunnittelu Oy (Kuopio)			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of the final year project was to find out what actually is a timber-framed block of flats. Another aim of the project was to design and dimension a mechanical timber joint which is located in the load-bearing partition wall of the building block module. Fire retardant treatment for this joint was planned as well. The work was done in cooperation with A-Insinöörit Suunnittelu Oy. A building that the company currently has under construction was used as a starting point for planning.</p> <p>The project was carried out as a literature research on timber block of flats. The thesis described the frame system of block of flats, mechanical timber joints, the fire building codes, functional fire engineering and fire retardant treatments. The mechanical timber joint was dimensioned as a glued screw joint and peg dowelling joint. The fire protection of a mechanical timber joint was also discussed.</p> <p>The thesis gives a picture of timber-framed block of flats. The information gathered can benefit in future assignments in working life.</p>			
<p>Keywords timber-framed block of flats, mechanical timber joint, CLT, LVL, fire retardant treatment, The Fire Building Code of Finland</p>			

ESIPUHE

Opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n kanssa. Opinnäytetyö on kirjallisuustutkimus puukerrostalosta, minkä lisäksi suunnitellaan CLT -tilaelementin kantavaan väliseinään mekaaninen puuliitos. Liitossuunnittelun lähtötiedot on saatu toimeksiantajalta suunnitteilla olevaan puukerrostaloon. Osa tästä opinnäytetyöstä on salattua tietoa. Salattua aineistoa ovat liimaruuvi ja tappivaarnalaskelmat. Tämä opinnäyte on tiivistetty kokonaisuus varsinaisesta opinnäytetyöstä. Työ sisältää tietoa puukerrostalosta, mekaanisista puuliitoksista, muuttuvista palomääräyksistä, toiminnallisesta palosuunnittelusta ja palosuojauksesta.

Kuopiossa 31.05.2017

Emma Mustonen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	PUUKERROSTALO.....	7
2.1	Kantavat seinät -runkojärjestelmä.....	8
2.2	Pilari-palkkirunkojärjestelmä	9
2.3	Tilaelementti.....	10
3	CLT	12
4	LVL ELI VIILUPUU (LAMINATED VENEER LUMBER).....	14
5	MEKAANISET PUULIITOKSET	15
5.1	Ruuviliitokset	16
5.2	Pulttiliitokset.....	16
5.3	Liimaruuviliitokset	18
5.4	Tappivaarnaliitos.....	19
5.5	CLT-elementtien väliset liitokset.....	20
5.6	Tilaelementtien liitokset.....	21
6	PALOMÄÄRÄYKSET, SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA, OSA E1	22
7	TOIMINNALLINEN PALOTEKNINEN SUUNNITTELU	24
8	PALOSUOJAUS	25
9	POHDINTA.....	30
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	31

1 JOHDANTO

Suomi on metsäinen maa. Puulla ja puuteollisuudella on suuri vaikutus kansantaloudellemme. Puusta on jo pitkään jalostettu monenlaisia tuotteita. Puuteollisuuden rakennemuutoksen seurauksena puulle on pitänyt etsiä uusia käyttömahdollisuuksia. Rakentamisessa puuta on enimmäkseen käytetty pientalojen kantavissa rakenteissa ja näkyvinä verhoilupintoina. Kerrostaloista yhä edelleen suurin osa rakennetaan betonirukoisina. Ilmastonmuutos ja tiukentuvat energiavaatimukset ovat kuitenkin pakottaneet miettimään betonille vaihtoehtoisia rakennusmateriaaleja. Ensimmäisiä puurunkoisia kerrostaloja rakennettiin koemielessä jo 1990-luvulla, yleistymään ne ovat alkaneet kuitenkin vasta 2000-luvun puolivälin jälkeen. Betonin etumatka on vielä suuri, mutta etumatkaa on saatu kiinni monenlaisilla kehityshankkeilla. Puurakentamista rajoittavia tiukkoja rakennusmääräyksiä on muutettu puurakentamista helpottavampaan suuntaan.

Suomen rakennusmääräykset muuttuvat vuoden 2018 alussa. Toiminnallisen palomitoituksen ja rakennusmääräysten muutosten perusteella puukerrostaloihin voidaan rakentaa yli kahdeksan kerrostaloa. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää millainen on suomalainen puukerrostalo. Työssä käsitellään puukerrostalon runkojärjestelmiä, puuliitoksia, palomääräyksiä, toiminnallista palomitoitusta ja palosuojasta. Työssä suunnitellaan ja mitoitetaan massiivipuurunkoisen kerrostaloon mekaaninen puuliitos ja pohditaan liitokselle palosuojasta. Liitossuunnittelun lähtökohtana on CLT -tilaelementtirakenteinen kaksitoista kerroksinen puukerrostalo.

Opinnäytetyön aiheen valintaa vaikutti oma mielenkiinto puurakentamiseen ja puurakentamisen ajankohtaisuus. Työ toteutetaan yhteistyössä A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n kanssa. Opinnäytetyö on kirjallisuustutkimus, minkä lisäksi suunnitellaan CLT -tilaelementin kantavaan väliseinään mekaaninen puuliitos. Mekaaniseen liitokseen mitoitetaan tappivaarna ja liimaruuviliitos ja mietitään liitokselle palosuojasta.

2 PUUKERROSTALO

Puukerrostalossa suurin osa kantavista rakenteista on puuta. Rakennuksessa on ainakin kaksi puista kerrosta ja kerroksissa kaksi erillistä asuntoa tai työtilaa. Puukerrostalossa kantavat rakenteet voi olla verhoiltu puulla tai muilla rakennusmateriaaleilla. Rakennusmääräysten muuttuessa puukerrostaloissa voi tietyin reunaehdoin olla enemmän näkyviä puupintoja. Puukerrostalot ovat pitkäikäisiä, sillä puurakenteet verhoillaan samoilla rakennusmateriaaleilla, kun muutkin rakennukset. Puurakennuksen suunnittelussa ja rakentamisessa on erityisesti kiinnitettävä huomiota rakenteiden ja rungon palosuojaukseen. Puulla on positiiviset vaikutukset rakennuksen sisäilmastoon. Puu tasaa rakennuksen kosteuden vaihtelua, joka koetaan parantavan puukerrostalojen sisäilman laatua. Sisäilma koetaan tällöin miellyttävämmäksi, jolloin ilmanvaihdon tarve pienenee ja energian kulutus vähenee. (Puuinfo.fi I; Jantunen 2016, 1.)

Puukerrostalon rakenteiden monikerroksisuus antaa rakennukselle hyvän ilmastueristyksen. Paloturvallisesti rakennetut ilmatiiviit rakenteet ja kerrokselliset puurakenteet toimivat hyvinä ääneneristeinä. Korkeat äänet ja runkoäänet eivät juuri kuulu, mutta puurunkoisissa rakennuksissa voi esiintyä matalia askelääniä. Äänien kulkeutumisesta asunnosta toiseen estetään rakentamalla rakenteet erilleen toisistaan ja käyttämällä värinän johtamisen estäviä vaimentimia kantavien rakenteiden saumoissa. Askeläänistä johtuvien värähtelyiden poistamiseksi välipohjan kantavat rakenteen ylimitetään ja välipohjan massaa kasvatetaan esimerkiksi pintabetonilla. (Puuinfo.fi I.)

Energiätehokkuusvaatimuksiltaan puukerrostalo on samalla tasolla muiden vastaavienlaisten kerrostalojen kanssa. Rakennuksen käyttökustannuksissa ei ole eroja, mutta asukkaiden omat asumistotumukset vaikuttavat asumiskustannusten suuruuteen. Nykyisin entistä enemmän kiinnitetään huomioita rakentamiseen ja rakennusmateriaalien valmistukseen kuluvaan energiankulutukseen ja niiden ympäristövaikutuksiin. Luonnonvarojen ja energiankulutus sekä hiilidioksidipäästöt ovat puukerrostalorakentamisessa tavanomaisia rakennuksia pienemmät. Oikein hoidetuista metsistä saadaan rakentamiseen loputtomasti raaka-ainetta. Metsähakkuilla edistetään puiden uusiutumista. Kasvava puu sitoo itseensä hiilidioksidia, joka säilyy puussa koko sen elinkaaren ajan. Puisten rakennustuotteiden valmistaminen kuluttaa vähemmän energiaa ja luonnonvaroja. Osa puun jatkojalosteista tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa sitä. Elinkaareen päätteeksi puutuotteet voidaan polttaa, jolloin niistä ei synny ongelmajätettä. Palon aikana vapautunut hiilidioksidi on sitoutunut puuhun jo sen kasvun aikana. (Puuinfo.fi d; Puuinfo.fi I.)

Puukerrostalot tehdään yleensä pitkälle teollisesti esivalmistetuista ja säältä suojassa rakennetuilla menetelmillä. Puurakentamiseen on kehitetty avoin teollinen puuelementtistandardi RunkoPES, jonka mukaan suunnitellut järjestelmät ovat keskenään yhteensopivia. Kustannuksiltaan puukerrostalo on kilpailukykyinen. Kustannussäästöjä tuo puurakentamisen nopeus. Puukerrostalon työmaavaihe voi olla nopeimmillaan vain muutaman kuukauden mittainen. (Puuinfo.fi I.)

2.1 Kantavat seinät -runkojärjestelmä

Kantaviin seiniin perustuva kerroksittainen järjestelmä on puukerrostaloissa yleisin runkojärjestelmä. Kantavat seinärakenteet valmistetaan rankarakenteisina tai massiivipuisina suurelementteinä. Puset välipohjat ovat jännemitaltaan korkeintaan noin 7 metriä pitkiä. Rakennuksen ulkoseinät ja osa rakennuksen väliseinistä toimii kantavina rakenteina. Kantavat väliseinät ovat yleensä huoneistojen välisiä seiniä, sillä huoneiston sisällä kantava seinälinja vähentää huoneiston pinta-alaa ja vaikuttaa tilojen muunneltavuuteen. (Kryssi 2013, 58–60.)

Kantavat seinät runkojärjestelmällä rakennettu rakennus rakennetaan yleisimmin rankarunkoisilla suurelementeillä. Korkeissa puurakennuksissa seinän runko tehdään vakiomitoitetusta liima- tai ker-topuusta. Rakennusperiaatteeltaan kantava ja ei - kantava seinä eivät eroa toisistaan. Rankarunko on energiatehokas ja tiivis ratkaisu, joka on muunneltavissa joustavasti erilaisiin tarpeisiin. Välipohjan rakenteella ei ole rajoitteita. Välipohja voi olla rakenteeltaan esimerkiksi ripalaatta tai rankarakenteinen palkkivälipohja. Välipohjan jänneväliä voidaan kasvattaa kantavien rakenteiden korkeutta lisäämällä tai liittorakenteilla. Puun yhdistäminen muihin materiaaleihin monipuolistaa sen käyttömahdollisuuksia. Puu toimii hyvin betonin kanssa liittorakenteena. Insinööripuutuotteissa painumat ovat vähäisiä ja korkea esivalmistusaste nopeuttaa rakennuksen pystytystä. (Puuinfo.fi I.)

2.2

Pilari-palkkirunkojärjestelmä



KUVA 1. Pilari-palkkirunkoinen puukerrostalo (Puuinfo.fi f)

Pilari-palkkirunkojärjestelmässä rakennuksen kantavan rungon muodostavat pilarit ja palkit. (kuva 1). Yleisimmin pilarit ja palkit ovat liima- tai kertopuuta. Rakennuksen ulkoseinät sekä väli- ja yläpohjat tukeutuvat palkkien varaan. Rakennuksen ulko- ja väliseinät ovat ei-kantavia. Pilari-palkkirunkojärjestelmän etuna on tilojen muunneltavuus ja julkisivuihin on mahdollista tehdä suuria aukkoja ja aukotuksia. Pilari-palkkirunko sijoitetaan joko ulko- ja väliseinien sisään tai erilliseen sisätilaan. Väli-pohjia tukevat primaaripalkistot sijoitetaan joko laatastoon tasoon tai sen alapuolelle. Väli-pohjat rakennetaan tasoelementeistä tai se kootaan levyistä erikseen sekundääripalkiston varaan. Yhä yleisimmin väli-pohja tehdään ripalaattaväli-pohjajaelementeistä. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela ja Viljakainen 2013, 46–48.)

Rakennus jäykistetään mastopilareiden ja vinositeiden avulla. Lisäjäykisteenä käytetään levyjäykistystä. Koska rakennuksen kantavat pystyosat on toteutettu yhdenmukaisilla materiaaleilla, rakennuksessa ei ole havaittavissa painumia. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela ja Viljakainen 2013, 46–48.)

Pilari-palkkirunkoisessa rakennuksessa tilat voidaan sijoittaa vapaasti ja muunneltavuus on helppoa. Koska rakennuksessa ei ole kantavia väliseiniä voidaan tilat suunnitella joka kerroksessa omalla tavalla ja väliseinien paikkaa voidaan vaihdella rakennuksen elinkaaren aikana. Suunnittelu on kuitenkin tehtävä huolellisesti, sillä huoneiston välisiä seinä ei voi jälkepäin siirtää ihan mihin tahansa. Huoneiston välisten väliseinien muunneltavuutta rajoittaa määräys laatastojen katkaisemisesta huoneiston välisen seinien kohdalla ääni- ja värähtelyteknisistä syistä. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela ja Viljakainen 2013, 46–48.)



KUVA 2. Tilaelementti (Puuinfo.fi h)

Tilaelementtitekniikalla rakennettu puukerrostalo kootaan erillisistä tehtaalla valmistetuista tilayksiköistä, joka koostuu kantavasta rungosta ja huoneistoja rajaavista pinnoista eli katosta, seinistä ja lattiasta. (kuva 2). Puukerrostalot tilaelementit rakennetaan mahdollisimman pitkälle tehdasolosuhteissa, mikä pienentää virheiden määrää ja parantaa rakennuksen laatua. Tilaelementtirakentamisella toteutetun puukerrostalon työmaavaihe on erittäin lyhyt. Näin se sopii hyvin täydennysrakentamiseen. Yksi tilaelementti voi muodostaa yhden huoneiston, mutta huoneisto voi koostua myös useammista tilaelementeistä. Tilaelementin on katkettava huoneistojen välissä sekä huoneiston ja käytävän välissä. Usein asunnon märkätilat toteutetaan erillisenä tilaelementtinä, niin sanottuna märkätilaelementtinä. Märkätilaelementtiin on keskitetty kylpyhuone, sauna ja hyvin usein myös keittiö. (Puuinfo.fi h; Puuinfo.fi k.)

Tilaelementtirakentaminen rajoittaa huoneistojen muotoa ja muunneltavuutta. Puisista tilaelementeistä rakennetun kerrostalon tilasuunnittelua rajoittaa kantavien seinien suuri määrä. Kantavia seinälinjoja tulisi olla rakennuksessa noin 5 metrin välein. Kaikkien tilaratkaisujen on oltava selvillä hyvin varhaisessa vaiheessa. Työmaalla tilaelementteihin tehtyjä ratkaisuja on vaikea muuttaa. Tilaelementtirakentamisessa on omat rajoitteet ikkunoille, oville, märkätiloille ja kerroskorkeudelle. Elementin kantavien rakenteiden lisäksi tehtaalla elementtiin asennetaan yleensä ikkunat, LVIS-varusteet ja kiintokalusteet. Kantavat rakenteet voidaan toteuttaa pilari-palkkitekniikalla, kehärakenteella tai massiivipuisilla suurelementeillä. Jokaisen huoneiston väliin tulevan kaksoisrakenteen ansiosta äänieristys on tilaelementtirakentamisessa hyvällä tasolla. Tilaelementtien suunnittelussa on otettava huomioon kuljetukseen liittyvät rajoitukset. Kuljetuksessa on huomioitava elementtien kul-

jetusleveys, -korkeus ja paino. Tilaelementin suurimmat sallitut mitat ovat 12 x 4,2 x 3,2 metriä. (Puuinfo.fi h; Puuinfo.fi k.)

Seinien ja runkotolppien tuennassa huomioidaan nurjahduspituus ja kuormien siirtäminen jäykistäville tasoille. Pystykuormissa ja tilaelementtien osien tuennassa tulee huomioida myös erillispilareiden kuten tilaelementin sisäisen pilarien tuenta. Tilaelementin nostot tehdään erikoisnosto-osilla tai liinoilla. Tilaelementin aukolliset seinät ja suuret aukot tuetaan nostojen ajaksi. Kaikki asunnossa olevat tilaelementin välit kitataan palokitillä ja tiivistetään tiivistysnauhalla. Tilaelementtirakenteisiin kohdistuu niin sisäistä, kuin ulkoistakin kosteusrasitusta. Märkätilat tuovat elementin puisille rakenteille sisäistä kosteusrasitusta. Ulkoapäin elementtiin kohdistuu kosteusrasitusta ikkunoiden ja ovien liitoksista. Ulkoista kosteusrasitusta tilaelementtiin kohdistuu asuntojen väleistä ja ulkoseinän liitoksista. Jo suunnitteluvaiheessa kannattaa kiinnittää huomiota LVI -putkien paikkoihin, jotta ne ovat helposti tarkastettavissa ja huollettavissa. Näin ollen ennaltaehkäistään putkirikkoja ja vuotojen havaitseminen on helpompaa. (Puuinfo.fi k.)

CLT -elementeistä valmistetussa tilaelementissä jokainen seinä tehdään yhdestä CLT -elementistä. Lattia ja katto tehdään useimmasta CLT -elementistä. CLT -kattoelementti viedään seinäelementtien päälle. CLT on hyvä materiaali tilaelementtiin, sillä sama materiaali toimii niin kantavana kuin jäykistävänä rakenteena. Tilaelementtiin saadaan samalla höyrynsulku, jos CLT -elementin lamellit on syrjä- ja lapeliimattu. Näin ollen CLT korvaa osan lämmöneristeestä. Vertaillen muilla rakennustavoilla rakennettuun tilaelementtiin CLT:n etuna voidaan pitää liitoksien ja materiaalien vähäisyyttä ja yksinkertaisia rakenteita. CLT -tilaelementillä on pieni kokoonpuristuma ja se on itsestään kuivuva. Asennusvirheitä on hyvin vähän. Koska lamellit ovat ristiin liimattuja, kosteuseläminen on hyvin vähäistä. CLT -tilaelementti on paloteknisesti hyvin hallittavissa. Korkeissa asuinkerrostaloissa vaaditaan kuitenkin palokonsultin lausunto, jos halutaan jättää näkyviä CLT -puupintoja. (Puuinfo.fi k.)

3 CLT

CLT eli ristiin liimattu massiivipuulevy valmistetaan ristiinliimatuista lautakerroksista eli lamelleista. (kuva 3). Raaka-aineena CLT:ssä on lujuslajiteltu pihta, kuusi tai mänty. Lamellit liimataan formaldehydittömällä liimoilla. Puutavaran lujusluokka vaihtelee C16...C40 välillä. Yleisin lujusluokka on C24. Elementin lamellit on ympäröity ja niiden paksuus vaihtelee 14 millimetristä 45 millimetriin. Lamellin leveyden on oltava vähintään 4 kertaa lamellin paksuus. Elementissä voi olla useita lamellikerroksia. Vähintään kerroksia on 3 ja enimmillään niitä voi olla 20. Päälekkäin niitä on liimattu yleensä pariton kerrosmäärä, tavallisimmin 3 tai 5 kerrosta. CLT-elementin äärimitat ovat 2,95 x 16 metriä ja sen paksuus vaihtelee 42...350 millimetriin. Elementin pinta kuuluu paloluokkaan D-s2, d0. D kertoo, että kyseessä on puutuote. Palaessaan CLT- elementti tuottaa vähän savua (s2), eikä palavia pisaroita tai osia muodostu lainkaan (d0). (Puuinfo.fi a; Kevarimäki 2014, 1; Jantunen 2016, 7-8.)



KUVA 3. CLT-elementti (Timberbiz)

Rakennusmateriaalina CLT on kevyt, hyvin paloa kestävä, erittäin luja ja jäykkä levymäinen tuote. Siitä rakennetaan laattoja, seiniä ja palkkeja. CLT:stä voidaan rakentaa myös puukerrostaloon eikantavat sisäseinät, kerrosportaat ja parvekkeet. CLT ei kuitenkaan ole tehokas vaihtoehto pienissä palkkeissa ja pilareissa, joihin parempi materiaaliveikko on liimapuu tai LVL. Levymäisen rakenteen ansiosta CLT toimii samanaikaisesti niin kantavana kuin jäykistävä rakenteena. Siihen on helppo kiinnittää muita rakennusmateriaaleja, kuten julkisivukoolauksia. (Puuinfo.fi k.)

Sisätiloissa CLT voidaan jättää joko näkyviin tai pinnoittaa, mitä palomääräykset yleensä vaativat. Ulkoseinissä levy eristetään kuten betoniseinä, mutta eristettä tarvitaan usein vähemmän. Normaalisti CLT -elementin lamellit lapeliimataan. Mikäli elementti syrjäliimataan lapeliimauksen lisäksi, elementti ei tarvitse erillisiä ilman ja hyörynsulkumateriaaleja. (Puuinfo.fi a.)

Elementin aukotukset ja liitokset tehdään tietokoneohjatulla CNC -jyrsintäteknikalla mittatarkasti. Näkyviin jäävien CLT -elementtien aukkojen työstöt tehdään pyörösahalla ja varsijyrsimellä. Aukkojen mitoituksessa on otettava huomioon aukon kulmien pyöristys. Pienimmillään pyöristys voi olla 20 millimetriä, sillä varsijyrsimellä ei saada teräviä kulmia. Verhouksen alle jääviin CLT -elementteihin aukot tehdään pyörö- ja ketjusahalla. Näillä tekniikoilla aukon kulmista saadaan teräviä, mutta reunoihin jää hyvin usein repeämiä. Elementtien syvennykset tehdään varsi- ja kehäjyrsimellä sekä näkyviin että ei-näkyviin elementteihin. Syvennysten kulmat ovat pyöristettyjä ja niiden pyöristyssäde on pienimmillään 20 millimetriä. Syvennyksiä voidaan tehdä elementin molemmille puolille, mutta työstöjen välissä elementti on käännettävä. Varsijyrsimellä CLT -elementteihin voidaan jyrsiä kaapeluurat sähköasennuksille. (kuva 4). Työstöt kuitenkin heikentävät elementin lujuustekniikkaa, mikä on huomioitava elementin mitoituksessa. Erikoistyöstöt CLT -elementtiin tehdään varsi- ja kehäjyrsimellä ja ketju- ja pyörösahalla. Tarvittaessa työstöt viimeistellään käsin. (Puuinfo.fi k.)



KUVA 4. CNC -koneella jyrsittyjä sähkökaapeliuria CLT – elementissä (Puuinfo.fi k.)

CLT -elementin mitoituksessa on huomioitava, että kuormia kantavat vain lamellit, joiden syysuunta on sanansuuntainen kuin ulkoisten kuormien aiheuttama jännitys. Leikkausmuodonmuutoksen vaikutus on huomioitava määritettäessä elementin jännitystä ja sisäistä rasitusta. (Puuinfo.fi k.)

4 LVL ELI VIILUPUU (LAMINATED VENEER LUMBER)

LVL on melko uusi rakennusmateriaali Suomessa. Kesällä 2016 Stora Enso avasi LVL-tehtaan Var-kauteen. Liimapuutuotteet valmistetaan 3 mm paksuista havupuuviiluista, jotka liimataan yhteen paineen ja lämmön avulla. (kuva 5). Rakennusmateriaalina LVL on vahva, luja ja kevyt. Kestävyys-ensä ansiosta se on hyvä materiaali kantaviin rakenteisiin. Erinomainen kuormankantokyky tekee siitä oikeanlaisen rakennusmateriaalin korkeisiin puukerrostaloihin. Sitä on helppo työstää. Eniten viilupuuta käytetään määrämittaan työstettyinä palkkeina, seinärankoina sekä lattia- ja seinälevyinä. LVL - levyssä viilut ovat yleensä liimattu samaan suuntaan. Parhaiten pitkän massiivisen seinä-/lattiaelementin valmistamiseen soveltuu x - laatuinen LVL, jossa osa viiluista liimataan ristiin. Ristiinliimas parantaa levyn mittapysyvyyttä. Levyjen ristiinliimaus lisää elementin lujuutta ja jäykkyyttä. X-laatua valmistetaan useita eri paksuuksia ja leveyksiä. Pituudeltaan LVL -levyt voivat korkeintaan olla 24 metriä ja suurin leveys on 2,5 metriä. (Stora Enso; Win-hanke.)



KUVA 5. LVL- levy (Stora Enso)

5 MEKAANISET PUULIITOKSET

Rakennukseen kohdistuva tuulikuorma jakautuu ala-, väli- ja yläpohjille. Tuulikuorma vaikuttaa seinään viivakuormana väli- ja yläpohjan kohdalla. Sen sijaan alapohjaan vaikuttava tuulikuorma siirtyy suoraan perustuksille. Rakennuksen vaakarakenteiden eli ala-, väli- ja yläpohjan tehtävä on siirtää vaakakuormat jäykistäville seinille. Väli- ja alapohjan liitoksiin syntyy vaakasuuntaisia leikkausvoimia vaakakuormien vaikutuksesta. Vaakakuorma aiheuttaa seinän yläosassa rakenteen päätyihin nostavan tai puristavan voiman. Jäykistävän seinän ja välipohjan välinen liitos siirtää vaakakuormat jäykistävälle seinälle. Liitoksissa käytettävien liittimien on kestettävä nämä voimat. Liitosten on myös siirrettävä ankkurointivoimat jäykistävilta seiniltä rakennuksen perustuksille. (Kilpeläinen, Ukonmaanaho ja Kivimäki 2001, 56–60.)

Puukerrostalossa liitokset tehdään joko liimaamalla tai mekaanisten liitosten avulla. Luvanvaraisia liimaliitoksia tehdään vain valvotuissa tehdasolosuhteissa. Liimaliitokset ovat elementin sisäisiä liitoksia, kuten esimerkiksi CLT -elementin lamellien välinen liitos ja LVL -levyn viilujen välinen liitos. Pui-sia elementtejä liitetään toisiinsa mekaanisten puuliitosten avulla. Puukerrostalossa mekaaniset liitokset tehdään yleensä teräksisten liittimien avulla. Mekaaniset liittimet voivat olla naula-, pultti-, ruuvi-, vaarna- tai naulalevyliitoksia. Liitokset jaetaan rakenteensa perusteella yksi-, kaksi- tai monileikkeisiin liitoksiin. Se kuinka monen saumapinnan kautta voimat siirtyvät määrää liitoksen leikkeen. Mitä järeimmästä puuliitoksesta on kysymys, sitä monileikkeisempi liitos on. Monileikkeisen liitoksen kapasiteetti voidaan hyödyntää järeissä puurakenteissa tehokkaasti. Liitoksen monileikkeisyys pienentää liituskappaleen kokoa, vähentää materiaalikustannuksia ja yksinkertaistaa liitoksen mitoitus-ta. Puuhun syntyy murtopintoja liitosten syysuuntaisesta vedosta. Veto voi aiheuttaa puuhun rivi-leikkauksen, halkeaman, lohkeamismurron, palalohkeaman tai läpiloheamisen. Liitossuunnittelussa on huomioitava puun kosteusvaihtelut, joka heikentää mekaanisen puuliitoksen jäykkyyttä ja lujuut-ta. (Vuorinen ja Jantunen 1997, 21.)

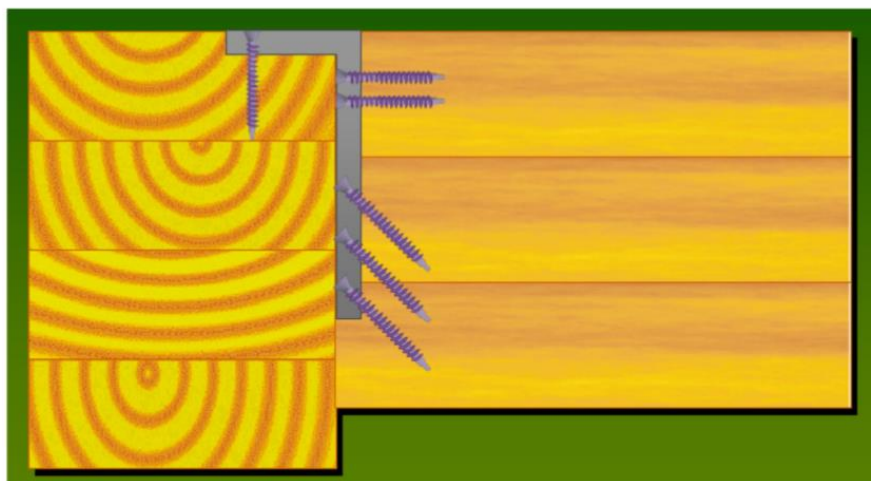
Kun liitoksen on oltava korroosion ja palonkestävä, materiaalina käytetään ruostumatonta terästä. Ruostumattomalla teräksellä on hyvät lujuus- ja jäykkyysominaisuudet korkeissa lämpötiloissa, joka parantaa puuliitosten palonkestävyyttä. Liitosten palomitoituksessa on huomioitava lujuuden ja kimmokertoimen aleneminen. Mitoituksessa on muistettava, että palossa liitoksen toiminta muuttuu ja hiiltymisen aiheuttaa liitokseen väljyyttä. (Vuorinen ja Jantunen 1997, 22.)

Mitä suurempia voimia liitoksen on siirrettävä, sitä järeämpiä liitoselimet ovat. Liitoselimenä yleensä käytetään paksusta teräksestä hitsaamalla tehtyjä osia, jotka pultataan tai tapitetaan puuhun kiinni. Tällaiset liitoselimet suunnitellaan vain rakennettavaan kohteeseen ja ne mitoitetaan teräsosina kantamaan niihin liitoksiin kohdistuva rasitus. Puun poikkisuunnassa suurten metallisten liitoselinten rei-ät tehdään soikeiksi, jolloin huomioidaan puun kutistuminen. Pulttien sijoittelussa on huomioitava riittävät reunaetäisyydet ja puuhun ei saa syntyä poikittaista vetoa. Järeät liitoselimet estävät yleensä puurakenteen vääntymisen, mutta puu saattaa kuitenkin haljeta. Liitoselimiä kapeus kuitenkin mahdollistaa puun osittaisen vääntymisen, jolloin halkeilu pienenee. (Vuorinen ja Jantunen 1997, 20).

5.1 Ruuviliitokset

Suurien puurakenteiden liitoksiin voidaan käyttää ruuveja. Ruuvien etu nauloihin verrattuna on se, että niitä voidaan kiristää puun kosteusvaihtelun mukaan. Ruuveja voidaan asentaa esiporattuihin reikiin tai ne voivat olla itseporautuvia. Ruuviliitosten suunnittelussa hyödynnetään pulttiliitosten mitoitusehtoja. Puun tiheys, asennussyvyys ja ruuvien halkaisija vaikuttavat ruuvien tartuntalujuuteen. Ruuvien käyttöä puun syiden suunnassa tulee välttää. (Puuinfo.fi k.)

Kansiruuvit ovat pehmeästä teräksestä valmistettuja esiporattavia ruuveja, joilla on heikko veto-, taivutus- ja vääntökestävyys. Itseporautuvat ruuvit eivät tarvitse esiporausta ja ne on lujitettu valsauksen jälkeen. Niillä on korkea veto-, taivutus- ja vääntökestävyys. Täyskierteiset itseporautuvat ruuvit ovat pituudeltaan vähintään 600 millimetriä. Kierretangon pituus voi olla jopa 2–3 metriä. Halkaisijaltaan ruuvit ovat 20 millimetriä tai sitä pienempiä. Yli 9 millimetriset ruuvit tarvitsevat esiporauksen. Ruuviliitokset voivat olla suoria liitoksia, vinoruuviliitoksia tai ristiruuviliitoksia. Alla olevassa kuvassa on esimerkki liitoksesta, jossa näkyy suora ja vinoruuviliitoksia. (kuva 6). Vinoruuviliitoksen liitokapasiteetti ja jäykkyys voidaan laskea aksiaalivoimamallilla. Veturuuviliitoksella on parempi kapasiteetti, mutta puun kuivuminen aiheuttaa liitoksen huonoa alkujäykkyyttä. Vinoruuviliitoksessa on 5 -kertainen jäykkyys ja yli 50 % parempi liitokapasiteetti perinteiseen suoraruuvaukseen verrattuna. Ristiin ruuvauksella on hauras murtotapa, mutta harvoin se murtuu kokonaan. Vinoruuviliitoksen erittäin hyvää jäykkyyttä voidaan hyödyntää mekaanisesti yhdistetyissä palkeissa ja pilareissa sekä liittolaatoissa. (Puuinfo.fi k.)



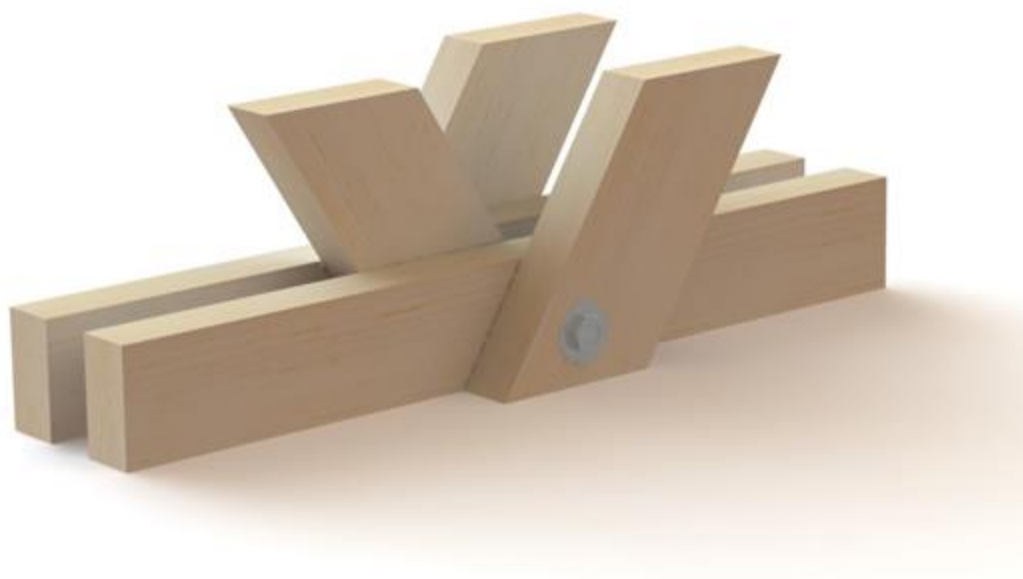
KUVA 6. Suora ja vinoruuviliitos (Puuinfo vaativat puurakenteet 2013)

5.2 Pulttiliitokset

Pulttiliitoksia käytetään järeiden puurakenteiden liitoksissa, koska liitoksen jäykkyydelle ei aseteta vaatimuksia. Liitoksessa pultti asennetaan reikään, jonka halkaisija ei saa olla yhtä millimetriä suurempi kuin pultin varren halkaisija. Liitos kiristetään mutterin avulla. Aluslevyä käytetään mutterin ja pultin kannan alla. Liitettävien puukappaleiden kuivumiskutistumisesta ja pulttien reikien väljyydestä

johtuen pulttiliitoksen siirtymät ovat suuria. Siirtymien ja muodonmuutosten takia pultteja ja ruuveja ei yleensä käytetä yksin pysyvien rakenteiden liitoksissa. Liitosten jäykkyyttä parannetaan vaarujen tai metallisten liitoselementtien avulla. (Vuorinen ja Jantunen 1997, 27–29.)

Hammas-, rengas- ja lautasvaarvoja käytetään yhdessä pulttien kanssa. Vaarujen mitoitus tehdään Eurokoodi 5 mukaan. Mitoituksessa on erityisesti kiinnitettävä huomiota vaadittaviin liitäväläihin sekä pääty- ja reunaetäisyyksiin. Rengas- ja lautasvaarvoilla on hyvin usein haurasurto, joten ne eivät sovellu käytettäväksi yhdessä puikkoliittimien kanssa. (Vuorinen, Jantunen 1997, 27–29; Puuinfo.fi k.)



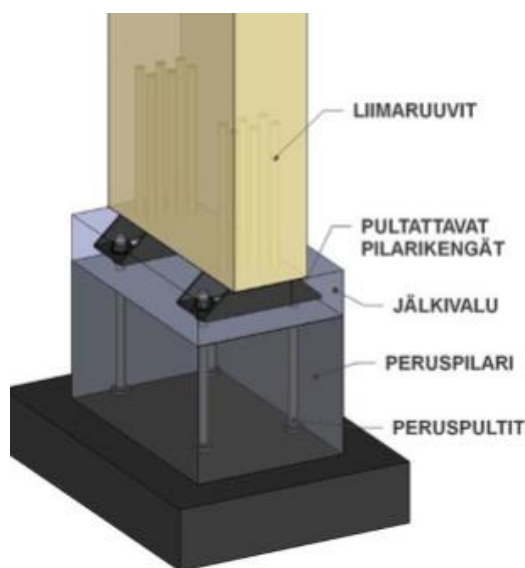
KUVA 7. Pulttiliitos (Puuproffa.fi)

Pulttiliitoksen suunnittelussa on huomioitava puun kuivuminen ja kutistuminen. Kun puu on kuivunut, liitosta on voitava kiristää myöhemmin. Kuvan 7 pulttuliitosta on helppo kiristää myöhemmin, koska pultin kanta on näkyvässä. Kantavien rakenteiden liitoksissa pultin pienin halkaisija on 12 millimetriä ja liitoksessa käytetään vähintään kahta pulttia. Aluslevyn paksuus on vähintään 0,3d ja halkaisija on pienimmillään 3d. Pienellä d kirjaimella tarkoitetaan pultin halkaisijaa. Puun leimapuristuslujuutta käytetään aluslevyn mitoituksessa. Aluslevyn minimipaksuus on kuitenkin 5 millimetriä. (Vuorinen, Jantunen 1997, 27–29; Puuinfo.fi k.)

Pulttiliitoksen lujuuteen vaikuttaa liitettävien puuosien paksuus ja varsinkin liitettävien osien paksuuksien suhde toisiinsa. Liitoksen lujuuteen vaikuttaa myös puun ja pultin laatu. Liitettävien kappaleten poikkileikkaus heikkenee pultteja varten tehtävistä rei'istä. Siksi pultit kannattaa sijoittaa useampaan eri riviin, jos mahdollista. Kun pulttien avulla siirretään suuria voimia, pulttien määrä kasvaa. Pulttiliitokset mitoitetaan puikkoliitosteorian avulla. Kosteus ja aikaluokan vaikutus liitokseen otetaan huomioon erillisillä korjauskertoimilla. Mikäli pulttiin kohdistuu pultin suuntaista normaali-voimaa, pultti mitoitetaan teräsrakenneosana. (Vuorinen, Jantunen 1997, 27–29; Puuinfo.fi k.)

5.3 Liimaruuviliitokset

Voimaa siirtävät liimaruuvit ja tangot liimataan tehtaalla LVL - ja CLT -elementin esiporattuihin reikiin. Ne voidaan asentaa elementtiin puun syiden suunnassa, syitä vasten kohtisuorassa suunnassa tai syiden suunnasta katsottuna vinosta kulmasta porattuihin reikiin. Liitoksen voi muodostaa yksittäinen liimaruuvi tai - tanko. Yleensä liitoksen muodostaa liitinryhmä tai useamman liitinryhmän muodostaman ryhmä. Yksi liimaruuvi tai - tanko voi olla pituussuunnassa vedetty, puristettu tai poikittain leikkauskuormitettu. Liittimeen voi yhtä aikaa vaikuttaa leikkausvoima ja pituussuuntainen kuormitus. (Puuinfo.fi k.)



KUVA 8. Liimaruuvit pilarikengäliitoksessa (Puuinfo.fi c)

Yleisesti liimaruuveja ja - tankoja käytetään kiinnittämään esivalmistettuja puuelementtejä puu-, teräs- tai betonirakenteeseen. Kuvassa 8 liimaruuveja on käytetty pilarikengäliitoksessa, jossa puinen pilari kiinnittyy betoniseen peruspilariin. Liimatanko – ja - ruuviliitokset kiinnitetään muihin rakenteisiin käyttämällä teräsrakenteille tyypillisiä liittimiä ja asennustekniikoita. Liitoksen on oltava kestävä ja lujuusominaisuuksien on kestävä koko sille suunniteltu käyttöikä. Liitoksissa käytetään kaksi-komponenttiliimoja. (YM 2014, 3.)

Liimaruuvien tai - liittimien halkaisija on 6 - 30 millimetriä ja liittimen liimattavasta pituudesta vähintään 1/5 tulee olla kerteistetty tai profiloitu. Materiaaliltaan ne ovat rakenteelliseen käyttöön tarkoitusta seostamattomasta teräksestä tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuja ruuveja, pultteja, harjateräksiä tai kierretankoja. (YM 2014, 6.)

Yleisesti suunnittelussa noudatetaan eurokoodin suunnitteluohjeita. Joissakin tapauksissa suunnittelussa voidaan käyttää RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje-kirjan ohjeita. Rakennesuunnittelijan rakennelaskelmissa tulee esittää liimaruuviliitoksen kantavuuden mitoituslaskelmat. Laskelmissa on esitettävä yksittäisen liittimen kestävyystarkastelu ja liitosryhmän liitoskestävyyden tarkastelu. Liimaruuviliitoksen rakennekuvissa tuodaan esille liitoksen valmistuksessa ja työmaa-

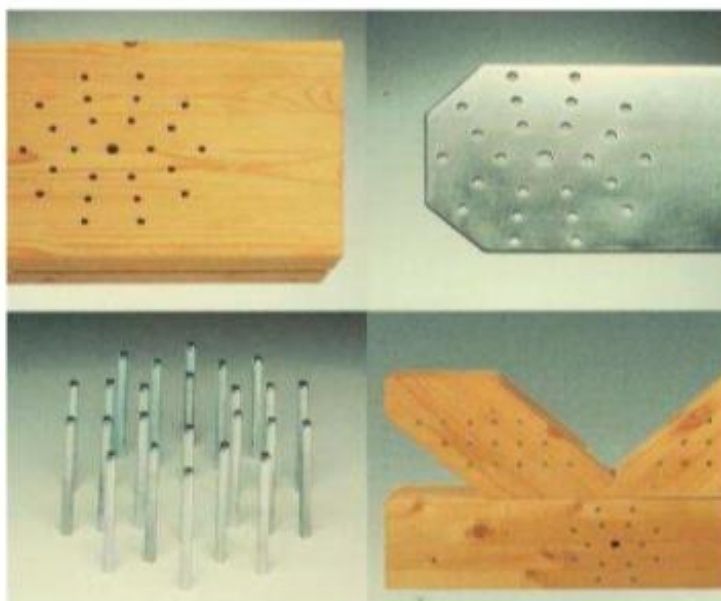
asennuksessa tarvittavat liitokset ja liittimet. Kuvista on kerrottu liittimien sijainti ja liittimille porattavien reikien mitat ja liittimien materiaalit. (YM 2014, 7.)

Puun kosteus saa liimauksessa olla keskimäärin enintään 3 % suurempi kuin rakenteen alin suunniteltu kosteuspiitoisuus. Puutavara on hyvä tuoda 15 °C lämpötilaan 2 vuorokautta ennen liimausta. Puutavaran laadun ja lujuuden on vastattava rakennesuunnitelmia. Ennen valmistusta puun mittauksella varmistetaan, että se on rakennepiirustuksen mukainen. (YM 2014, 8.)

5.4 Tappivaarnaliitos

Leikkausvoima siirretään liitoksessa kappaleiden välissä olevien teräspuikkojen välityksellä. Tapit asennetaan puuhun lyömällä ne hieman itseään pienempään reikään. Tappivaarnaan päät ovat pyöristettyjä, jottei asennusreiän ympärillä oleva puu rikkoudu. Sidepulttien tehtävä on estää kosteusmuodonmuutoksen, kutistumisen ja vääntymisen aiheuttama liitoksen aukeaminen. Tappivaarnojen minimi etäisyyksiin toisistaan ja liitettävien kappaleiden reunasta vaikuttavat samat ehdot kuin pulttikiinnityksellekin. (Vuorinen ja Jantunen 1997, 31–33; Puuinfo.fi k.)

Terästappien materiaali on yleensä uritettu tai sileä pyörötanko, jonka paksuus vaihtelee 8 millimetristä 30 millimetriin. Kantavissa rakenteissa on käytettävä vähintään 4 tappivaarna, joiden halkaisija on pienimmillään 8 millimetriä ja 4 sidepulttia. Mitoituksessa sidepultteja ei kuitenkaan huomioida. Vaarnaliitosten siirtymät mitoitetaan samalla tavalla kuin pulttiliitoksissa. Siirtymissä ei huomioida liitoksen alkuväljyyttä, sillä vaarnat lyödään vaarnojen halkaisijaa pienempään reikään. Liitettävien kappaleiden poikkileikkausta heikentää tappivaarnoja varten tehtävät reiät ja niiden ympärille muodostuvat halkeamat. Suurien voimien siirtäminen vaatii enemmän tappeja, mikä heikentää poikkileikkausta. Näin ollen liitettävien kappaleiden poikkileikkausta joudutaan usein kasvattamaan. Liitos on suunniteltava niin, että poikittainen vetojännitys on mahdollisimman pieni. Tappivaarnaliitoksessa voima jakautuu useille eri vaarnoille, jolloin halkeilu jakautuu tasaisesti ja ne jäävät pienemmiksi kuin pulttiliitoksissa. (Vuorinen ja Jantunen 1997, 31–33; Puuinfo.fi k.)



KUVA 9. Puisen tappivaarnaristikon osia (Puuinfo vaativat puurakenteet 2013)

Teräslevylliset tappivaarnaliitokset tehdään sijoittamalla teräslevyt puun sisään. Yllä olevassa kuvassa 9 näkyy puisen tappivaarnoilla ja teräslevyllä liitetyn ristikon osia ja liitos valmiiksi koottuna. Liitoksessa teräslevyt on sijoitettu puuhun sahattuun uraan. Jokaiseen teräslevyyn porataan vaarnan kokoiset reiät. Puun kosteuseläminen vaikuttaa liitoksen asentamiseen. Siksi liitos on koottava hyvin pian puun porauksen jälkeen. Teräslevy tekee liitoksesta monileikkeisen, jonka seurauksena yksittäisten vaarnojen kapasiteetti voidaan hyödyntää mahdollisimman hyvin. Teräslevyllisellä tappivaarnaliitoksella on hyvä palonkesto, kun teräslevy on asennettu puun sisään. (Vuorinen ja Jantunen 1997, 31–33; Puuinfo.fi k.)

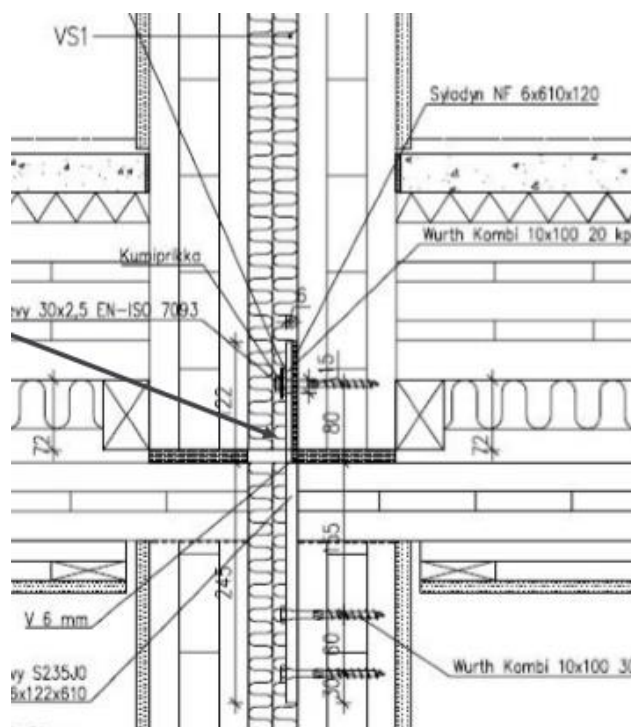
5.5 CLT-elementtien väliset liitokset

Kantavuus ja tiiveys ovat CLT -elementtiliitosten päätehtävät. Liitokset ovat tyypillisiä ja tavanomaisia puurakenteiden liitoksia. Liitoksia ei kuitenkaan voida mitoitaa suoraan Eurokoodi 5 mukaan. Pääosin liitokset tehdään ruuvi- ja teräsmuotolevy- tai teräsosakiinnittimillä. CLT -elementtiliitoksissa on huomioitava runkoäänieristysvaatimukset. Mikäli liitos tehdään nauloilla, on naula oltava paksuudeltaan vähintään 4 millimetriä. Naulaliitoksissa on huomioitava, ettei CLT -elementin syrjänaulaus välitä voimia ja lappeen naulaliitoksissa sovelletaan puutavaraliitosten ohjeita. Myöskään CLT -elementin syrjään asennetut pultit eivät välitä voimia. Lapeliitoksissa ruuvien minimi halkaisija on 4 millimetriä ja syrjäliitoksissa pienin halkaisija on 8 millimetriä. (Puuinfo.fi k.)

Liitosten ja kerrostalon elementtien väliin asennetaan runkoäänien katkaisemiseksi tärinäeriste (Sylomeer-/ Sylodyn-eriste). Tällaista liitosta sanotaan väliaineelliseksi/ raolliseksi liitokseksi. Tärinäeristeen paksuus vaihtelee 6 millimetristä 10 millimetriin. Eristeen läpi menevä liitin siirtää rakennusta jäykistävät leikkaus- ja ankkurointivoimat elementiltä ja rakenteelta toiselle. Ankkurointivoimat siirtyvät aksiaalisesti kuormitetuilla ruuveilla ja pulteilla rakenteelta toiselle. Leikkausvoimalle ristiruuviliitos toimii CLT-elementtien liitoksissa hyvin. (Puuinfo.fi k.)

5.6 Tilaelementtien liitokset

Tilaelementtiliitoksissa on huomioitava nostot ja kuljetus, painumat sekä jäykistys. Liitosten tehtävä on vastaanottaa pystykuormat ja niiden on tuettava tilaelementtien osia. Liitoksissa ja niiden suunnittelussa on huomioitava tiiveys, palo, ääni ja kosteus. Nostosuunnitelmissa ja -piirustuksissa on saatava selville: sallitut nostokulman ja haarakulman suuruudet, elementin paino, painopisteen sijainti, sallitut nostotavat ja välineet, nosto- ja tukipisteet sekä nosto- ja kuljetustuet. Kuormituksissa on huomioitava haara- ja nostokulman vaikutus, muut kuormat ja kuormien epätasainen jakautuminen. (Puuinfo.fi k.)



KUVA 10. Kahden päällekkäisen CLT-tilaelementin leikkausliitos (Puuinfo.fi k)

Tilaelementtien nosto tehdään nostoliinoilla tai erikoisosilla. Erikoisosat voivat olla nostolukkoja, ruuveja tai nostovaijereita. Elementit voidaan nostaa myös elementtivalmistajan omilla nosto-osilla. (Puuinfo.fi k.)

Massiivipuusta valmistetun tilaelementin painumat ovat melko pieniä, mutta epätasaisia. Painumilla on suuri vaikutus rakennuksen tiiveyteen. Painumaerot tulevat näkyviin noin kolme vuotta rakentamisen jälkeen, kun puu on kuivunut ja viruminen on alkanut. Painumat on huomioitava liitoksia suunniteltaessa. Painumista tapahtuu noin 5 millimetriä jokaisessa kerroksessa. (Puuinfo.fi k.)

Liitosten jäykistyksessä on huomioitava käyttö- ja murtorajatilankuormat, jäykistävien seinien kiinnitykset, jäykistävien tasojen kiinnitykset ja "vastapainojen" kiinnitys jäykistäviin seiniin. Kuvassa 10 nähdään päällekkäisten CLT-tilaelementtien leikkausliitos. Seinä-seinäliitos ja seinä-katto/lattialiitos ovat hyviä esimerkkejä tilaelementin sisäisistä liitoksista. Sen sijaan katto-kattoliitos ja seinä-seinäliitos voivat olla tilaelementtien välisiä liitoksia. (Puuinfo.fi k.)

6 PALOMÄÄRÄYKSET, SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA, OSA E1

Rakentamismääräyskokoelman kaikki osat uudistuvat vuoden 2017 loppuun mennessä. Puukerrostalon suunnittelussa on noudatettava Suomen Rakentamismääräyskokoelman osaa E1 palomääräyksiä. Puurakennuksen suunnittelussa ja rakentamisessa on kiinnitettävä erityisesti huomioita rakenteiden ja rungon palosuojaukseen. Paloturvallisuuden kannalta huomio on erityisesti kiinnitettävä rakenteiden suojaverhoukseen, ontelotilan paloon, pintaluokkiin, osastointivaatimuksiin jne. Liitosten palosuojaus on yhtä tärkeää, kuin kantavien- ja jäykistävien rakenneosien palonsuojaus. Rakennussuunnittelussa on huomioitava läpivientien vaikutus rakenteiden palonkestävyyteen. Rakennus koostuu useasta eri palo-osastosta, eikä palo saa levitä osastosta toiseen. (Puuinfo.fi i; Jantunen 2016, 1.)

Rakennukselle on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 mukaan asetettu seuraavia vaatimuksia, joita on noudatettava suunnittelussa ja rakentamisessa. Rakennuksessa olevien ihmisten on pystyttävä poistumaan turvallisesti rakennuksesta vaaratilanteen ja palotilanteen sattuessa. Mikäli ihmisten on jätävä rakennukseen, on heidät voitava pelastaa rakennuksesta turvallisesti. Pelastustoiminnan on oltava turvallista vaara- ja tulipalotilanteissa. Pelastushenkilökunnan turvallisuus palo- ja vaaratilanteissa on huomioitava rakennuksen suunniteltaessa ja rakentamisessa. Palon leviämistä ja savuntuottoa on pyrittävä rajoittamaan. Suunnittelulla ja rakentamisella on rajoitettava tulipalon leviämistä viereisiin rakennuksiin. Tulipalotilanteissa talon rakenteiden on kestettävä sortumatta niille suunnitellun vähimmäisajan. (Jantunen 2016, 1.)

Palokuormaksi määritellään vapautuva kokonaislämpömäärä, kun tilassa oleva aine palaa täydellisesti. Kantavat- ja jäykistävät rakenteet, osastoivat osat, kaikki muut rakenneosat ja rakennuksessa oleva irtaimisto lasketaan mukaan palokuormaan. Palokuorman tiheyden yksikkö on megajoule neliometriä kohden [MJ/m²]. Suunniteltavan rakennuksen palokuorman tiheys tai palo-osasto on tiedettävä, jotta voidaan mitoittaa P0 ja P1 luokan rakennusten kantavia ja osastoivia rakenteita. P0 paloluokassa palokuorma on määritettävä, jotta rakennus voidaan mitoittaa tulipalotilanteita varten. (Jantunen 2016, 10.)

Kantavat rakenteet ja osastoivat osat luokitellaan eri luokkiin sen perusteella, miten ne kestävät tulipaloa. Rakenneosaa kuvaavia palonkestävyys vaatimuksia kuvataan kirjain-numero yhdistelmillä. Merkki R kuvaa kantavuutta, E tiiveyttä ja I eristävyyttä. Kun kirjainten perään liitetään palonkestoaika minuutteina, saadaan selville rakennusosan paloluokka. Esimerkiksi R120 merkintä tarkoittaa, että tulipalossa rakenne kantaa sortumatta 120 minuutin ajan. (Jantunen 2016, 5-11.)

Uusissa palomääräyksissä rakennuksen paloluokkia on neljä. Vanhojen P1, P2 ja P3 paloluokkien lisäksi uudeksi rakennuksen paloluokaksi tulee P0 luokka. P1 luokassa tietyin ennalta oletettujen varmuuksien perusteella yli 2-kerroksisen talon oletetaan kestävän sortumatta. P2 luokassa kantavien rakenteiden vaatimukset ovat matalampia kuin P1 luokassa, mutta paloturvallisuutta lisätään rakennuksen pintaosien ominaisuuksilla ja paloturvallisuutta lisäävillä laitteilla. Rakennuksen kokoa ja rakennusta käyttävien ihmisten määrä on rajoitettu. P3 luokassa rakennuksen kantavilla rakenteilla ei

ole palonkestävyydelle asetettuja vaatimuksia. Tässä luokassa paloturvallisuus pyritään saavuttamaan rakennuksen kokoa ja ihmismäärää rajoittamalla. Uudessa P0 paloluokassa paloturvallisuus suunnittelu perustuu osittain tai kokonaan oletettuun palonkehitykseen. Tätä rakennuksen paloluokaa käytetään vaativissa puurakennuksissa ja monimutkaisissa rakennuskohteissa. (Jantunen 2016, 9.)

Uusissa palomääräyksissä P2- paloluokan yli 2 kerroksisten rakennusten suurin mahdollinen korkeus muuttuu 28 metriin, joka helpottaa korkeiden rakennusten rakentamista. Määräysten mukaan henkiloturvallisuuden takaamiseksi ja vahinkojen välttämiseksi P1 paloluokan rakennuksen rakenteiden on kestävä riittävän luotettavasti sortumatta palon ja jäähtymisajan aikana. Rakenteiden on kestävä niille ennalta asetettu aika, vaikkei paloa ennätettäisi tuona aikana sammuttaa. Luotettavuusvaatimus on sitä korkeampi, mitä korkeammasta rakennuksesta on kysymys. (Jantunen 2016, 9-14.)

7 TOIMINNALLINEN PALOTEKNINEN SUUNNITTELU

Kun rakennus suunnitellaan ja rakennetaan oletettuun palokehitykseen perustuen eli rakennuksessa todennäköisesti tapahtuviin tilanteisiin perustuen kyse on toiminnallisesta paloteknisestä suunnittelusta. Toiminnallista paloteknistä suunnittelua käytetään vaativissa puurakenteissa ja monimutkaisissa kohteissa. Rakennus suunnitellaan paloturvalliseksi ottaen huomioon rakennuskohde, siinä toimivat ihmiset, pelastustoimi ja mahdollisia palotapauksia koskevat tiedot. Suunnittelussa otetaan huomioon rakennuksen yksilölliset ominaisuudet sekä rakennuksen aktiiviset ja passiiviset palontorjuntamenetelmät. Passiivisia palontorjuntamenetelmiä ovat mm. osastoinnit, palokatkot, suojaetäisyydet ja materiaalien palo-ominaisuudet. Paloilmaisin, automaattinen sammutuslaitteisto, sprinklaus ja savunpoisto ovat esimerkkejä aktiivisesta palontorjuntamenetelmästä. Automaattisen savunpoistolaitteiston toiminta ja tehokkuus sekä sammutuslaitteiden ja savunpoistolaitteiden yhteisvaikutus voidaan ottaa paremmin huomioon toiminnallisessa paloteknisessä suunnittelussa, kuin taulukkoarvoihin perustuvassa suunnittelussa. Toiminnallinen palotekninen suunnittelu perustuu RakMK E1 asettamiin vaatimuksiin. Suunnitelma sisältää määritelmät kohteen todennäköisistä uhista ja mitoituspaloit, riskianalyysin, laskennallisen tarkastelun lämpötilan kehityksestä, savunmuodostuksesta sekä poistumisturvallisuudesta. (Markku Kauriala Oy; Puuinfo.fi i; Puuinfo.fi k.)

Pelastuslain mukaan palosta aiheutuvat omaisuusvahingot eivät saa kasvaa suhteettoman suuriksi. Toiminnalliseen palotekniseen suunnitteluun perustuen suunnitellun rakennuksen palonkestovaatimukset katsotaan tapauskohtaisesti. Tässä tilanteessa ei voida katsoa pelkästään palomääräysten paloluokkia ja lukuarvoja. Toiminnallisesti mitoitettu rakennus ei ole täysin paloturvallinen, mutta menettelyllä määritetään riskit. Riskien perusteella tehdään suunnitelmat, joilla pyritään minimoimaan riskit. Koko rakennuksen elinkaari muutoksineen ja vaihteluineen pyritään ottamaan huomioon suunnittelussa. Suunnitelma tehdään yhteistyössä viranomaisten kanssa ja siinä on pystyttävä perustelemaan kaikki siinä esitetyt tiedot. Suunnitelmassa tuodaan esille useita eri uhkakuvia, jotka käsitellään kriittisesti. Suunnitelmissa arvioidaan pelastustoimen ja paloturvallisuusjärjestelmien vaikutuksesta sekä niiden vikaantumisen vaikutus palon kehitykseen. Puun ominaisuudet otetaan huomioon, sillä puukerrostaloa ei voida suunnitella samoilla periaatteilla kuin betonirunkoista taloa. (Markku Kauriala Oy; Puuinfo.fi i.)

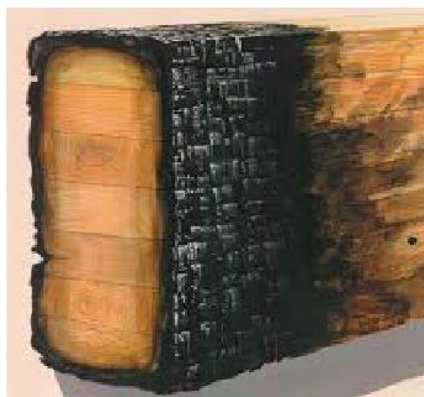
Toiminnallisella paloteknisellä suunnittelulla saadaan monia etuja. Esimerkiksi arkkitehti voi suunnitella tiloja vapaammin, jolloin tilat saadaan suunniteltua käytettävimmiksi. Palo - osastot voivat olla suurempia ja poistumistie - etäisyydet pidempiä. Toiminnallisella paloteknisellä suunnittelulla on myönteinen vaikutus rakennuskustannuksiin, kun rakenteet voidaan toteuttaa kevyemmin ja palotekniset laitteet ovat toimivampia ja halvempia. (Markku Kauriala Oy; Puuinfo.fi i.)

8 PALOSUOJAUS

Rakennuksen runkomateriaalilla ei ole merkitystä ihmisten turvallisuudelle palotilanteessa. Puu on turvallinen rakennusmateriaali, kun sen palavuus otetaan huomioon rakennuksen suunnittelussa. Huoneistossa oleva irtaintavara ja varusteet ovat suurempi uhka palotilanteessa kuin rakennuksen runkomateriaali. Tavarosta haihtuvat myrkylliset savukaasut tappavat ihmisen nopeammin kuin itse tulipalo. Rakennuksen palosuojausvaatimukset tulevat Suomen Rakentamismääräyskokoelman osasta E1 ja rakennukset rakennusosatarkastelut tehdään Eurokoodi 5 mukaan. (Puuinfo.fi g.)

Kun palomitoitetaan rakenneosia, ensimmäisenä tulee selvittää suojaverhotaanko rakenne verhouksella vai ei. Ensimmäisenä tutkitaan kuinka rakenneosan käyttäytyy palotilanteessa ja etsitään mitoitettavalle rakenneosalle oikea mitoitusmenetelmä, sillä palomitoitusmenetelmät ovat erilaisia eri rakenneosille. Seuraavaksi selvitetään rakenneosien ja koko rakennuksen stabiliteetti palotilanteessa, sillä osa jäykistävästä rakenteista voi palaa pois palossa palon aikana. Joskus palotilanteita varten suunnitellaan rakenneosalle oma stabiliteettituenta. Oma stabiliteettituenta suunnitellaan esimerkiksi rankaseinälle, jonka molemmilta puolilta jäykistävä levyrakenne palaa pois yhtäaikaaisesti. Suunnittelussa tulee muistaa, että palotilanteen stabiliteettituennan on toimittava koko suunnitellun palonkeston ajan. (Puuinfo.fi g, 5.)

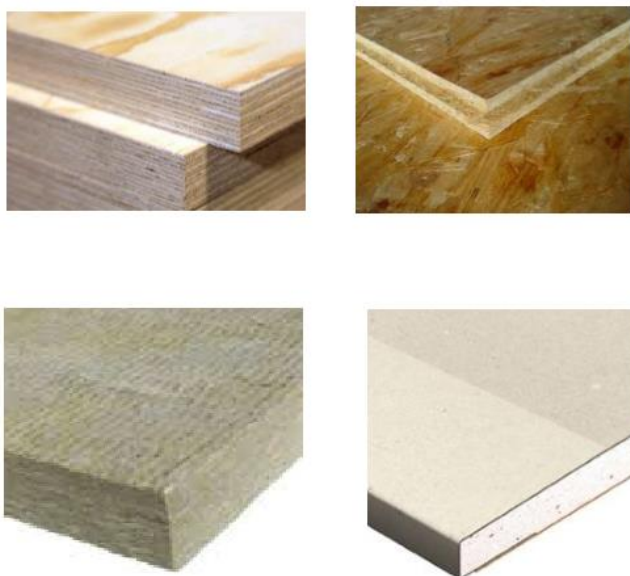
Palotilanteita varten puu voidaan suojata kahdella eri tavalla. Massiivisissa puurakenteissa puu voidaan jättää suojaamatta. Rakenteet on kuitenkin mitoitettava palotilanteen kuormilla palotilanteita varten. Puu voidaan ylimitoitaa tehollisen hiiltemissyvyyden verran, jotta puurakenne kantaa palotilanteen kuormat koko suunnitellun palonkeston ajan. Suojaamaton puu hiiltyy palon alusta lähtien ja hiiltyminen tapahtuu lineaarisesti kyseiselle puumateriaalille ominaisella hiiltemisnopeudella. Eri puulajeilla ja puurakenteilla on erilainen hiiltemisnopeus. Alla olevassa kuvassa 11 näkyy kuinka massiivipuuhiihiiltyy. CLT:n ja LVL:n hiiltemisnopeus on noin 0,65 millimetriä minuutissa. (Puuinfo vaativat puurakenteet 2013; Puuinfo.fi g, 1.)



KUVA 11. Massiivinen puurakenne voidaan jättää kokonaan palosuojaamatta. (Puuinfo.fi k.)

Kun puu on suojattu koko vaaditun palonkeston ajaksi, puurakenne ei hiilly. Tällöin sitä ei tarvitse mitoitaa erikseen palotilanteen kuormia varten. Hoikat rakenteet ja liitokset suojataan yleensä koko vaaditun palonkeston ajaksi. (Puuinfo.fi g, 2.)

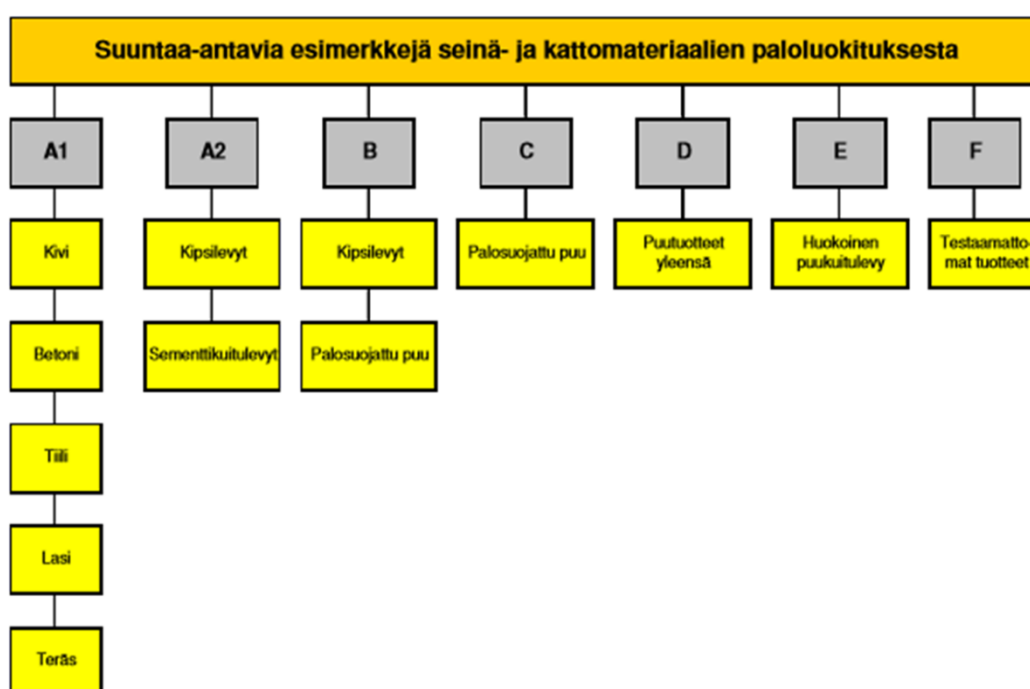
Puu voidaan myös suojata vain osaksi vaaditusta palonkestoajasta. Rakenne on tällöin mitoitettava erikseen palontilanteen kuormille, sillä puu hiiltyy. Hiiltymisen kuitenkin on hitaampaa kuin suojaamattomalla puurakenteella, sillä rakenteen suojavaerhous hidastaa hiiltymistä. Se etenee vaaditun palonkeston aikana puurakenteessa erilaisilla nopeuksilla, riippuen rakenteen suojaustavasta. Puun hiiltymisen alkaa heti, kun pinta altistuu palolle. Rakenteen suojaaminen palonsuojalevyllä hidastaa hiiltymistä. Puun hiiltymisen voidaan jakaa erilaisiin hiiltymisvaiheisiin. Ensimmäisessä vaiheessa suojalevy suojaa puupintaa, eikä hiiltymistä tapahdu. Seuraavassa vaiheessa suojalevyn suojaava vaikutus vähenee kuumuuden noustessa ja alla oleva rakenne hiiltyy jo hitaasti. Suojaus kuitenkin toimii vielä osittain ja pysyy paikallaan. Tämän vaiheen lopulla suojaus murtuu kokonaan. Kolmannessa vaiheessa hiiltymisen nopeutuu, kun suojavaerhous ei enää suojaa puurakennetta. Suurille poikkileikkauksille voi kuitenkin kehittyä suojaava hiiltymäkerros, joka hidastaa pinnan hiiltymistä. Eurokoodi 5 laskelmien mukaan hidastunut hiiltymisvaihe voi alkaa, kun hiiltymisen on saavuttanut 25 millimetrin rajan. Tuon rajan ylitettyä hiiltymisen on yhtä nopeaa kuin suojaamattomalla puurakenteella. (Puuinfo.fi k; Puuinfo.fi g, 2.)



KUVA 12. Palonsuojaukseen käytettäviä rakennusmateriaaleja (Puuinfo.fi k)

Suojaerhous suojaa alla olevaa rakennetta syttymiseltä, hiiltymiseltä ja muulta vaurioitumiselta. Jotta palonsuojaus voidaan mitoittaa, palonsuojaukseen käytettävästä materiaalista on tiedettävä aika, jonka se pystyy suojaamaan takanaan olevaa suojattavaa rakennetta. Palonsuojaukseen käytettäviä materiaaleja ovat kipsi-, mineraalivilla- ja puulevyt.(kuva 12). Näiden materiaalien yhdistelmää voidaan myös käyttää. Joissakin tapauksissa puu voidaan myös paneloida. Ajallisesti parhaimman palonsuojan antaa kipsilevy ja erityisesti palotilanteisiin suunniteltu palokipsilevy. Kipsilevy koostuu kipsistä, paperista ja lisäaineista. Kipsi sisältää kidevettä, joka antaa kipsilevyille paloa suojaavan rakenteen. Palokipsilevyä on vahvistettu lisäämällä sen sisäosiin lasikuitua. Pintaluokka- ja suojavaerhousvaatimukset tulee muistaa palonsuojausta suunniteltaessa. Kaikki P2-luokan rakennukset vaativat suojavaerhousen. (Puuinfo.fi j, 2-9; Puuinfo.fi k.)

Rakennusmateriaalit, lukuun ottamatta lattiapäällysteitä, luokitellaan niiden palo-ominaisuukisen perusteella eri paloluokkiin. Tarvikkeille on olemassa seitsemän erilaista paloluokkaa, joita merkitään kirjaimilla ja kirjain-numero-yhdistelmillä. Vaativin paloluokista on A1- luokka. Tähän luokkaan kuuluvat rakennusmateriaalit eivät osallistu paloon lainkaan. A2 -luokan materiaali osallistuu paloon erittäin rajoitetusti, esimerkiksi kipsilevy täyttää tämän luokan vaatimuksen. Paloluokkaan B kuuluvat tuotteet osallistuvat paloon hyvin rajoitetusti. Palosuojattu puu kuuluu luokkaan C, sillä tämän paloluokan tuotteet osallistuvat paloon rajoitetusti. Yleisesti puutuotteet kuuluvat luokkaan D, sillä puun osallistuminen paloon on hyväksyttävissä. E paloluokan rakennusmateriaali osallistuu paloon ja tämän luokan tuotteiden osallistuminen paloon on hyväksyttävä. Jos rakennusmateriaali ei polttokokeiden perusteella kuulu mihinkään edellä mainittuun paloluokkaan, kuuluu tuote paloluokkaan F. (Jantunen 2016,7.)



KUVIO 1. Suuntaa antavia esimerkkejä seinä ja kattomateriaalien paloluokista (Puuinfo b, 2)

Suojaverhousluokkia on kaksi. K₂ 10-luokassa suojausaika on 10 minuuttia ja K₂ 30-luokassa suojausaika on 30 minuuttia. Suojaverhousluokan määrää rakennuksen tyyppi. Suojaverhouksen rakennustarvikkeille on omat paloluokat. Paloluokat merkitään kirjain-numero-yhdistelminä. Kuvio 1 antaa esimerkkejä eri katto- ja seinämateriaalien paloluokista. (kuvio 1). Seuraavalla sivulla olevasta taulukosta nähdään eri puutuotteiden paloluokkia. (taulukko 1). Suojaverhouksen paloluokkavaatimus voi esimerkiksi olla A2-s1, d0, joka täyttää P2 – luokan yli 2-kerroksisen rakennuksen sisäpuolisten kattojen ja seinien verhousvaatimukset. Paloluokkavaatimus kertoo, ettei rakennusmateriaali osallistu paloon. Savuntuotto on rakennusmateriaalilla hyvin vähäistä, eikä siitä lähde palavia pisaroita tai muita osia. Kipsilevy on hyvä esimerkki tällaisesta rakennusmateriaalista. (Jantunen 2016,6-8; Puuinfo.fi j, 2.)

TAULUKKO 1. Eri puumateriaalien paloluokkia (Puuinfo.fi j, 6)

SAHATAVARA, LIIMAPUU, LVL, CLT			
Tuote ¹⁾	Keskitiheys	Paksuus [t]	Paloluokka
Sahatavara	$\geq 350 \text{ kg/m}^3$	$\geq 22 \text{ mm}$	D-s2, d0
Liimapuu EN 14080	$\geq 380 \text{ kg/m}^3$	$\geq 40 \text{ mm}$	D-s2, d0
Kerto [®] LVL (kauppanimi) ²⁾	Tuotekohtainen	Kaikki paksuudet ³⁾	D-s1, d0
CLT-Cross Laminated Timber (kauppanimi) ²⁾	Tuotekohtainen	Kaikki paksuudet ⁴⁾	D-s2, d0 ja D _E -s1

Vilittöet
¹⁾ Asennettujen tuotteiden pinnat saa päällystää normaaleilla pinnoitteilla (lakat, maalit, öljyt).
²⁾ Muiden tuotetoimittajien tapauksessa pintaluokka tuotteen CPD sertifikaatin mukaan.
³⁾ Kaikki Kerto[®] LVL kauppanimen alle kuuluvien tuotteiden paksuudet (perustuu testaus- ja luokitusraportteihin).
⁴⁾ Kaikki CLT-Cross Laminated Timber kauppanimen alle kuuluvien tuotteiden paksuudet (perustuu testaus- ja luokitusraportteihin).

Suojaverhous ja palosuojaus eivät ole synonyymeja. Suojaverhousaikaina suojaverhouksessa ei saa esiintyä vaurioita, josta palo pääsee vaurioittamaan suojattavaa rakennetta. Suojaverhous rajoittaa palon kehittymistä estämällä sen alla olevia palolle herkemmin alttiita rakenteita ja rakennusmateriaaleja osallistumasta paloon. Palosuojausajan sisällä palosuojauksessa saa esiintyä halkeamia, kapaleiden irtoamista ja lieviä vaurioita, mitä suojaverhousaikana ei sallita. Liitokset, kiinnikkeet, läpiviennit ja muut asennukset eivät saa heikentää suojattavan rakenteen palonkestävyyttä. Hoikat puurakenteet ja liitokset on suojattava paloeristeellä ja levytyksellä koko vaaditun palonkeston ajaksi. (Puuinfo.fi j, 2; Puuinfo.fi k.)

Mekaanisten puuliitosten teräsosat ovat yleensä hiiliterästä. Joskus Liitososat on tehty ruostumattomasta teräksestä. Jokainen mekaaninen puuliitos on suojattava palolta. Liitokset voidaan suojata levyverhouksella, paloa kestäväällä ja sulamattomalla lämmöneristeellä (kivivillat), massiivipuulla, palomassalla tai suunnitteleamalla rakenteet niin, ettei palo pääse liitoksiin. Liitokset tulee mitoittaa palotilannetta varten. Jos liitos on täysin suojattu palolta, riittää palotilanteen mitoittamiseksi liitoksen murtorajatilan mitoitus. Mahdollista palotilannetta voidaan myös ennakoida mitoittamalla liitos ylisuureksi. Jos liitoksen palovaatimus on yli R 30, liitos on aina palosuojattava. (Puuinfo.fi k.)

Puukerrostalot varustetaan yleensä automaattisella sammutuslaitteistolla. Sammutuslaitteisto estää palon kehittymistä ja pitää palon kurissa ennen palokunnan saapumista. Sammutuslaitteiston suunnittelu vaati lähtötietoja suojattavista tiloista ja niiden koosta. Suojattavien tilojen käyttötarkoitus ja toiminta-aika vaikuttavat sammutuslaitteiston valintaan. Korkeapainevesisumu- sammutusjärjestelmää

käytetään yhä useammin automaattisena sammutusjärjestelmänä haastavissa tiloissa. Palotilanteessa se sumuttaa vettä palavaan tilaan. Sammutusveden ollessa sumun muodossa, rakenteet eivät kastu liikaa. Vesisumu toimii kolmiulotteisesti, joten vesi ulottuu paikkoihin mihin perinteiset vesisammutuslaitteet eivät päästä. (Markku Kauriala Oy; Puuinfo.fi k.)

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää millainen on puukerrostalo. Ennen opinnäytettä olin suorittanut puukerrostaloista opintojakson viime syksynä, joka johdatti hyvin aiheeseen. Työ toteutettiin keräämällä tietoa internetistä ja kirjoista. Tieto puurakentamisesta on helppoa löytää, vaikka puukerrostalot ovat melko uusi asia suomalaisessa rakentamisessa. Mekaanisista puuliitoksista sen sijaan oli vaikeampaa saada tietoa. Työn toisena tavoitteena oli suunnitella mekaaninen puuliitos puukerrostaloon. Liitossuunnittelu ohjasi kirjallisuustutkimusta, sillä aiheet joita työssä käsitellään liittyvät liitoksen suunnitteluun. Suunnittelu oli haastavampaa, sillä liitossuunnittelusta minulla ei ollut kokemusta. Suunniteltavaan kohteeseen ei myöskään ollut valmista puuliitosta. Lähtötietojen pohjalta suunniteltiin liitos, josta mitoitettiin tappivaarna- ja liimaruuviliitos.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin tammikuussa 2017. Opinnäytetyö opetti minulle paljon uutta puurakentamisesta ja mekaanista puuliitoksista. Osaamiseni puurakentamisesta lisääntyi ja sain kokemusta liitoksien mitoittamisesta. Opinnäytetyössä opittua voin hyödyntää tulevissa työtehtävissä. Opinnäytetyö on projekti jota tehdään yksin, mutta projektiin tarvitaan muiden tukea ja ohjausta. Työn aikana opin, kuinka tärkeää on projektin aikatauluttaminen ja aikataulussa pysyminen. Kevät on ollut pitkä, mutta monien ylä -ja alamäkien kautta on lopulta päästy maaliin.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

JANTUNEN, Jorma. 13.12.2016. Ympäristöministeriön rakennusten paloturvallisuudesta. Ympäristöministeriö [Muistio]. [Viitattu 2017-01-26] Saatavissa:

<http://www.ymp.fi/download/noname/%7BC5764853-16C9-4269-9B75-8D98276E7FBB%7D/123506>

KEVARIMÄKI, Ari. 07.05.2014. CLT päivitykset RIL-205-1-2009 ohjeeseen. RIL 205-1-2009. [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-03-27] Saatavissa:

www.ril.fi/kirjakauppa/attachment/download/2656b4dddf8a0752ec8e3d392e1a9c6f

KILPELÄINEN, Mikko, UKONMAANAHO, Antti ja KIVIMÄKI, Marko. 2001. Avoin puurakennusjärjestelmä – elementtirakenteet [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2017-04-09] Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-elementtirakenteet/elementtirakenteet.pdf>

KRYSSI, Eemeli 2013. Puukerrostalo. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikka. Diplomityö. [Viitattu 2017-02-01]. Saatavissa:

<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21966/Kryssi.pdf?sequence=1>

MARRKU KAURIALA OY. Toiminnallinen palotekninen suunnittelu [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-02-20] Saatavissa: <http://www.kauriala.fi/palvelut/toiminnallinen-palotekninen-suunnittelu>

PUUPROFFA RY. Pulttiliitos [digikuva]. Puuproffa tietoa taodon tukena[verkkajulkaisu]. Sijainti:

http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/rakennusliitokset

PUUINFO.FI a. CLT-ristiinliimattu massiivipuulevy [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-01-26] Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber/clt.pdf>

PUUINFO.FI 19.03.2012 b. Eri puumateriaalien paloluokkia [Taulukko]. Puuinfo. Sijainti:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/pintojen-ja-katteiden-paloluokat.pdf>

PUUINFO.FI c. Liimaruuvit pilarikenkäliitoksessa [kuva]. Pilarin alapään liimaruuviliitos [tekninen tieto]. Sijainti:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/pilarin-alapaan-liimaruuviliitos/pilarinalapaanliimaruuviliitos.pdf>

PUUINFO.FI d. Metsä, puu ja ilmasto[verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-01-29] Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/puutieto/suomen-mets%C3%A4t/mets%C3%A4t-puu-ja-ilmasto>

PUUINFO.FI 19.03.2012 e. Pintojen ja kattojen paloluokat [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-03]
Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/pintojen-ja-katteiden-paloluokat.pdf>

PUUINFO.FI f. Pilari-palkki runkoinen puukerrostalo [digikuva]. Metsä Wood Kerrostalojärjestelmät[verkkajulkaisu]. Sijainti: <http://www.puuinfo.fi/tuote/mets%C3%A4-wood-kerrostaloj%C3%A4rjestelm%C3%A4>

PUUINFO.FI, 2013-02-26 g. Puurakenteen palomitoitus [tiedote]. [Viitattu 2017-04-04] Saatavissa:
<http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/puurakenteen-palomitoitus>

PUUINFO.FI h. Puurakenteinen tilaelementti [digikuva]. Puuinfon puutieto[verkkajulkaisu]. Sijainti:
<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakenteet/puukerrostalon-suunnittelu/puukerrostalon-rakenteet>

PUUINFO.FI i. Puukerrostalon toiminnallinen palotekninen suunnittelu [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-03] Saatavissa:
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puukerrostalon%20toiminnallinen%20palotekninen%20suunnittelu.pdf>

PUUINFO.FI, 2016-05-02 j. Tekninen tiedote Suojaverhous [tiedote]. [Viitattu 2017-03-27] Saatavissa:
http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/TEKNINEN_TIEDOTE_Suojaverhous.pdf

PUUINFO.FI, 2013-08-26 k. Vaativien puurakenteiden suunnittelukoulutus [luentomateriaalit]. Materiaali oppilaitoksen verkossa. Ei julkisesti saatavilla.

Puuinfo.fi/node/1589 l. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-03-09]. Saatavissa:
<http://www.puuinfo.fi/node/1589> Polku: Puukerrostalo-esite (pdf)

STORA ENSO OYJ. LVL by Stora Enso X-laatu [verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-02-20] Saatavissa:
http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/LVL_A4_factsheet_X_Grade_FI_Puumerkki_080916.pdf

TIMBERBIZ. CLT-elementti [digikuva]. Xlam feeding the need for CLT [verkkajulkaisu]. Sijainti:
<https://www.timberbiz.com.au/xlam-feeding-the-need-for-clt/>

TOLPPANEN Janne, KARJALAINEN Markku, LAHTELA Tero, VILJAKAINEN Mikko. 2013. Suomalainen puukerrostalo – Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Tampere: Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino Oy

ULLAKKO, Keijo. 15.03.2012. Teolliset puurakenteiset tilaelementit ratkaisu rakentamisen kosteusongelmiin. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-04-04] Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puurakentamisen-roadshow-2012-luentoaineistot/Ullakko%20Puurakentaminen%202012.pdf>

VUORINEN, Tiina ja JANTUNEN, Jorma 1997. Järeän sahatavaran käyttö rakennuksessa, rakennusjärjestelmät ja liitokset. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2017-04-03] Saatavissa:

<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/438854>

WIN-HANKE. LVL- ja CLT-rakentaminen esimerkkejä [verkkójulkaisu]. [Viitattu 2017-04-09] Saatavissa: http://www.win-hanke.fi/images/LVL-_ja_CLT-rakentaminen.pdf

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ 2014. Puurakenteiden vetorasitetut ja liimatut terästanko- ja ruuviliittimet [verkkójulkaisu]. [Viitattu 2017-04-10] Saatavissa:

<http://www.ym.fi/download/noname/%7B0CAA456C-4A1E-4B96-A14F-8048E6B715B5%7D/108693>