



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LVL- JA CLT-RAKENTEISEN PUUKERROSTALON PALOTURVALLISUUS

TEKIJÄ: Karoliina Hyyryläinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Karoliina Hyyryläinen	
Työn nimi LVL- ja CLT-rakenteisen puukerrostalon paloturvallisuus	
Päiväys	09.05.2019
Sivumäärä/Liitteet	46
Ohjaaja(t) Rakennetekniikan yliopettaja, TkT Arto Puurula ja rakennetekniikan lehtori, DI Matti Mikkonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli koostaa teoriakokonaisuus puukerrostalon paloturvallisuudesta. Opinnäytetyö sisältää tietoa puukerrostalon paloturvallisuudesta, toiminnallisesta palomitoituksesta ja sen eri vaiheista. Työssä on käsitelty myös puuta ja insinööripuutuotteita yleisesti sekä niiden eri ominaisuuksia. Puukerrostalojen rakentaminen on nousussa ja niiden rakentamisen nopeuttamista pidetään ekologisista syistä tärkeänä, mutta niiden paloturvallisuudesta ja paloturvallisuussuunnittelusta on vielä melko vähän tietoa saatavilla.</p> <p>Työssä perehdyttiin ensin teoriatietoon puusta rakennusmateriaalina ja insinööripuutuotteisiin. Tämän jälkeen keskityttiin käsittelemään teoriatietoa puurakentamisen paloturvallisuudesta ja toiminnallista palomitoitusta, joissa esimerkkitapahtuna käytettiin Light House Joensuuta.</p> <p>Työn tuloksena muodostui laaja teoriakokonaisuus insinööripuutuotteista ja puukerrostalon paloturvallisuudesta. Työn tuloksista voidaan todeta, että puukerrostalo on paloturvallisuudeltaan vähintään yhtä turvallinen, kuin betonirunkoinen kerrostalo.</p>	
Avainsanat puukerrostalo, LVL, CLT, paloturvallisuus, toiminnallinen palomitoitus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Karoliina Hyyryläinen			
Title of Thesis Fire Safety of Apartment Blocks Built with LVL and CLT			
Date	9 May 2019	Pages/Appendices	46
Supervisor(s) Mr Arto Puurula, PhD, Principal Lecturer and Mr Matti Mikkonen, MSc, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>Construction of wooden apartment blocks has become more common in the past years and because of ecological reasons it is considered important to increase the building further. However, there is still only little knowledge available on the fire safety of wooden apartment blocks.</p> <p>The aim of this thesis was to gather theoretical information on the fire safety of wooden apartment blocks, their functional fire design and the different stages. In addition, managed wooden products in construction and engineered wood were discussed.</p> <p>First, the theoretical information on wooden products in construction and engineered wood was studied. After that, the theoretical information on wooden construction and functional fire design were discussed. Light House Joensuu was used as an example of functional fire design.</p> <p>As a result of the thesis was an up-to-date information package about engineered wood and the fire safety of wooden apartment blocks. Based on the results of the thesis, a wooden apartment block is as safe as a concrete apartment block in regard to fire safety.</p>			
<p>Keywords wooden apartment block, CLT, LVL, fire safety</p>			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on kirjallisuustutkimus puukerrostalon paloturvallisuudesta. Työ sisältää tietoa puurakentamisen palomääräyksistä, toiminnallisesta palomitoituksesta sekä insinööripuutuotteista.

Haluan kiittää opinnäytetyön ohjaajia Arto Puurulaa ja Matti Mikkosta työn ohjauksesta, sekä kiitän läheisiäni tuesta ja kannustuksesta.

Kuopiossa 09.05.2019

Karoliina Hyyryläinen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Tavoitteet ja työn tausta	7
2	PUUKERROSTALO LIGHT HOUSE JOENSUU	8
2.1	14-kerroksinen puukerrostalo	8
2.2	Rakenteet.....	9
2.2.1	Ulkoseinät	9
2.2.2	Väliseinät.....	11
2.2.3	Välipohjat	12
2.2.4	Yläpohja	13
2.3	Rakennusvaihe	13
3	PUU MATERIAALINA	15
3.1	Puun ominaisuudet	15
3.1.2	Lujuustekniset ominaisuudet.....	15
3.1.2	Lämpötekniset ominaisuudet.....	16
3.1.3	Palotekniset ominaisuudet	17
3.1.4	Kosteustekniset ominaisuudet	17
3.1.5	Äänitekniset ominaisuudet	18
4	LVL	20
4.1	T-laatu	20
4.2	S-laatu	21
4.3	X-laatu	21
4.4	LVL:n edut	21
4.5	LVL-rakentaminen	21
4.6	LVL:n paloturvallisuus	22
5	CLT	23
5.1	CLT:n edut	24
5.2	CLT-rakentaminen	24
5.3	CLT:n paloturvallisuus	25
6	PUURAKENTEEN PALOTURVALLISUUS.....	26
6.1	Palomääräykset	27
6.2	Palokuormat	28

6.3	Paloluokitus.....	29
7	TOIMINNALLINEN PALOMITOITUS.....	30
7.1	Lainsäädäntö	31
7.2	Toiminnallisen palomitoituksen lähtökohdat	31
7.3	Toiminnallisen palomitoituksen prosessi	31
7.4	Toiminnallisen paloteknisen suunnitelman sisältö	32
7.5	Toiminnallisen palomitoituksen edut.....	33
8	LIGHT HOUSE JOENSUUN PALOTURVALLISUUS.....	34
8.1	Light House Joensuun toiminnallinen palomitoitus.....	34
8.2	Paloskenaariot	34
8.3	Rakenteiden palosuojaus	35
8.4	Savunpoistoluukut.....	36
8.5	Automaattinen sammutusjärjestelmä	37
8.6	Paloräystäs.....	39
8.7	Julkisivun palokatkot	40
8.8	Talotekniikan läpivientien palokatkot	41
9	YHTEENVETO.....	44
10	LÄHTEET	45

1 JOHDANTO

1.1 Tavoitteet ja työn tausta

Puukerrostalorakentaminen on ekologinen ja nopeasti kehittyvä kerrostalorakentamisen muoto. Opinnäytetyössä oli tavoitteena tutkia CLT- ja LVL-rakenteisen puukerrostalon paloturvallisuutta. Tavoitteena oli myös perehtyä insinööripuutuotteiden käyttöön rakennusmateriaalina sekä niiden eri ominaisuuksiin. Esimerkkikohteena käytettiin Joensuuhun rakenteilla olevaa Light House Joensuuta. Kohteeseen tulee 14 kerrosta ja valmistuessaan se tulee olemaan Suomen korkein puukerrostalo. Puun käyttö kerrostalorakentamisen runkomateriaalina tarjoaa ekologisen vaihtoehdon yleisesti käytössä olevalle betonille. Uusiutuva puu on ympäristön kannalta vastuullinen materiaali ja puukerrostalo toimii merkittävänä hiilivarastona.

Puurakentamisella on pitkät perinteet Suomessa. Puusta on Suomessa rakennettu kautta aikojen, aina sodista nykyaikaan asti. Puun käytön lisääminen kerrostalorakentamisessa on kasvava trendi Suomessa ja muualla Euroopassa. Puun käytön lisäämisellä rakentamisessa voidaan pienentää rakentamisen ympäristövaikutuksia, saada lisättyä työpaikkoja ja hyödynnettyä kotimaisen uusiutuvan materiaalin käyttöä. Näillä on merkittäviä positiivisia vaikutuksia Suomen talouteen.

Suomalainen puukerrostalorakentaminen on nopeaa, energiatehokasta sekä ekologista ja siinä hyödynnetään tehokkaasti kotimaisia uusiutuvia materiaaleja. Puun käyttöön kerrostalon runkomateriaalina liittyy paljon ennakkoluuloja, jotka häviävät tietoisuuden ja kokemuksen lisääntyessä.

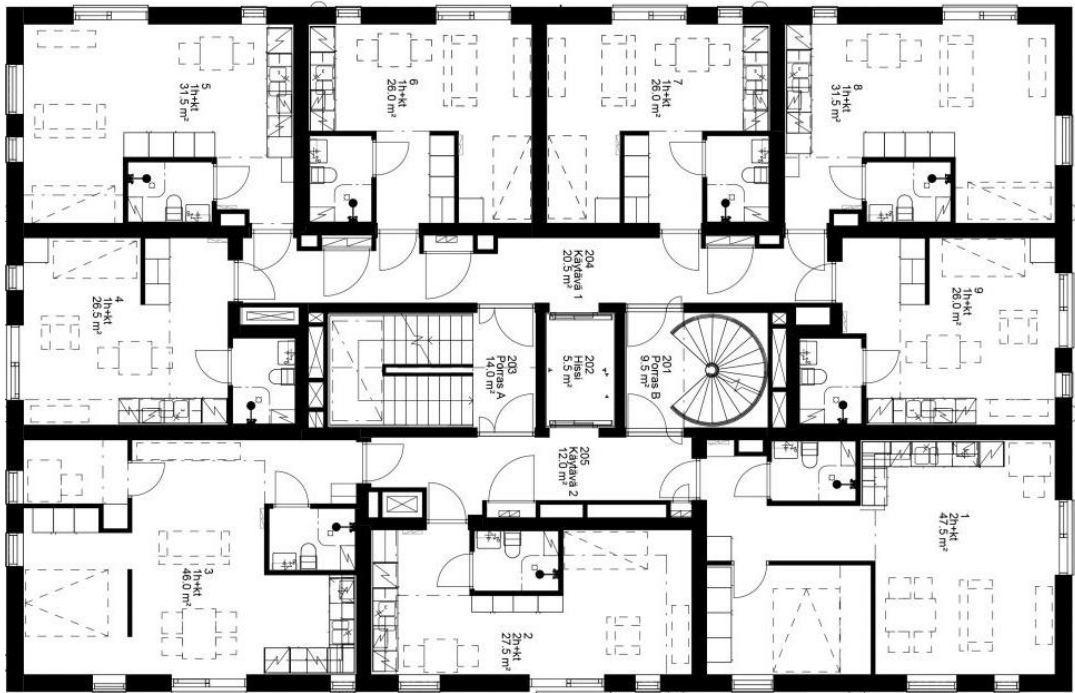
2 PUUKERROSTALO LIGHT HOUSE JOENSUU

2.1 14-kerroksinen puukerrostalo

Suomen korkein puukerrostalo nousee Joensuun Penttilän kaupungiosaan kortteliin nro 94, tontille nro 1. Light House Joensuu on 14-kerroksinen ja 50 metriä korkea hissillinen asuinkerrostalo, jossa on 4800 kem². Opiskelijoiden nykyiseen asumiskulttuuriin sopivasti rakennuksen asunnot ovat pääosin pieniä. Rakennukseen tulee opiskelija-asuntoja yhteensä 117 kpl, joista 91 kpl on yksiöitä, sekä kaksioita on 26 kpl. Rakennuksen kaikki asuinkerrokset ovat identtisiä keskenään. Jokaisessa asunnossa on asuntokohtainen ilmanvaihto. Asukkaiden yhteistilat sijaitsevat talon ensimmäisessä kerroksessa. Ensimmäinen kerros on paloturvallisuuden takia betonirakenteinen. Rakennuksen kerroskorkeus on 3,1 metriä ja huonekorkeus on 2,7 metriä. (Joensuunelli.fi)



KUVA 1. Havainnekuva kohteesta Pielisjoen rannalla (Arcadia.fi)



KUVA 2. Pohjapiirustus asuin kerroksesta, kaikki asuin kerrokset ovat identtisiä keskenään (Arcadia.fi)

Joen läheisyyden takia tontin maaperä on savista sekä siinä on moreenia ja kalliota, joten rakennus rakennetaan teräspaalujuen päälle. Teräsbetonianturat on valettu paalujuen päälle ja sen päälle rakennetaan teräsbetoninen alin kerros. Teräspaaluista suurin osa on lyöntipaaluja ja osa paaluista on porattuja ja injektoituja vetopaaluja. Osa paaluista on lyöty vinoon vastaanottamaan vaakakuormia.

2.2 Rakenteet

2.2.1 Ulkoseinät

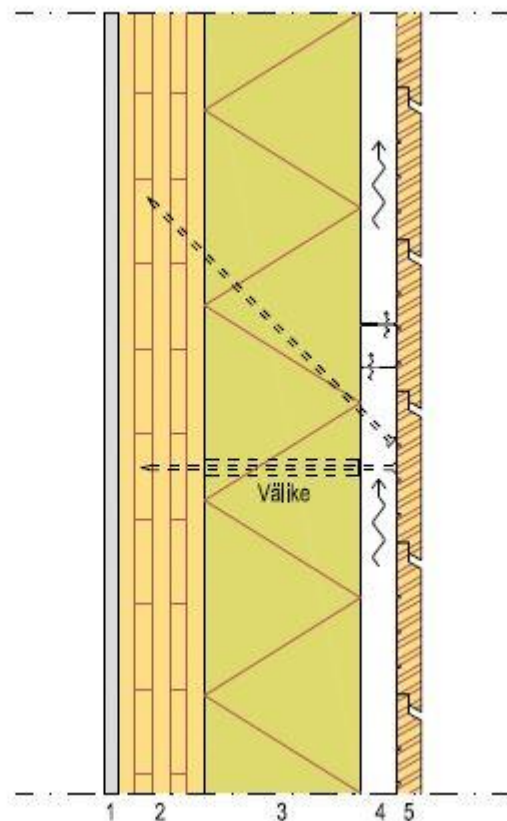
Light Housessa on käytetty LVL-viilupuuta seinärakenteisiin. Suurin osa Stora Enson toimittamista massiivipuu-elementeistä on Stora Enson Varkauden tehtaalla valmistettavaa LVL-viilupuuta. Rakennuksen ensimmäinen kerros ja ensimmäisen kerroksen väestönsuoja tehdään betonista. Rakennuksen hissikuilu totutetaan massiivipuurakenteisena. (Puuinfo.fi a.)

LVL-runkoisessa ulkoseinässä lämmöneristys tehdään aina kantavan rungon ulkopuolelle. Jos eristys tehdään sisäpuolelle, niin on riskinä kosteuden tiivistyminen kantavan rungon ja eristeen väliin. LVL-rakennetta käyttäessä voidaan lämmöneristettä vähentää, sillä puu itsessään toimii hyvin lämmöneristeenä. Seinien sisäpuolelle asennetaan työmaalla höyrynsulku.

Ulkoseinässä sisäpuolella käytetään 18mm kuitukipsilevyä suojaamaan kantava runko palolta. Materiaalin tulee olla K230 luokan täyttävä suojaverhous ja tuotteen tulee täyttää A2-s1, d0 ominaisuudet. Nämä vaatimukset tarkoittavat sitä, että tuotteen osallistuminen paloon on erittäin vähäinen ja

palavia pisaroita ei synny, sekä savun tuotto on rajoitettu. Ulkoverhouksen ja tuulensuojalevyn välissä olevassa tuuletusraossa on 1 palokatko kerrosta kohden.

Kantavat LVL-seinäelementit toimivat jäykistävinä rakenteina. Rakenteen jäykistys tapahtuu jänneterästangoilla, eli puurakenteet sidotaan niillä alaosan betonirakenteeseen. Seinäelementteihin porataan 40 mm reikä 22mm:n jänneterästankoa varten. Rakenne on toteutettu siten, että alimmassa kerroksessa jänneterästankoja on 94 kappaletta. Tankojen määrä pienenee aina 3 kerroksen välein, joten näistä jänneterästangoista ylimpään 14. kerrokseen asti menee 34 kappaletta. Tankojen jäykistys ja lukitus tehdään kolmen kerroksen välein. Jäykistys tapahtuu siten, että jäykistyskohtaan asennetaan ensin kuormansiirtolevy ja mutteri. Muhvi asennetaan tankoon, jos tangosta on jatkos ylöspäin. Elementit nostetaan paikoilleen ja sen jälkeen pujotetaan jänneteräs reikään. Kun liitos on valmis, niin elementin alaosassa oleva kolo betonoidaan umpeen. (Rautio 2019-03-15)

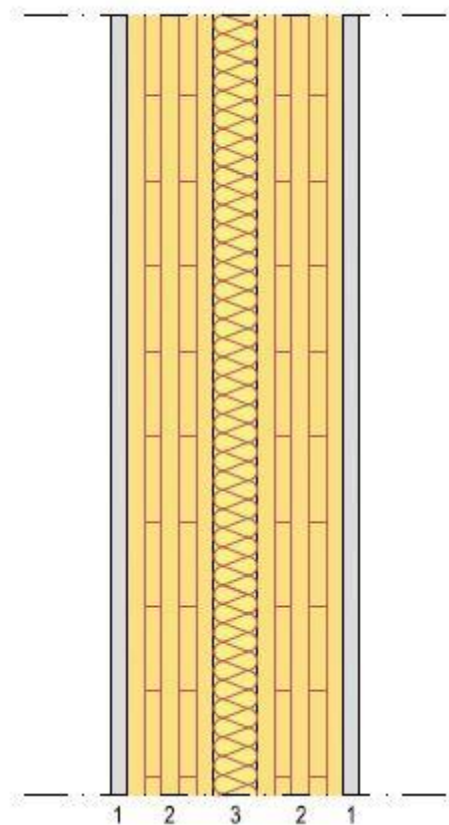


KUVA 3. Esimerkki ulkoseinä rakenteesta (Lahtela 2018)

Nro	Rakennekerros	Luokka	Paksuus
1	Palokipsilevy	K ₂ 10, A2-s1, d0	2x15mm
2	LVL	D-s2, d2	100mm
3	Kova villa	A2-s1, d0	180mm
4	Kiinnityskoolaus k600	D-s2, d2	
	Palokatkot tuuletusraossa 1 kpl/kr		
5	Ulkoverhouspaneeli	D-s2, d2	28 mm

2.2.2 Väliseinät

LVL- seinäelementit ovat yhden kerroksen korkuisia ja pituudeltaan enintään 16 metriä. Kantavilla väliseinillä rakenteen paksuus riippuu sille tulevista kuormista. Seinä tulee mitoittaa tapauskohtaisesti, mutta pääasiassa ylemmissä kerroksissa voidaan käyttää ohuempaa levyä pienempien kuormien takia. Kantavissa väliseinissä käytetään palosuojausena kaksinkertaista 15mm palokipsilevyä. Jotta väliseinän ääneneristävyytsvaatimukset täyttyvät, niin ääneneristeenä käytetään 50mm mineraalivillaa.



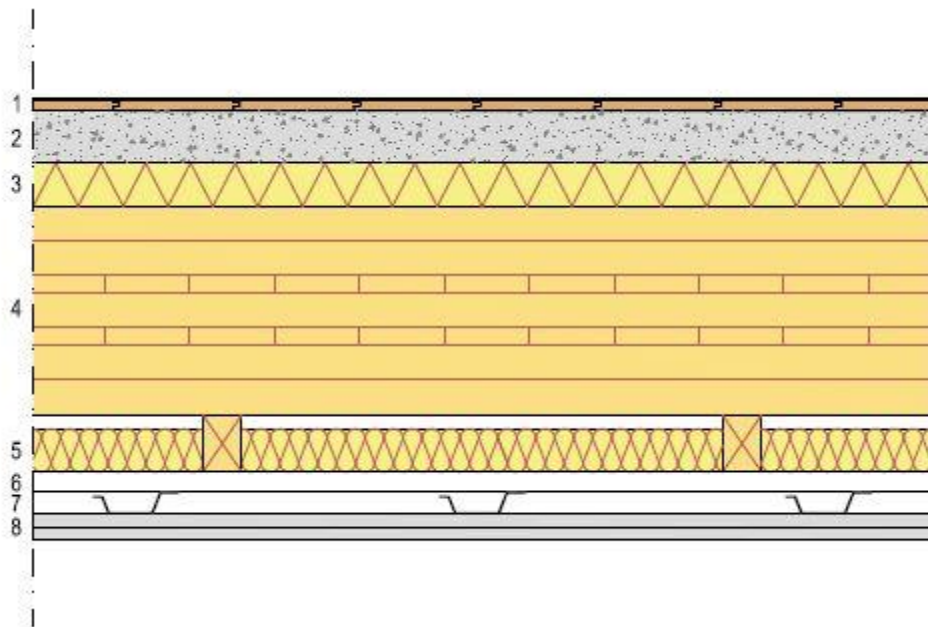
KUVA 4. Esimerkki huoneistojen välisestä väliseinästä (Lahtela 2018)

Nro	Rakennekerros	Luokka	Paksuus
1	Kuitukipsilevy	K ₂ 30, A2-s1, d0	2x15mm
2	LVL	D-s2, d2	100mm
3	Mineraalivilla ääneneristeenä	A2-s1, d0	50mm

2.2.3 Välipohjat

Välipohjat on rakennettu ristiinliimatusta puusta, eli CLT:stä. Light House Joensuun CLT on peräisin Itävallasta. Välipohjat on tehty 2,5 metriä leveistä CLT-elementeistä, jotka on ruuvattu kiinni. Välipohjissa käytetään usein yhdistelmä rakenteita, jotta ääneneristävyys- ja palomääräykset toteutuvat. Light Housen välipohjissa on välipohjalaatan päällä 30 mm askelääneneristys sekä 50 mm lattiavalu maakostealla betonilla. Tämän lisäksi elementin alapinnalla on kaksinkertainen kipsilevyverhous parantamassa ääneneristävyttä. Betonivalulla saadaan lisää massaa välipohjaan, joka myös parantaa huomattavasti ääneneristävyttä.

Värähtely- ja taipumamitoitus tulee ottaa huomioon välipohjaa suunnitellessa. Yläkerran askeläänet eivät saa kantautua alakerran asuntoon, joten tämä on tärkeää huomioida äänitekniisiä ratkaisuja miettiessä. Akustisella jousirangalla saadaan ratkaisu tähän ongelmaan, sillä kiinnitetään huoneiston sisäkattomateriaali kantavaan välipohjaan. Akustisen jousirangan idea on, että ylhäältä tuleva välipohjan värähtely vaimenee jousen periaatteita käyttäen.



KUVA 5. Välipohja (Lahtela 2018)

Nro	Rakennekerros	Luokka	Paksuus
1	Lattiapinnoite	-	15mm
2	Betonivalu	K ₂ 30, A2-s1, d0	50mm
3	Askelääneneristevilla	A2-s1, d0	30mm
4	CLT-levy	D-s2, d2	240mm
5	Koolaus k400, mineraalivilla äänenristeenä	D-s2, d2 A2-s1, d0	66mm 50mm
6	Koolaus k400	D-s2, d2	23mm
7	Akustiset jousirangot k400	-	25mm
8	Palokipsilevy	K ₂ 30, A2-s1, d0	2x15mm

2.2.4 Yläpohja

Yläpohja toteutetaan CLT-tekniikalla, ja CLT toimii rakenteen jäykistävänä osana. Yläpohjan eristeiden tulee olla palamattomia. Yleensä yläpohjassa käytetään 500mm eristettä, mutta CLT-rakenteissa yläpohjassa riittää 400 mm eristettä. Aluskatteena tulee käyttää kuitukangaskatetta, joka on diffuusioavoin. Bitumikermikatto ja harjakaton kattoristikot on koottu lohkoiksi maassa ja nostetaan paikalleen valmiina kattoelementteinä.

2.3 Rakennusvaihe

Rakennuttajana toimii Joensuun Elli Oy, joka tuottaa, ylläpitää ja vuokraa opiskelija-asuntoja Joensuussa. Rakennuksen arkkitehtisuunnittelun on toteuttanut arkkitehtitoimisto Arcadia Oy. Puukerrostalon rakennustyöt alkoivat vuoden 2018 alussa ja rakennuksen on määrä olla valmis vuoden 2019 loppuun mennessä.

Puurakenteiden asennustoleranssit ovat samaa luokkaa teräsrakenteiden kanssa, joten esimerkiksi väliseinien varaukset ja aukotukset tehdään CNC-koneella millintarkasti työstäen. Rakennustahti on noin kaksi viikkoa kerrosta kohden. Kun yhden kerroksen kaikki elementit ovat valmiit nostettavaksi paikoilleen, niin nosto tehdään sään salliessa. Jos rakentamisen aikana havaitaan jokin muutoskohde, niin se on helppo toteuttaa, kun elementit tehdään työmaalla ja tieto saadaan välitettyä heti seuraavien kerrosten elementtejä työstäville työntekijöille. Tällöin myös vältetään saman virheen toistuminen ylemmissä kerroksissa.

Noston jälkeen talon rakentaminen jatkuu väliaikaisen katon suojissa (kuva 6), eli ikkunoiden ja julkisivun asennus tehdään katon suojassa. Tällä työtavalla rakentaminen tapahtuu aina säältä suojattuna ja rakentamisvaiheen aikaisilta kosteusvaurioilta vältetään.



KUVA 6. Light House Joensuun rakennustöiden aikana suojana on väliaikainen katto, joka nostetaan pois paikalta, kun elementit asennetaan (Karelia.fi)

Logistiikan kannalta puurakentaminen on erittäin haastavaa, sillä rakennusmateriaalia tulee työmaalle sitä mukaa kun rakennus nousee. Tämän takia toimitusten tulee osua täsmälleen oikeaan aikaan, jotta puuelementit eivät pääse missään vaiheessa kastumaan. Kun kaikki rakennustarvikkeet tulevat määrättyyn mittaan työstettyinä, niin työmaa pysyy automaattisesti siistinä ja puhtaana. Tällöin myös työmaan työturvallisuus paranee huomattavasti. (Joensuunelli.fi)

3 PUU MATERIAALINA

Puu on ekologinen rakennusmateriaali. Puurakentamisen myötä hiilipäästöjä saadaan alennettua merkittävästi. Kun kerralla pystytään kuljettamaan enemmän elementtejä tehtaalta työmaalle, niin kevyen materiaalin myötä rekkakuljetukset vähenevät. Kaikki Light House Joensuuhun tarvittava puutavara mahtuu noin 50 rekkakuljetukseen. Vastaavasti jos rakennus olisi rakennettu betonista, niin tarvittaisiin noin nelinkertainen määrä rekkakuljetuksia.

Suomi on maailmassa yksi parhaista puun kasvualueista. Se luokitellaan kylmään ilmastovyöhykkeeseen, jossa vaihtelevat kylmä talvi ja lämmin kesä. Kesää kestää vain 100 päivää ja tänä aikana tapahtuu puun kasvu. Lyhyt kasvuaika tarkoittaa hidasta kasvua, joka kestää 60 – 120 vuotta. Suomen metsissä olevasta puusta 97 % on mäntyä, kuusta ja koivua. Kaikkiaan Suomessa kasvaa noin 30 eri puulajia. Suurin osa maamme metsistä on sekametsiä eli niissä kasvaa useampaa kuin yhtä puulajia.

Kasvimaantieteessä Suomesta suurin osa kuuluu pohjoiseen havumetsävyöhykkeen alueeseen. Ahvenanmaa ja osa Lounais-Suomesta kuuluvat lauhkean vyöhykkeen sekametsiin. Pohjoisella havumetsävyöhykkeellä maaperä on vähäravinteista ja hapanta, ja metsää muodostavia puulajeja on vähän. Puulajien ulkonäkö ja ominaisuudet vaihtelevat paljon, tämä mahdollistaa puun käytön materiaalina lukuisiin eri tarkoituksiin. (Puuinfo.fi b.)

3.1 Puun ominaisuudet

Puun hitaan kasvun takia syntyy paras mahdollinen suorakuituinen puuaines, eli oksat ovat pieniä ja niitä on harvakseltaan. Puun kasvu on symmetristä, rungot ovat suoraa ja vuosirenkaat ovat paksuudeltaan pieniä ja tiheässä. Nuorpuun osuus on vähäinen ja vahvan sydänpuun osuus suuri. Lopputuloksena on kova, sitkeä, tiivis ja suorasyinen puuaines, jossa puun sisäinen jännitys ja halkeamat ovat vähäisiä. Vähäpihkainen ja tasalaatuinen suomalainen puu on erinomainen materiaali rakentamiseen. (Puuinfo.fi c.)

3.1.2 Lujuustekniset ominaisuudet

Kun puun tiheys kasvaa, niin samalla sen lujuus kasvaa, joten puun tiheyttä arvioitaessa on aina ilmoitettava, missä kosteusprosentissa sen massa ja tilavuus on mitattu. Yleisesti puun tiheys ilmoitetaan ilmakuivatiheytenä, jolloin puun tilavuus ja massa on mitattu puun kosteuden ollessa 15%. Tiheys ilmoitetaan usein myös kuiva-tuoretiheytenä, jolloin puun massa on mitattu kuivana, ja tilavuus kyllästymispistettä noin 30% suuremmassa kosteudessa.

Oleellisesti puun lujuuteen vaikuttaa sen kuormitussuunta syitä vastaan. Syiden suunnassa taivutuslujuus on suoraan verrannollinen puun tiheyden kanssa. Suomalaisen kuusen tiheys on 300 – 470

kg/m³, männyn 370 – 550 kg/m³, ja koivun 590 – 740 kg/m³. Tasa-laatuksella ja virheettömällä puulla taivutuslujuus on suuruudeltaan yhtä suuri kuin vetolujuus. Puun syiden suuntainen vetolujuus on yleensä 10 - 20-kertainen verrattuna puun lujuuteen kohtisuoraan syitä vastaan. Ilmakuivan puun puristuslujuus on noin 50 % sen vetolujuudesta. Puun leikkauslujuus on 10 - 15 % puun syiden suuntaisesta vetolujuudesta. Leikkauslujuutta heikentävät oksat ja puussa esiintyvät muut virheet.

Kimmoisuus ja kulutuskestävyys parantuvat puun tiheyden kasvaessa. Puun kimmomoduuli syiden suunnassa voi olla jopa satakertainen verrattuna puun kimmomoduuliin syitä vastaan kohtisuorassa. Säteen suunnassa kimmomoduuli on noin kaksi kertaa niin suuri kuin kimmomoduuli tangentin suunnassa.

Sillä puun ominaisuudet voivat vaihdella eri tekijöistä riippuen hyvinkin paljon, niin puuta täytyy lajitella käyttötarkoituksen mukaan. Lajittelussa on pääasiassa kaksi tarkastelukriteeriä, jotka ovat puun ulkonäkö ja lujuustekniset ominaisuudet. Lujuuslajittelu tehdään joko silmävaraisesti tai koneellisesti ja puun laatu- ja lujuuslajittelussa 90 % laatukriteereistä kohdistuu puun oksiin.

(Puuinfo.fi c.)

3.1.2 Lämpötekniset ominaisuudet

Puun huokoisuuden vuoksi puun lämmönjohtavuus on melko vähäinen. Lämmönjohtavuus heikkenee puun tiheyden pienentyessä. Puun lämmönjohtavuus on noin kaksinkertainen syiden suunnassa verrattuna lämmönjohtavuuteen syitä vastaan kohtisuorassa. Esimerkiksi männyn lämmönjohtavuus syiden suunnassa on 0,22 W/m°C ja syitä vastaan kohtisuorassa 0,14 W/m°C. Puun kosteuden lisääntyminen lisää lämmönjohtavuutta. Kun puun lämpötila laskee, niin sen lujuus yleisesti lisääntyy. Puun lämpölaajeneminen syiden suuntaan on todella vähäistä. Säteen ja tangentin suunnassa lämpöliikkeet ovat selvästi suurempia. Puun lämpölaajenemiskertoimien ja kosteusikutistumakertoimien suhde puun syiden eri suunnissa on samaa suuruusluokkaa. Mikäli lämpötila vaihtelee toistuvasti, niin se vähentää puun lujuutta. Alle +0°C:n lämpötilassa puussa esiintyy yleensä pakkashalkeamia, kun soluonteloiden vesi jäätyessään laajenee.

Puun lämpökapasiteetti riippuu puun tiheydestä, kosteudesta, lämpötilasta ja syiden suunnasta. Männyn ja kuusen keskimääräinen ominaislämpöarvo +0 – 100°C:ssa on 2300 J/kg°C. Kosteuden lisääntymisen myötä parantuu puun ominaislämpö, koska veden ominaislämpö on suurempi kuin puulla. Männyn lämpökapasiteetti on suhteellisen sama verrattuna tiileen, vaikka puun tiheys tiileen nähden on vain kolmasosa. Puun erinomaisen lämpökapasiteetin vuoksi esimerkiksi LVL-seinä on sellaisenaan kohtuullisen hyvä ulkoseinärakenne. (Puuinfo.fi c.)

3.1.3 Palotekniset ominaisuudet

Kun puun lämpötila nousee 100 °C:seen, niin siitä alkaa höyrystyä kemiallisesti sitoutumaton vesi. Kuivan puun terminen pehmentyminen alkaa 180 °C:n lämpötilassa ja saavuttaa maksiminsa 320 - 380 °C:ssa. Tällöin alkavat hajota puun ligniinin, selluloosan ja hemiselluloosan sidokset. Kosteuden puun pehmentyminen alkaa huomattavasti aikaisemmin, noin 100 °C:ssa.

Puun syttymislämpötilaan vaikuttaa oleellisesti aika, jolloin puu on alttiina lämmölle. Normaalista puu syttyy 250 - 300 °C:ssa. Syttymisen jälkeen puun hiiltymä palotilanteessa on 0,8 mm/min. Palo etenee hitaasti massiivisessa puutavarassa, sillä syntynyt hiilikerroksen suoja puuta palotilanteesta ja hidastaa puun sisäosien lämpötilan nousua ja estää palon etenemistä. Tätä ominaisuutta hyödynnetään massiivipuisten kantavien rakenteiden mitoituksissa. Liimapuulla hiiltymisnopeus on pienempi eli 0,7 mm/min. Puun syttymisherkkyys lisääntyy puun tiheyden ja kosteuden vähentyessä sekä puukappaleen paksuuden pienentyessä. Lisäksi puumateriaalissa olevat terävät kulmat, karkea pinta sekä halkeamat lisäävät palon vaikutusta. (Puuinfo.fi c.)

3.1.4 Kosteustekniset ominaisuudet

Puuhun sitoutuu vettä eri tavoilla, eli se on hygroskooppinen. Puuhun sitoutuu vettä kolmella eri tavalla: nesteinä kapillaarisesti soluonteloiden kautta, höyrynä soluonteloiden kautta sekä molekyylarisenä diffuusiona soluseinämän kautta. Veden massan ja vedettömän puuaineksen massan välisellä suhteella tarkoitetaan puun kosteutta. Normaalikäytössä puun kosteus vaihtelee 8 - 25 painoprosentin välillä riippuen ilman suhteellisesta kosteudesta.

Tasapainokosteus puulla on kutakin ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta vastaava tila, jolloin puun kosteus pysyy vakiona. Puun tasapainokosteus määräytyy ilman suhteellisen kosteuden mukaan. Ilman suhteellinen kosteus ilmoitetaan ilman sisältämän vesimäärän suhteena veden enimmäismäärään sen hetkessä ilman lämpötilassa. Kuivattu puutavara asettuu tasapainokosteuteensa noin parin viikon kuluessa. Puun syiden kyllästymispisteellä tarkoitetaan puun kosteussuhdetta silloin, kun soluseinämät ovat vedellä kyllästetyt, mutta soluonteloissa ei ole vapaata vettä. Kun puu kuivuu, niin se alkaa kutistua, sillä sen kosteus vähenee alle kyllästymispisteen. Puun kastuessa sen laajeneminen loppuu, kun se saavuttaa kyllästymispisteen. Suomen yleisten puulajien kyllästymispiste +20 °C:ssa on noin 30 %.

Puu kutistuu ja laajenee eri tavoin vuosirenkaiden säteen ja tangentin sekä syiden suunnassa. Ilmiöstä käytetään nimitystä anisotropia. Puu kutistuu kuivattaessa sitä täysin märästä absoluuttisen kuivaksi tangentin suunnassa keskimäärin 8 %, säteen suunnassa noin 4 % ja syiden suunnassa vain 0,2 - 0,4 %. Sydänpuu on aina kuivempaa kuin pintapuuta, mistä johtuen puun kuivaus on yleensä haasteellista. Anisotrooppisuudesta ja puun sisäisistä jännityksistä johtuen aiheutuu puun kieroutuminen kuivattaessa.

Puun kosteuskäyttäytyminen on aina huomioitava rakentamisessa. Tästä johtuen aiheutuu esimerkiksi rakennuksen rungon painumista. Lisäksi puun suuri kutistuminen tangentin suunnassa aiheuttaa halkeilua suurikokoiseen puutavaraan. Usein puu halkeaa siitä kohdalta, missä etäisyys pinnasta ytimeen on pienin.

Puun tiheyden kasvaessa kosteuden aiheuttamat kutistuminen ja laajeneminen yleensä lisääntyvät. Puun kuivussa sen lujuusominaisuudet paranevat. Puun vetolujuus on suurimmillaan 6 - 12 %:n kosteustilassa. Puuta kuivattaessa sen lujuusominaisuudet paranevat huomattavasti, kun kosteus alittaa syiden kyllästymispisteen. Lisäksi puurakenteiden mitoituksissa on huomioitava puun kosteus, sillä se vaikuttaa merkittävästi puun lujuuteen.

Puu alkaa vaurioitua, jos sen kosteus pysyy pitkiä aikoja yli 20 %:ssa. Ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on tällöin yleensä yli 80 %. Puu alkaa muutamassa kuukaudessa, jos sitä ympäröivän ilman suhteellinen kosteus pysyy yli 80 %:ssa. Kriittisenä arvona voidaan pitää ilman 70 %:n suhteellista kosteutta. Kun ilman suhteellinen kosteus ylittyy 90 %, niin puu alkaa lahota. Puun homehtumisen ja lahoamisen edellytyksenä on kuitenkin lämpötila, jonka tulee olla + 0 - + 40 °C. Homeitiöt ja lahottajasienet vaativat toimiakseen myös happea ja ravinteita, joita on yleensä paljon puussa ja ympäröivässä ilmassa.

Home ei pysty tunkeutumaan puun pinnasta syvemmälle, joten se ei vaikuta puun lujuuteen negatiivisesti. Homeen levittämät itiöt ovat erittäin haitallisia terveydelle, koska ne voivat aiheuttaa ihmisille monenlaisia allergisia reaktioita ja lieviä myrkytysoireita. Oireita voivat olla esimerkiksi jatkuva nuha, huimaus ja päänsärky. Tämän takia homeen esiintymiseen täytyy aina suhtautua vakavasti.

Puun sinistymisen rinnastetaan usein erheellisesti puun homehtumiseen. Puun sinistymisen on sinistäjäsienten aiheuttamaa värjäytymistä, joka ulottuu myös syvälle puun rakenteeseen. Sinistymisen ei vaikuta oleellisesti puun lujuuteen. Sinistäjäsienet leviävät itiöinä tai rihmaston kasvuna. Sinistäjäsienet eivät voi kehittyä alle +5 °C:n lämpötilassa. (Puuinfo.fi c.)

3.1.5 Äänitekniset ominaisuudet

Puu on kevyt materiaali, joten sellaisenaan sen ääneneristys ei ole erityisen hyvä. Paksu, tiivispintainen ja sileä puurakenne ei myöskään vaimenna ääntä tarpeeksi hyvin, joten puu ei ole yksinään riittävä absorptiomateriaali. Puu johtaa ääntä paremmin syiden pituussuunnassa kuin syitä vastaan kohtisuorassa. Tiivis puurakenne heijastaa ääntä, ja siitä voidaan helposti muodostaa äänen heijastuksia suuntaavia pintoja. Tätä edellä mainittua ominaisuutta hyödynnetään soittimissa ja musiikkisaleissa.

Riittävä ääneneristävyys puuraketeeseen saavutetaan rakenteellisin keinoin hyödyntämällä monikerrosrakenteita. Levyn tai paneloinnin taakse ilmavälin lisäksi asennetaan jokin huokoinen absorptio-

materiaali, esimerkiksi lämmöneristekerros. Tällöin muodostuu levyresonaattori, joka värähdellesään vaimentaa tehokkaasti keveille rakenteille ongelmallisia matalia ääniä. Lisäksi asentamalla puusia rimoituksia tai tekemällä reikiä puupintoihin saadaan aikaan rako- tai reikäresonaattoreita, ja näin saadaan vaimennettua myös keskikorkeita ääniä.

Puuvälipohjien askelääneneristävyyttä parannetaan lisäämällä välipohjan massaa pintabetonivalun avulla tai käyttämällä välipohjan yläpinnassa joustavan kerroksen päälle asennettavia kelluvia pintalattioita. (Puuinfo.fi c.)

4 LVL



KUVA 7. Viilupuu valmistetaan liimaamalla yhteen sorvattuja viiluja (Woodproducts.fi)

Viilupuu on sorvatuista viiluista liimaamalla valmistettu rakenteellinen insinööripuutuote. Suomalainen viilupuu valmistetaan liimaamalla yhteen 3 mm:n paksuisia kuusiviiluja. LVL-tuotteesta riippuen kaikkien viilujen syysuunta on pituussuuntaan tai osa viiluista on liimattu ristiin. Yleensä viilut ovat hiomattomia ja paikkaamattomia. On myös mahdollista valmistaa viilupuuta, jonka lapepinnat ovat sileäksi hiottuja. Myös tavallinen pintaviilu voi olla hiottu. Viilupuuta on saatavilla erilaisilla pintakäsittelyillä ja myös AB-luokkaan painekyllästettynä. Viilupuu määritellään SFSEN 14374 standardin mukaisesti. (Puuinfo.fi d.)

Enimmäisleveys viilupuulla on 2,5 metriä. Nykyaikainen valmistustekniikka mahdollistaa myös 24-25 metrin pituisten elementtien valmistuksen. Kuljetuksen takia enimmäispituus on noin 25 metriä. Toimitettavien palkkien paksuus vaihtelee 27-75 mm välillä ja vakiokorkeudet vaihtelevat valmistaja-kohtaisesti. Vaakarakenteissa viilupuun yleinen jännevälialue on 5-12 metriä. Ala-, väli- ja yläpohjarakenteiden lisäksi viilupuuta käytetään myös aukko- ja tukipalkkeina sekä jäykistävinä osina rakennuksessa.

4.1 T-laatu

T-laatu soveltuu parhaiten seinätolppiin, sillä T-laadun tuotteissa viilukerrosten syysuunta on pitkitäinen. T-laadun etuja ovat mittojen tarkkuus ja kieroutumattomuus sekä rakenteen jäykkyys. T-laatu soveltuu näiden takia kohteisiin, joissa edellytetään rakenteiden mittapysyvyyttä ja suorutta keveydestä tinkimättä. Yleinen käyttökohde on väliseinätolpat. (Puuinfo.fi d.)

4.2 S-laatu

S-laatu soveltuu parhaiten palkkeihin, sillä S-laadussa kaikkien viilujen syysuunta on sama, mikä parantaa materiaalin lujuusominaisuuksia. Lujuutensa, keveytensä ja työstettävyytensä ansiosta S-laatu sopii hyvin rakennusteollisuuden käyttökohteisiin puurunkorakentamisesta palkkeihin, kattorakenteisiin ja valumuotteihin. (Puuinfo.fi d.)

4.3 X-laatu

X-laadussa on ristiinliimatut viilut ja se sopii parhaiten seinä- ja välipohjarakenteisiin. X-laadussa osa viiluista laminoidaan ristiin, jolloin materiaalin mittapysyvyys on normaalia parempi. Se soveltuu moniin käyttökohteisiin erityisesti, kun määräävänä mitoitusperiaatteena on leikkauslujuus tai kun välipohja- tai kattorakenteelta vaaditaan isoa jänneväliä. (Puuinfo.fi d.)

4.4 LVL:n edut

LVL on materiaalina kevyt mutta erittäin luja. Sillä on erittäin hyvä kuormankantokyky, se on tasa-laatuista ja sillä on erittäin helppo työstettävyys. LVL:n säänkestävyys määräytyy pääosin puulajin mukaan, mutta sen kosteuslaajeneminen on normaalia puutavaraa pienempää.

4.5 LVL-rakentaminen

LVL eli viilupuu on rakenteellinen puutuote, joka valmistetaan liimaamalla yhteen sorvattuja ohuita viiluja. Viilupua voidaan käyttää kaikessa uudis- ja korjausrakentamisessa, aina teollisuudesta asuinrakentamiseen. LVL-puutuotetta voidaan käyttää kantavina rakenteina palkeissa, pilareissa, ristikoissa, kehissä sekä ikkuna- ja oviteollisuuden komponenteissa. (Puuinfo.fi d.)

Suomessa LVL valmistetaan liimaamalla yhteen 3 mm paksuisia kuusiviiluja (kuva 7). LVL-tuotteesta riippuen viilujen syysuunnat vaihtelevat, niin että kaikkien viilujen syysuunta on tuotteen pituus-suuntaan. Osa viiluista voi olla myös ristiinliimattuja eli kohtisuoraan pituussuuntaan nähden. Enimmäisleveys LVL-elementeillä on yleensä 2,5 metriä, ja niitä on mahdollista valmistaa jopa 24...25 metrin pituisina. (Puuinfo.fi d.)

Materiaalina LVL on kevyttä ja erittäin lujaa, sen yhteen liimattujen kerrosten ansiosta. Kerroksellisuus tekee LVL:stä materiaalina laadultaan tasaista, vahvaa ja mittapysyvää. Myös kuormankantokyky ja työstettävyys ovat LVL:ssä erinomaiset. Muita etuja ovat myös sen tekniset ja rakenteelliset ominaisuudet sekä hyvä saatavuus.

4.6 LVL:n paloturvallisuus

Palotilanteessa LVL:n nimellinen hiiltymänopeus on 0,7 mm/min ja yksidimensionaalinen hiiltymänopeus on 0,65 mm/min. (Puuinfo.fi d.)

LVL:n paloluokitus on D-s1, d0. Joista D on lämmöntuottoa ja liekin leviämistä kuvaava merkintä. S1 on savun tuottoa kuvaava merkintä, sekä d0 on palavien pisaroiden tai osien muodostumista kuvaava merkintä. Eli LVL osallistuu paloon, mutta se on turvallisuuden kannalta hyväksyttävän rajoissa, sekä savun tuotto erittäin vähäinen ja palavia pisaroita ei esiinny.



KUVA 8. CLT-levyt valmistetaan liimaamalla ristikkäin lamellikerroksia (Puuinfo.fi)

CLT-levyt ovat massiivipuisia rakennustuotteita, jotka koostuvat ristiinliimatuista lamelli- eli puulevykerroksista. Käyttökohteesta riippuen lamellikerroksia voi olla 3, 5, 7 tai 8. Ristiinliimauksen ansiosta CLT on luja, tiivis ja hyvin muotonsa pitävä rakennusmateriaali. Materiaali kestää myös hyvin paloa. CLT valmistetaan suurina levyinä, joiden paksuus vaihtelee 51 — 297 mm välillä, leveyden ollessa enintään 4,8 m ja pituuden enintään 20 m. Levyjen suuri koko mahdollistaa nopean rakentamisen ja minimoi levyjen välisten puskuliitosten määrän. Reuna-, sormijatkos- ja pintaliitoksiin käytetään formaldehydivapaita liimoja, jotka ovat ympäristöystävällisiä ja terveydelle turvallisia.

Raaka-aineena CLT-levyssä käytetään yleensä kuusta tai mäntyä. Näkyvissä pinnoissa voidaan käyttää myös muita puulajeja riippuen halutusta lopputuloksesta. Levyyn käytettävät laudat lujuuslajitellaan ja sormijatketaan. CLT-levyn valmistustekniikoita on useita. Keski-Euroopassa yleisin tapa on vakuumiliimata laudat toisiinsa tyhjiötä hyödyntäen. Uudempi tapa on tehdä liimaus puristamalla levyt prässien avulla. Liimaustapoja on kaksi, syrjäliimatussa levyssä lautakerrokset liimataan ensin ehyiksi syrjistään ja vasta sitten päällekkäin tasot ristiin ladottuna. Vaihtoehtoisesti syrjäliimaus voidaan jättää pois ja silloin laudat ladotaan ristiin ja liimaa levitetään vain lautojen lappeelle.

Liimaustapa vaikuttaa levyn ominaisuuksiin, syrjäliimattu levy on täysin ilmatiivis, mutta syrjistään liimaamaton ei. Kosteuseläminen tapahtuu syrjäliimaamattomassa levyssä saumojen kohdilla. Syrjäliimatussa levyssä kuivuminen saattaa aiheuttaa lautojen halkeilua.

Liimauksen jälkeen levyt muotoillaan oikeaan kokoon ja muotoon käyttäen CNC-jyrsintä. Lisäksi ikkuna- ja oviaukot, talotekniikan, kiinnitysten, sekä nostojen tarvitsemat aukot ja kolot työstetään levyihin valmiiksi. Mittatarkkuus CLT:n työstämisessä on 1 mm luokkaa. Levyn pintakäsittely ja viimeistely vaihtelevat levyn käyttökohteen mukaan. Näkyviin jäävät pinnat hiotaan ja pintakäsitellään valmiiksi halutun lopputuloksen mukaisesti.

CLT on yhdistettävissä muihin rakennusmateriaaleihin ja näin ollen tarjoten paljon eri mahdollisuuksia arkkitehtuurille, rakenteille ja tyylille. CLT:n massiivisuus takaa paloturvallisuuden, kestävyuden, hyvän sisäilman sekä viihtyisän äänimaiseman. (Puuinfo.fi e.)

5.1 CLT:n edut

CLT:llä on paljon etuja perinteisiin rakennusmateriaaleihin verrattuna. Merkittäviä etuja ovat lyhyt pystytysaika, helppo asennus ja työstettävyys työmaalla, materiaalin keveys sekä varma talvirakentaminen. CLT-levyjien ja elementtien keveyden ansiosta elementtien asennus työmaalla voidaan tehdä pelkällä autonosturilla, joten työmaalle ei tarvitse rakentaa isoa torninosturia. (Puuinfo.fi e.)

5.2 CLT-rakentaminen

Levyjä käytetään kantavina ja jäykistävinä rakenteina sekä seinissä että lattiarakenteissa. Sisätiloissa levyt voidaan pinnoittaa tai palomääräysten salliessa voidaan jättää sellaisenaan näkyville. Kevyistä ja jäykistä levyistä voidaan työstää mittatarkasti erimuotoisia rakennuselementtejä. Julkisivuissa ikkunat ja ovet voidaan sijoittaa hyvin vapaasti ja lisäksi kulmaikkunat onnistuvat helposti, sillä levymäiset rakenteet toimivat tarpeen mukaan ulokkeina. Myös vapaat muodot ovat mahdollisia, eli esimerkiksi kaarevat reunat.

Ulkoseinissä levyt eristetään normaaliin tapaan, eli eriste tulee sijoittaa CLT-levyn ulkopuolelle. Välipohjissa levyjä voidaan käyttää vaihtoehtoisesti sellaisenaan, yhdessä puupalkiston kanssa tai liittorakenteena betonivalun kanssa. Liittorakenteessa puu toimii rakenteen palosuojana, betoni- tai kipsivalu ääneneristeenä ja kantavuus saavutetaan liittorakenteen myötä. Liittorakenne on myös mahdollista korvata uivilla lattiakerroksilla ja levyä voidaan jäykistää palkeilla. Jos välipohjan ääneneristävyydelle ei ole asetettu erityisiä vaatimuksia, voidaan käyttää pelkästään CLT-levyjä.



KUVA 9. CLT-levyjien paikalleen asennus (Puuinfo.fi)

CLT-levylle ei ole vielä toistaiseksi olemassa eurooppalaista tuotestandardia, joten levyt CE-merkitään eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan. CLT-levyn tekniset ominaisuudet sekä rakenteiden mitoitus ovat valmistajakohtaisia. (Puuinfo.fi e.)

5.3 CLT:n paloturvallisuus

Massiivipuun palonkestävyys on erittäin hyvä. CLT:n kosteuspitoisuus on yleensä noin 12 %. Jotta puu syttyy, sen sisältämän veden on ensin haihduttava. Palotilanteessa puun käyttäytyminen ja hiiltymisnopeus ovat helposti ennustettavissa. Lisäksi pinnan hiiltymisen suojelee sisempiä CLT-kerroksia, joten massiivipuinen rakenne ei romahda palossa. (clt.info)

CLT-levyjien paloluokitus Euroopan komission päätöksen 2003/43/EY mukaisesti on, että kaikki puulevyt, ovat D-s2, d0 ja lattiat Dfl-s1. Joista D on lämmöntuottoa ja liekin leviämistä kuvaava merkintä. S2 ja s1 ovat savuntuottoa kuvaavia merkintöjä ja d0 on palavien pisaroiden muodostumista kuvaava merkintä. Sekä Dfl on liekin leviämistä kuvaava merkintä. Eli CLT osallistuu paloon, mutta se on turvallisuuden kannalta hyväksyttävän rajoissa, sekä savun tuotto on vähäinen tai erittäin vähäinen ja palavia pisaroita ei esiinny.

6 PUURAKENTEEN PALOTURVALLISUUS



KUVA 10. Massiivisen puurakenteen paloturvallisuus perustuu hiiltymän suojaavaan vaikutukseen (Lahtela 2018)

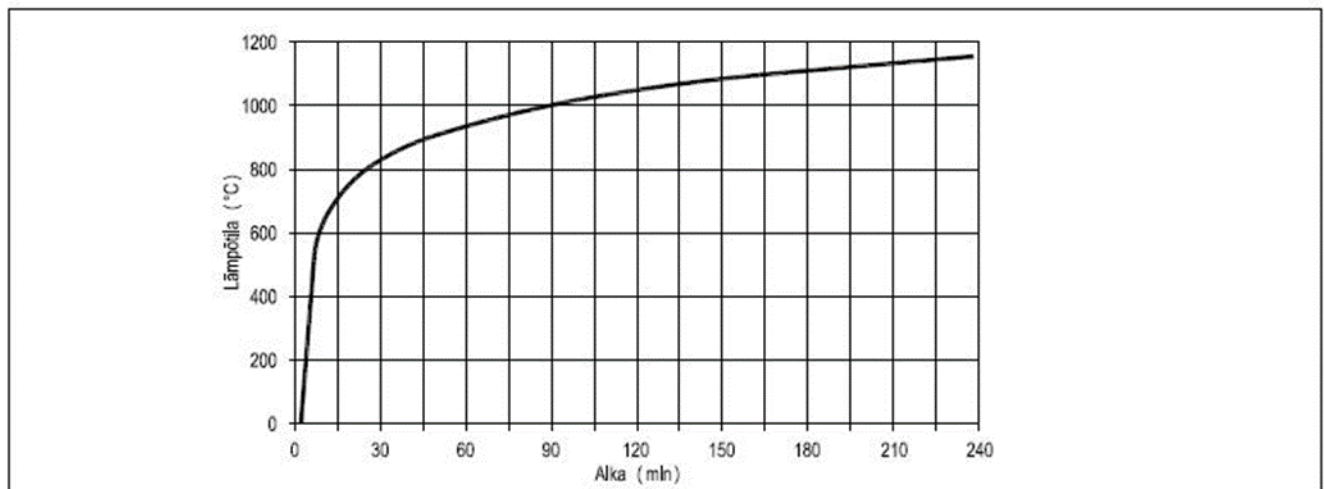
Puurakenteista ajatellaan yleisesti, että ne eivät ole kovin paloturvallisia ja syttyvät helposti. Puurakenteen massiivisuudella puurakennetta saadaan paloturvallisemmaksi sekä kestävämmän palotilanteen sortumatta. Pintakäsittelyllä ja levyttämällä esimerkiksi kipsilevyllä voidaan vaikuttaa puurakenteen syttymiseen ja palonkestoon.

Asuinkerrostalojen paloturvallisuutta yleensä voidaan parantaa monilla eri tavoilla. Henkilöturvallisuuden kannalta keskeisiä asioita turvallisuuden kannalta ovat syttymien vähentäminen, savun hallinta porrashuoneissa ja asuntokohtaisten palovaroittimien toimintavarmuuden parantaminen.

Puujulkisivuun liittyviä paloriskejä pienennetään estämällä ulkoisten syttymien syntyminen rakennuksen seinustalla. Eli rakennuksen seinusta tulee pitää vapaana, esimerkiksi siirtämällä roska- ja autokatokset pois seinän läheisyydestä sekä estämällä autojen pysäköinti seinän vierustalle. Rakennuksen etäisyys naapurirakennuksiin tulee olla vähintään 8 metriä. Ulkoisiin syttymiin liittyviä riskejä pienennetään käyttämällä puukerrostalon ensimmäisen kerroksen runkomateriaalina betonia tai käyttämällä alimman kerroksen ulkoseinien materiaalina vähintään luokan B-s2, d0 rakennustarvikkeita. Palon leviämiskäytännöt parvekkeiden kautta, ullakolle tai yläpohjaan tulee hallita erilaisten rakenteellisten keinojen avulla (Vtt.fi)

Osallistuminen paloon		Savun tuotto		Palavien pisaroiden ja osien tuotto	
Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä
Ei osallistu paloon	A1	Erittäin vähäinen Vähäinen Muu kuin s1 tai s2	s1 s2 s3	Ei esiinny Nopeasti sammuvia esiintyy Muu kuin d0 tai d1	d0 d1 d2
Osallistuu erittäin rajoitetusti	A2				
Osallistuu hyvin rajoitetusti	B				
Osallistuu rajoitetusti	C				
Osallistuminen hyväksyttävää	D				
Käyttäytyminen hyväksyttävää	E				
Käyttäytymistä ei ole määritetty	F				

KUVA 11. Rakennustarvikkeen luokkamerkinnän muodostuminen (Lahtela 2018)



KUVA 12. Standardipalokäyrä kuvaa lämpötilan nousua ajan funktiona (Lahtela 2018)

6.1 Palomääräykset

Osastoivat ja kantavat rakennusosat täytyy suunnitella REI-luokkavaatimusten mukaisiksi käyttäen standardipalokäyrän kuvaamaa palotilannetta. Rakennuksen REI-luokkavaatimuksella tarkoitetaan sitä, että rakenneosan tulee säilyttää kantavuus, savukaasu- ja lämpösäteilytiiviys sekä lämmöneristävyyden vaatitun palonkestoajan. Rakennuksen kantavan rungon materiaali ei vaikuta palotilanteen perusvaatimukseen kantavuuden ja osastoivuuden näkökulmasta.

Puu- sekä betonirunkoisissa asuinrakennuksissa kantavien ja osastoivien rakennusosien palonkesto-vaatimukset ovat samanlaiset. Palotilanteessa rakennusosan kantavuus voidaan osoittaa laskennallisesti Eurokoodi 5:n mukaisilla laskentamenetelmillä. Menetelmät palosuojattujen ja palosuojattomien rakennusosien tarkasteluun sisältyy Eurokoodi 5:en. Palotilanteen kantavuus voidaan vaihtoehtoisesti osoittaa kyseisen standardin mukaisella polttokokeella.

Taulukko 2. Olennaiset vaatimukset paloturvallisuuden suunnittelussa.	
Olennainen vaatimus	Pääasiallisia tekijöitä paloturvallisuuden suunnittelussa
Kantavilla rakenteilla tulee olla vaadittu palonkestävyys	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen paloluokka Palokuormaryhmä Rakennusosien kantavuus R
Palon ja savun kehittyminen ja leviäminen tulee olla rajoitettua	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen paloluokka Palo-osaston koko Rakennusosien osastoivuus EI Sisäpuolisten pintojen luokka Julkisivun ja parvekkeiden pintojen luokka Katteen luokka Suojaverhous Sprinklaus
Palon leviäminen viereisiin rakennuksiin tulee rajoittaa	<ul style="list-style-type: none"> Suojaetäisyys viereisiin rakennuksiin Julkisivun ja parvekkeiden pintojen luokka Katteen luokka Palomuuuri Ulkovaipan osastoivuus EI Sprinklaus
Palotilanteessa henkilöiden tulee voida poistua rakennuksesta tai heidät tulee voida pelastaa muiden avustuksella	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen paloluokka Henkilömäärä rakennuksessa Rakennuksen pinta-ala Rakennuksen korkeus Poistumisteiden rakennusosien kantavuus R Poistumisteiden rakennusosien osastoivuus EI Poistumisteiden lukumäärä Varapoistumistie Poistumisteiden mitat Poistumisteiden pintojen luokka Poistumisteiden merkinnät ja valaistus Palovaroitimet Paloilmaisimet Savupoisto Ovien avautumissuunnat Sprinklaus
Pelastushenkilöstön turvallisuus tulee ottaa huomioon	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen paloluokka Rakennusosien kantavuus R Rakennusosien osastoivuus EI Pelastustiet Sammuusreitit Savunpoisto Sprinklaus

KUVA 13. Vaatimuksia ja eri tekijöitä paloturvallisuuden suunnittelussa (Lahtela 2018)

6.2 Palokuormat

Palokuormalla tarkoitetaan vapautuvaa kokonaislämpömäärää, kun tilassa oleva materiaali palaa täydellisesti. Kantavat- ja jäykistävät rakenteet, osastovat osat, ja kaikki muut rakenneosat sekä rakennuksessa oleva irtaimisto otetaan myös huomioon laskettaessa palokuormaa. Palokuorman yksikkö on megajoule neliometriä kohden [MJ/m²].

Palokuorma määräytyy rakennuksen pääasiallisen käyttötarkoituksen mukaan. Kun määritetään palokuormaa, niin jokaisen palo-osaston palokuorma voidaan määrittää erikseen ja mitoittaa jokaisen palo-osaston rakenteet tämän mukaisesti. Standardeissa esitettyjen ohjeiden mukaan palokuorma voidaan määrittää laskennallisesti.

P0-paloluokassa, eli käytettäessä toiminnallista palomitoitusta palokuorma täytyy aina määrittää, jotta rakennus voidaan mitoittaa tulipalotilanteita varten. Todellisen palonkehityksen simulointia varten jokaisen tarkasteltavan tilan palokuorman lisäksi tarvitaan tietoja esimerkiksi palokuorman sijainnista ja palamisominaisuuksista. (Lahtela 2018)

6.3 Paloluokitus

Rakennusta suunniteltaessa sille tulee määritellä paloluokka, se määritellään rakennuksen pinta-alaan, kerrosluvun, korkeuden ja henkilömäärän mukaan. Rakennuksen korkeus vaikuttaa rakennuksen paloluokkaan ja sitä kautta koko rakennuksen paloteknisiin vaatimuksiin. Lisäksi rakennuksen korkeus liittyy pelastushenkilöstön toimintamahdollisuuksiin ja turvallisuuteen. Pelastuskalustolla täyttyä ylettyä pelastamaan varapoistumistien kohdalle sekä sammutustehtäviin rakennuksen katolle.

Rakennukset jaetaan neljään paloluokkaan, jotka ovat P0, P1, P2 ja P3. Paloluokkia P1, P2 ja P3 käytetään silloin, kun rakennus suunnitellaan käyttäen palomääräysten paloluokkia ja lukuarvoja, eli kun kohteessa käytetään taulukkomitoitusta. Kun rakenteiden palonkestävyys tai rakennuksen poistumisturvallisuus perustuu toiminnalliseen palomitoitukseen, niin rakennus kuuluu paloluokkaan P0. Tällöin rakennus suunnitellaan osin tai kokonaan oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät palotilanteet.

Taulukko 1. Paloluokat.		
Paloluokka	Kuvaus	Tyypillisiä rakennuskohteita
P0	<ul style="list-style-type: none"> Toiminnallisen palomitoituksen mukaan 	
P1	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan kestävän sortumatta palon ja jäähtymisvaiheen aikana ilman, että paloa sammutetaan (yleensä yli 2-kerroksisessa rakennuksessa) Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää ei ole rajoitettu 	<ul style="list-style-type: none"> Rakennukset, jotka eivät ole sallittuja paloluokissa P2 ja P3
P2	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset voivat olla P1-paloluokkaa lievemmät Riittävä turvallisuustaso saavutetaan asettamalla vaatimuksia erityisesti pintaosien ominaisuuksille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää on rajoitettu käyttötarkoituksesta riippuen 	<ul style="list-style-type: none"> Enintään 8-kerroksinen asuinrakennus Enintään 8-kerroksinen hoitolaitos (pois lukien suljettu rangaistuslaitos) Enintään 8-kerroksinen majoitusrakennus Enintään 8-kerroksinen työpaikkarakennus Enintään 4-kerroksinen kokoontumis- ja liikerakennus 1-kerroksinen tuotanto- ja varastorakennus ¹⁾
P3	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen kantavilta rakenteilta ei yleisesti vaadita palonkestävyyttä, joitakin tapauksia lukuun ottamatta (esimerkiksi osastoivilla rakenteilla myös R-vaatimus) Riittävä turvallisuustaso saavutetaan rajoittamalla rakennuksen kokoa ja henkilömäärää käyttötarkoituksesta riippuen 	<ul style="list-style-type: none"> Enintään 2-kerroksinen asuinrakennus (kerrokset samaa palo-osastoa) Enintään 1-kerroksinen hoitolaitos Enintään 2-kerroksinen majoitusrakennus Enintään 2-kerroksinen työpaikkarakennus Enintään 2-kerroksinen kokoontumis- ja liikerakennus 1-kerroksinen tuotanto- ja varastorakennus ¹⁾

KUVA 14. Rakennusten paloluokat (Lahtela 2018)

Esimerkki rakennuksen palotekninen suunnittelu perustuu toiminnalliseen palomitoitukseen, sillä E1:n taulukot ulottuvat vain 8-kerroksisiin puurakennuksiin. Joensuun Light House kuuluu paloluokkaan P0, sillä kohteen paloturvallisuuden suunnittelu perustuu toiminnalliseen palomitoitukseen. Toiminnallista palomitoitusta käytettäessä osoitetaan olennaisten vaatimusten totetutuminen tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen käyttö ja ominaisuudet. Paloteknisessä suunnittelussa tärkeimpiä asioita ovat kantavan rungon sekä osastoivien rakennusosien palonkestävyys. (Lahtela 2018)

7.1 Lainsäädäntö

Paloturvallisuussuunnittelua hallitsevat lainsäädännöllisesti pelastuslaki (379/2011) sekä maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999), jotka määräävät rakennuksen paloturvallisuudesta rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Näiden lakien tavoitteita paloturvallisuuden osalta ovat ihmisten turvallisen poistumisen varmistaminen, pelastus- ja sammutustoiminnan onnistuminen turvallisesti sekä omaisuusvahinkojen minimointi. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132 §.)

Pelastuslaki (14 §) määrää ehkäisemään tulipalojen syttymistä, varautumaan kohteessa olevien henkilöiden, omaisuuden ja ympäristön suojeluun sekä aloittamaan sammutustoimenpiteet palotilanteen niin vaatiessa. (Pelastuslaki 379/2011/14 §)

Näiden edellä mainittujen lainkohtien lisäksi maankäyttö- ja rakennuslaki (117b §) määrää rakennuksen paloturvallisuudessa huomioitavan myös kantavien rakenteiden riittävä palonkesto-aika sekä palon hallitseminen soveltuvilla rakennustuotteilla ja teknisillä laitteistoilla. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/117 b §.)

Ympäristöministeriön ylläpitämään Suomen rakentamismääräyskokoelman E-sarjaan on koottu lainojalla asetetut rakennusten paloturvallisuutta koskevat säännökset ja rakentamismääräykset sekä ympäristöministeriön ohjeet.

Rakentamismääräyskokoelmassa E on seitsemän eri osaa, joista osa E1 (2011) on oleellisin sisältäen rakennusten paloturvallisuuden määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö on julkaissut ohjeen *Paloturvallinen puutalo – Asuin ja toimitilarakentaminen*, joka perustuu Ympäristöministeriön 12.12.2017 julkaisemaan ja 1.1.2018 voimaan tulleeseen asetukseen 848/2018 rakennusten paloturvallisuudesta.

7.2 Toiminnallisen palomitoituksen lähtökohdat

Toiminnallisessa palomitoituksessa käytetään menetelmiä, joiden kelpoisuus on todennettu. Rakennuksen paloturvallisuusvaatimusten katsotaan täyttyvän, kun rakennus suunnitellaan perustuen oletettua palonkehitykseen. Eli kattaen kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät palotilanteet. Tapauskohtaisesti todennetaan vaatimusten täyttyminen ottaen huomioon rakennuksen käyttö ja ominaisuudet. Suunnittelun perusteet, käytetyt suunnittelumallit ja saadut tulokset tulee esittää haettaessa rakennuslupaa.

7.3 Toiminnallisen palomitoituksen prosessi

Toiminnallisessa palomitoituksessa määritellään kaikkein todennäköisimmät uhat ja mitoituspalo. Kohteesta suunnitellaan riskianalyysi sekä laskennallinen tarkastelu palotilanteen lämpötilojen kehiti-

tymisestä, savun muodostumisesta ja ihmisten poistumisturvallisuudesta. Toiminnallisen palomitoituksen kulku alkaa aina riskianalyysillä. Riskianalyysin avulla arvioidaan eri uhkia ja suunnitellaan ratkaisuja ja toimenpiteitä, jotta uhkien riskit saadaan mahdollisimman vähäisiksi.

Tapahtumapuulla kuvataan koko tapahtumaketjua palotilanteen alkamisen jälkeen. Alkutapahtumana on tilanne, joka mahdollisesti voi johtaa dramaattisiin seurauksiin ilman onnistuneita turvallisuustoimenpiteitä. Tapahtumapuuhun mallinnetaan turvallisuustoimet riippuvuusjärjestyksessä. Vikapuilla tarkoitetaan vikaantumistodennäköisyyttä eri laitteille ja järjestelmille. Vikapuissa yksilöidään vikojen oleelliset lähteet ja analysoidaan niiden esiintymistodennäköisyydet. Ne liitetään järjestelmän toiminnan mukaiseksi puurakenteeksi ja huippuna on järjestelmän vikaantuminen.

Riskianalyysiä tehdessä hyödynnetään tilastollisia todennäköisyyksiä. Palontorjuntakeinoilla estetään vahinkojen toteutumista. Palontorjuntakeinoja hyödyntäen palovaarojen toteutumisen mahdollisuus pienennetään turvallisuuden kannalta sopivan alhaiselle tasolle. Tilastollisilla todennäköisyysjakauksilla lasketaan palovaarojen riski ja niistä aiheutuvat eri vaikutukset.

7.4 Toiminnallisen paloteknisen suunnitelman sisältö

Toiminnallista palomitoitusta käytettäessä tulee esittää rakennuslupamenettelyn yhteydessä suunnittelun perusteet, käytetyt mallit ja suunnittelussa saavutetut tulokset. Toiminnallisen palomitoituksen asiakirjat sisältävät vähintään seuraavat asiat:

- rakennuksen ja sen paloturvallisuuslaitteiden tekniset tiedot
- oletukset rakennuksen käytöstä koko rakennuksen elinkaaren ajalla
- oletukset palokunnan toimintamahdollisuuksista ja -turvallisuudesta
- perustelut tarkasteltaville palotilanteille
- vikaantumistarkastelu perusteluineen
- rakennuksen käytön aikaiset huolto- ja kunnossapitotoimet
- kuvaus käytetyistä menetelmistä, joka sisältää laskenta- ja koemenetelmien soveltuvuuden
- saadut tulokset ja niiden herkkyyshanalyysit
- hyväksymiskriteerit ja saatujen tulosten vertailu niihin

Toiminnallisen palomitoituksen suunnitelma tulee ehdottomasti aina tarkastaa. Tarkastuksen voi suorittaa itse tai sen voi tehdä ulkopuolinen tarkastaja. Tulokset tarkistetaan yleensä vertaamalla niitä tietoon todellisesta tulipalosta, tutkimusraportteihin tai muulla tavalla laskennallisiin tuloksiin. Viranomaisen edellyttää usein haastavissa kohteissa kolmannen osapuolen tarkistuksen. Kuten tässä Joensuun Light Houseessa kohteen vaatavuuden vuoksi paloteknisen suunnitelman tarkastuksen tekee ulkopuolinen tarkastaja. (Lahtela 2018)

7.5 Toiminnallisen palomitoituksen edut

Toiminnallisella palomitoituksella saavutetaan ainakin yhtä turvallinen turvallisuustaso, kuin yleisillä taulukkomitoituksilla. Yleiset taulukkomitoitukset rajoittavat esimerkiksi puun käyttöä kantavissa rakenteissa sekä puun paljaaksi jättämistä pinnoissa. Toiminnallisella palomitoituksella voidaan osoittaa, että vaikka massiivinen puurakenne jätetään suojaamatta, niin se on vähintään yhtä turvallinen kuin taulukkomitoituksen mukainen palotekninen ratkaisu. Toiminnallisella palomitoituksella on monia etuja, tärkein on ehdottomasti se että sen avulla saavutetaan yleensä parempi turvallisuustaso. Toiminnallisen palomitoituksen avulla voidaan tehdä palomääräysten taulukkomitoituksesta poikkeavia ratkaisuja. Sekä saavutetaan kustannussäästöjä optimoimalla rakenneratkaisuja.

8 LIGHT HOUSE JOENSUUN PALOTURVALLISUUS

8.1 Light House Joensuun toiminnallinen palomitoitus

Kriittisten mitoituspalojen määrittäminen rakennukselle on olennainen ja tärkeä vaihe suunnittelussa. Mahdollisia uhkakuvia voi rakennukselle olla määritettävissä hyvin suurin määrä, mutta vain osa niistä on kriittisiä ja vaatii tarkempaa tarkastelua. Mitoituspalot riippuvat muun muassa rakennuksen geometriasta, käyttötarkoituksesta ja palokuormituksesta. Erilaisille uhkakuville on määritettävä kriittisyysaste ja esiintymistodennäköisyys, joiden perusteella tarkasteltavat palotilanteet valitaan. Erittäin oleellista on myös herkkyystarkastelun tekeminen eri riippuvuuksien suhteen. Herkkyystarkastelulla tarkoitetaan syötteiden muutosten vaikutusta simuloinnin tuloksiin.

Mitoittavat palotapaukset, eli toisin sanoen uhkakuvat, on sovittava projektin palosuunnittelun aloituspalaverissa. Kun toiminnallisen palomitoituksen lähtötietona käytettävät uhkakuvat eli skenaarit on määritetty, lasketaan tilan palonkehitys ja siitä aiheutuvat lämpötilat. Palonkehityksen laskentaan on eritasoisia menetelmiä. (Spek.fi)

8.2 Paloskenaariot

Paloturvallisuutta suunniteltaessa joudutaan analysoimaan lukuisia paloskenaarioita, joista pahimmat ovat mitoittavia. Pahimmassa skenaariossa poistumisen kannalta palo on alimmassa kerroksessa, tai palokuormakeskittymässä. Silloin poistuminen on haastavaa ja savukaasujen muodostuminen sekä kuuman vyöhykkeen muodostuminen ensimmäisten ratkaisevien minuuttien aikana on voimakasta.

Paloskenaario I on perusskenaario. Se tulee tutkia aina ja ensimmäisenä. Siinä kaikki palotekniset järjestelmät ja laitteet toimivat oikein.

Paloskenaario II on mahdollinen skenaario, joka tutkitaan myös aina. Siinä yksi järjestelmä kerrallaan ei toimi. Esimerkiksi paloilmoin tai sprinkleri toimii, mutta savunpoisto ei toimi.

Paloskenaario III on mahdollinen skenaario, joka tutkitaan myös aina. Siinä yksi järjestelmä kerrallaan ei toimi. Esimerkiksi paloilmoin tai sprinkleri ei toimi, mutta savunpoisto toimii.

Paloskenaario IV on poikkeuksellinen skenaario, jossa kaksi tai sitä useampi järjestelmä ei toimi. Todennäköisyys tälle skenaariolle on hyvin pieni.

8.3 Rakenteiden palosuojaus

Puukerrostalon rakenteellinen palosuojaus on tärkeää. Puurakentamisen määräykset ovat muuttuneet ja osittain lieventyneet. Nykyään on mahdollista jättää paljasta puupintaa näkyviin. Vaikka CLT on hyvä palo-ominaisuksiltaan, niin paloturvallisuutta tulee parantaa asentamalla seinäpinnoille kipsilevyt. Light Housessa käytetään kaksinkertaista kipsilevytystä parantamaan paloturvallisuutta, sekä kipsilevyillä saadaan lisäksi parannettua kohteen äänitekniisiä ominaisuuksia. Liitokset tulee myös palosuojata. Suojaamattoman naulaliitoksen palonkestävyys on vain 15 minuuttia, joten liitosten tulee olla palosuojattu. Liitosten osalta tarkasteluja tulee tehdä myös liittimien reunaetäisyyksien osalta, sillä kun liitintä ympäröivä puuosa hiiltyy, niin reunaetäisyys pienenee.

Taulukko 47. Palosuojatun puurakenteen hiiltymisen alkamishetki t_{ch} erilaisilla levytuotteilla (Lähde: RIL 205-2-2009).				
Palosuojaukseen käytettävä tuote		Pilari tai palkki	Seinä ¹⁾	Väli ²⁾
Levyysauma ≤ 2 mm	Paksuus [d]	t_{ch}	t_{ch}	t_{ch}
Kipsilevy (EN 520) (Tyyppi H)	9 mm	11 min	10 min	-
Kipsilevy (EN 520) (Tyyppi A)	13 mm	22 min	15 min	10 min
Palokipsilevy (EN 520) (Tyyppi F)	15 mm	28 min	20 min	15 min
2x Kipsilevy (EN 520) (Tyyppi H)	9 mm + 9 mm	23 min	-	-
2x Kipsilevy (EN 520) (Tyyppi A)	13 mm + 13 mm	40 min	40 min	30 min
2x Palokipsilevy (EN 520) (Tyyppi F)	15 mm + 15 mm	61 min	≥ 60 min	60 min
Kipsilevy (EN 520) + Palokipsilevy ³⁾ (EN 520) (Tyyppi F)	13 mm + 15 mm	46 min	55 min	40 min
Puulevy (EN 313-1, EN 309, EN 316, EN 300) + Kipsilevy ³⁾ (EN 520) (Tyyppi A)	12 mm + 13 mm	-	40 min ³⁾	30 min
Puulevy (EN 313-1, EN 309, EN 316, EN 300) + Palokipsilevy ³⁾ (EN 520) (Tyyppi F)	12 mm + 15 mm	-	55 min ³⁾	40 min

¹⁾ Rankarakenne, jonka ontelotila voi olla eristeellä täytetty tai eristeetön.
²⁾ Kyseinen levy palon puolella.
³⁾ Mikäli puulevy on paksumpi kuin 12 mm, voidaan arvoa korottaa määrällä $\Delta t = (d - 12 \text{ mm}) / \beta_0$ (ks. myös kaava 3).

KUVA 16. Palosuojatun puurakenteen hiiltymisen alkamishetki eri levytuotteilla (Lahtela 2018)

Portaiden suojaustarvetta analysoidaan uhkakuviin ja muihin vaatimuksiin verraten. Porrashuoneiden rakenteissa voidaan käyttää myös puuta, jos ne suojaverhotaan vähintään K2 30, A2-s1, d0-luokkaan ja ne täyttävät R30 tai R60, kun palokuorma yli 600MJ/m² vaatimuksen. Tärkeää on savun hallinta porrashuoneissa, jotta taataan asukkaiden turvallinen poistuminen sekä pelastusviranomais-ten turvallinen työskentely.

Rakennustarvikkeiden luokitus perustuu tarvikkeiden käyttäytymiseen palon alussa. Vain luokkia A1 ja A2-s1, d0 voidaan pitää rakennustarvikkeen palokäyttäytymistä kuvaavana luokkana, sillä palamattomana tuotteena nämä käyttäytyvät samalla tavalla palon alussa ja palon myöhäisemmässä vaiheessa. Nämä vaatimukset tarkoittavat sitä, että tuotteen osallistuminen paloon on erittäin vähäinen ja palavia pisaroita ei synny, sekä savun tuotto on erittäin vähäinen. Muihin luokkiin kuuluvat tuotteet saattavat olla esimerkiksi pinnoitettuja tuotteita, jotka toimivat eri tavalla palon alussa ja myöhäisessä vaiheessa, jolloin tuotteen ydin voi osallistua myös paloon. Tästä johtuen nykyisessä rakennusten paloturvallisuutta koskevassa asetuksessa annetaan myös luokkavaatimuksia myös ra-

kennustarvikkeiden ytimille. Rakennustarvikkeen luokka määritetään standardien mukaisella poltto-
kokeella. Luokissa A2...D tutkitaan myös savun- ja palavien pisaroiden muodostumista. (Lahtela
2018)

Osallistuminen paloon		Savun tuotto		Palavien pisaroiden ja osien tuotto	
Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä
Ei osallistu paloon	A1	Erittäin vähäinen Vähäinen Muu kuin s1 tai s2	s1 s2 s3	Ei esiinny Nopeasti sammuvia esiintyy Muu kuin d0 tai d1	d0 d1 d2
Osallistuu erittäin rajoitetusti	A2				
Osallistuu hyvin rajoitetusti	B				
Osallistuu rajoitetusti	C				
Osallistuminen hyväksyttävää	D				
Käyttäytyminen hyväksyttävää	E				
Käyttäytymistä ei ole määritetty	F				

KUVA 17. Rakennustarvikkeen luokkamerkinnän muodostuminen (Lahtela 2018)

Pintaluokalla on suuri merkitys palon leviämiseen, lämmöntuottoon, lieskahduksen alkamishetkeen
sekä savun ja pisaroiden muodostumiseen. Puupohjaisten tuotteiden yhteydessä asennustavalla,
tuotteen tiheydellä, paksuudella sekä alustarakenteella on suuri merkitys rakennustarvikkeella saa-
vutettavaan pintaluokkaan. (Lahtela 2018)

Rakennustarvikkeen luokka	Vaikutus saavutettavaan pintaluokkaan		
	Asennustapa	Tiheys	Paksuus
A1	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta
A2	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta
B	Vaikuttaa (osaksi pinnoitetussa tuotteessa B-luokan pinta palon puolelle)	Vaikuttaa	Vaikuttaa
C	Vaikuttaa (osaksi pinnoitetussa tuotteessa C-luokan pinta palon puolelle)	Vaikuttaa	Vaikuttaa
D	Vaikuttaa (ks. taulukot 13...18)	Vaikuttaa (ks. taulukot 13...18)	Vaikuttaa (ks. taulukot 13...18)
E	Ei vaikutusta	Vaikuttaa	Vaikuttaa

KUVA 18. Pintaluokan määräytymiseen vaikuttavia tekijöitä (Lahtela 2018)

8.4 Savunpoistoluokat

Sammutus- ja pelastustoiminnan tehokasta toimintaa tukien on suunniteltava ja rakennettava raken-
nuksen eri tiloihin savunpoisto mahdollisuus. Osastoituihin uloskäytäviin sekä osastollisiin hissikuilui-
hin tulee toteuttaa mahdollisuus sekä savunpoistoon ja korvaavan ilman virtaamiseen. Kellareissa on
oltava sellainen mahdollisuus savunpoistoon, jossa poistumisreitit tai osastoituja sammutusreitit
ei ole tarve käyttää savunpoistoon. Light House Joensuussa savunpoisto on järjestetty savunpoisto-
luukuilla ja savunpoiston korvausilma tulee porrashuoneen ovien kautta.

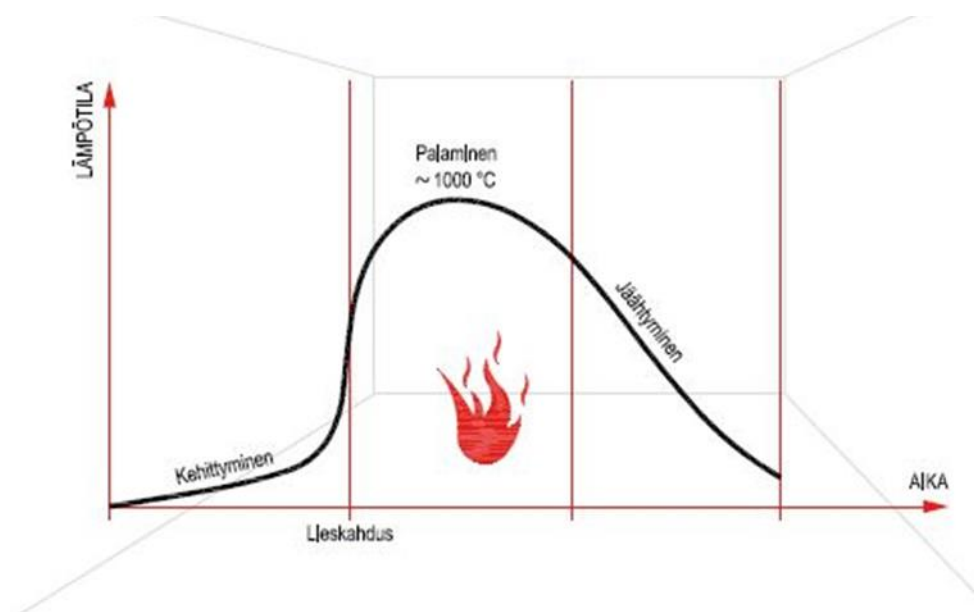
8.5 Automaattinen sammutusjärjestelmä

Laissa määrätään, että puukerrostaloihin tulee asentaa automaattinen sammutusjärjestelmä, eli sprinkleri-järjestelmä. Automaattinen sammutusjärjestelmä käyttää vesisuihkua tulipalon sammuttamiseen. Jokaisessa huoneessa, myös kylpyhuoneessa tulee olla sprinkleri seinässä katon rajassa. Tulipalon sattuessa sprinklaus kastelee rakenteita, ja vesivahingon syntyminen voidaan lähes täydellisesti estää käyttämällä korkeapainesumuspinklausta.

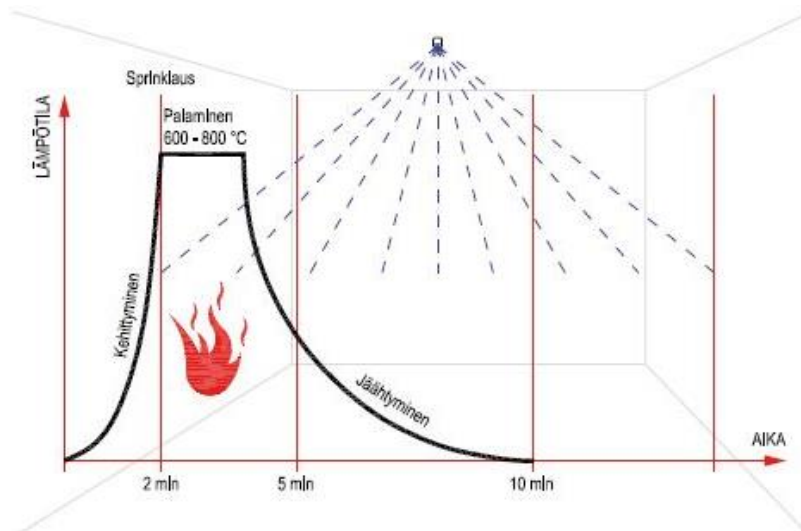
Light House Joensuuhun paras sprinkleriratkaisu on asuntokohtainen vesisumujärjestelmä. Vesisumujärjestelmän etu on se, että järjestelmän käyttämä vesimäärä on pieni ja sumu levittäytyy huoneeseen kolmiulotteisesti, joten se pääsee myös paikkoihin joihin suora vesisuihku ei pääsisi.

Lämpötilan noustessa 68 asteeseen huonekohtainen sprinkleri käynnistyy. Kylpyhuoneissa tämä käynnistymislämpötila on 140 astetta. Kun tulipalo laukaisee järjestelmän, niin se hälyttää automaattisesti paikalle palokunnan. Sprinkleri-keskus sijoitetaan pohjakerrokseen, ja sprinklerien toiminta varmistetaan varageneraattorilla. Toiminnallisella palomitoituksella voidaan osoittaa, että esimerkki rakennus Joensuun Light House kestää mitoituspalon myös siinä skenaariossa, jos sprinklerit eivät toimisi.

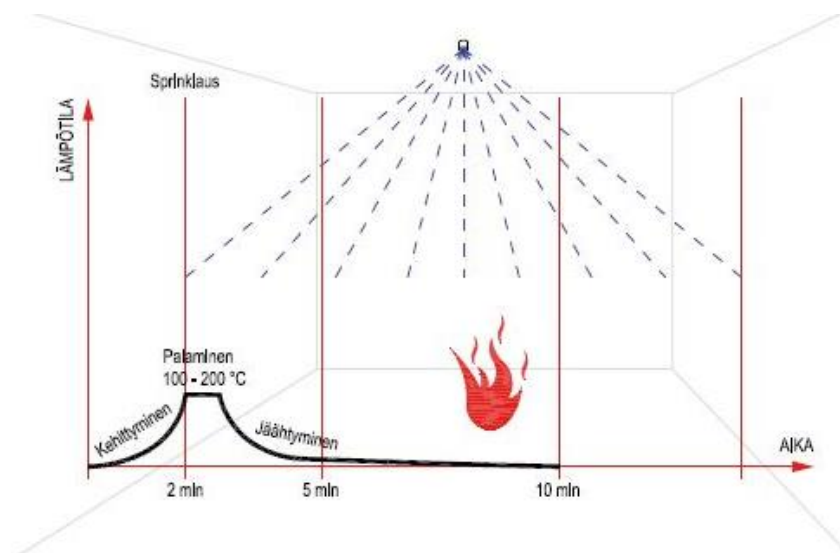
Nykyään uusien kerrostalojen asuintilojen palovaroittimet tulee olla verkkovirtaan kytkettyjä. Palovaroitin tulee olla jokaista huoneiston alkavaa 60 m² kohden. Porrashuoneen jokainen kerros täytyy varustaa palovaroittimella. Kaikkien palovaroittimien virransyöttö varmistetaan akulla tai paristolla. Käsiammuttimet tuleeclisäksi sijoittaa jokaiseen kerrokseen, mukaanlukien kellarikerrokseen ja varastotiloihin.



KUVA 19. Sprinklaamattomassa asuinhuoneistossa palon kehittymisen yleiskuvaus (Lahtela 2018)



KUVA 20. Palon kehittymisen yleiskuvaus sprinklatussa asuinhuoneistossa tarkasteltuna paloalueen kohdalla. Lämpötila käy paloalueella hetkellisesti 600-800 °C, jonka jälkeen alkaa jäähtymisvaihe. (Lahtela 2018)

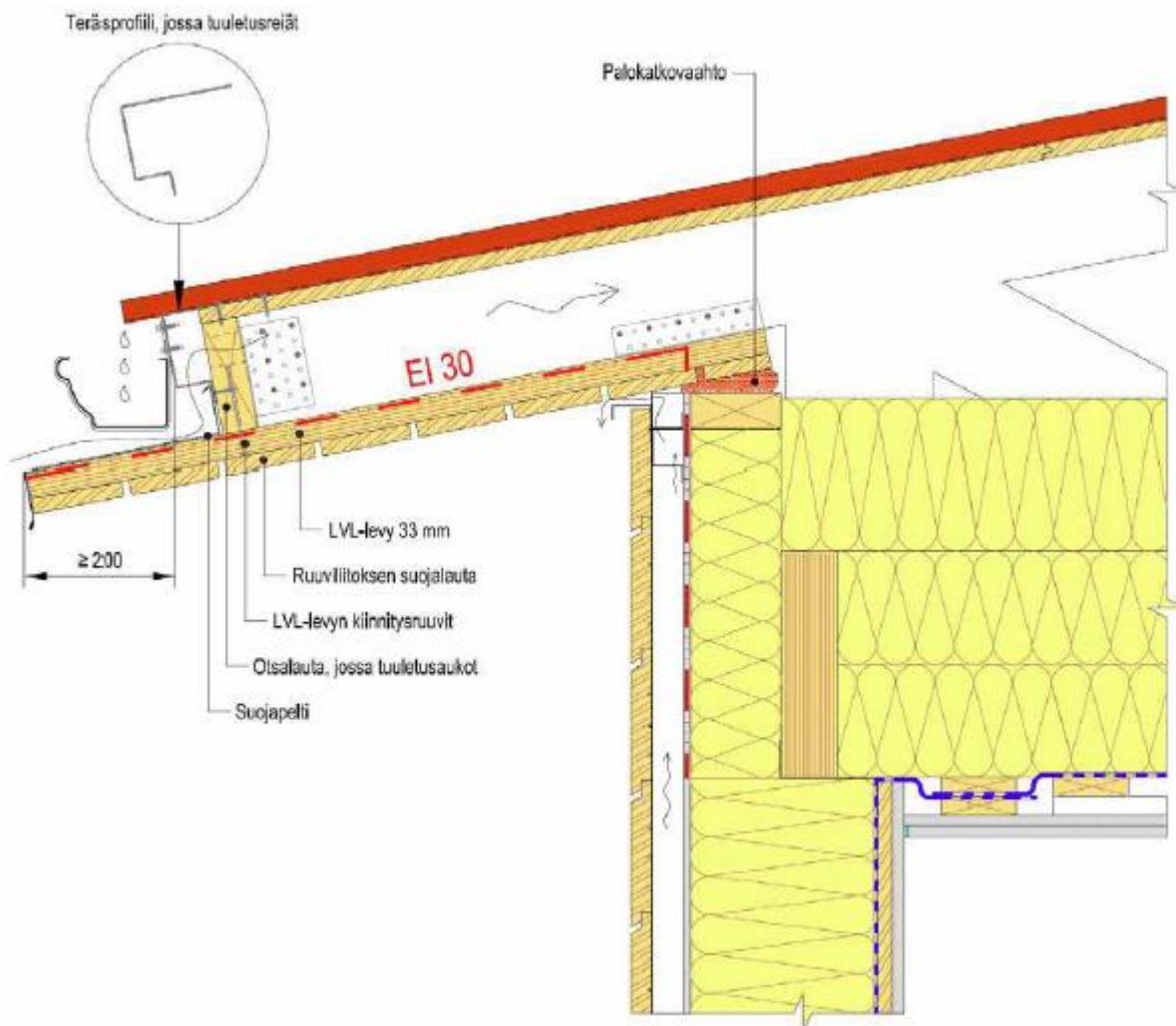


KUVA 21. Palon kehittymisen yleiskuvaus sprinklatussa asuinhuoneistossa tarkasteltuna paloalueen ulkopuolelta. Paloalueen ulkopuolella lämpötila on huomattavasti paljon matalampi verrattuna edelliseen kuvaan. Tämä johtuu sprinklauksen paloa rajoittavasta ominaisuudesta. (Lahtela 2018)

8.6 Paloräystä

Palon leviäminen yläpohjaan täytyy aina estää, joten paloräystä estää palon leviämisen julkisivun kautta yläpohjaan. Paloräystään toimintaperiaate on, että lämmön vaikutuksesta paloräystä turpoaa ja tuuletusraot sekä –aukot saadaan suljettua palotilanteessa.

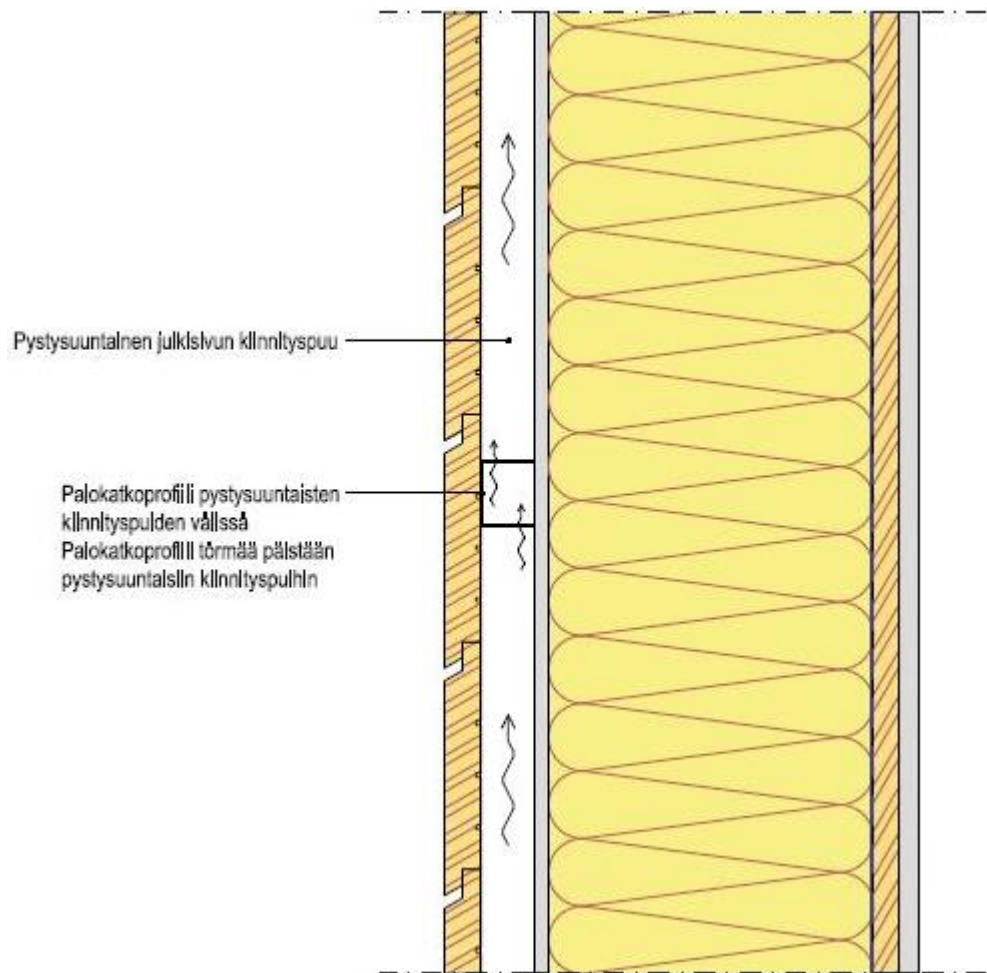
Palo-osastoivuuden lisäksi paloräystään suunnittelussa on huomioitava yläpohjan tuuletus. Haasteellista räystään suunnittelusta tekee yläpohjan tuuletuksen toteuttaminen siten, että palo ei leviä tuuletusrakojen tai –aukkojen kautta yläpohjaan. Tuuletus toteutetaan palotilanteessa sulkeutuvilla palokatkoventtiileillä. Räystään alapintaan asennettu levy ohjaa liekit kauemmas otsalaudasta, ja tuuletusilma tulee otsalaudan kautta. Liekkeja ohjaava räystään alapinnan levy voi olla LVL-levy.



KUVA 22. Paloräystä (Lahtela 2018)

8.7 Julkisivun palokatkot

Tuuletusraossa hormivaikutuksen takia palo etenee paljon nopeammin kuin ulkoverhouksen pinnalla. Tämän vuoksi puujulkisivun tuuletusrakoihin tulee tehdä palokatkot vähintään kerroksittain. Palokattojen tulee toimia sekä palo- ja kosteusteknisesti.



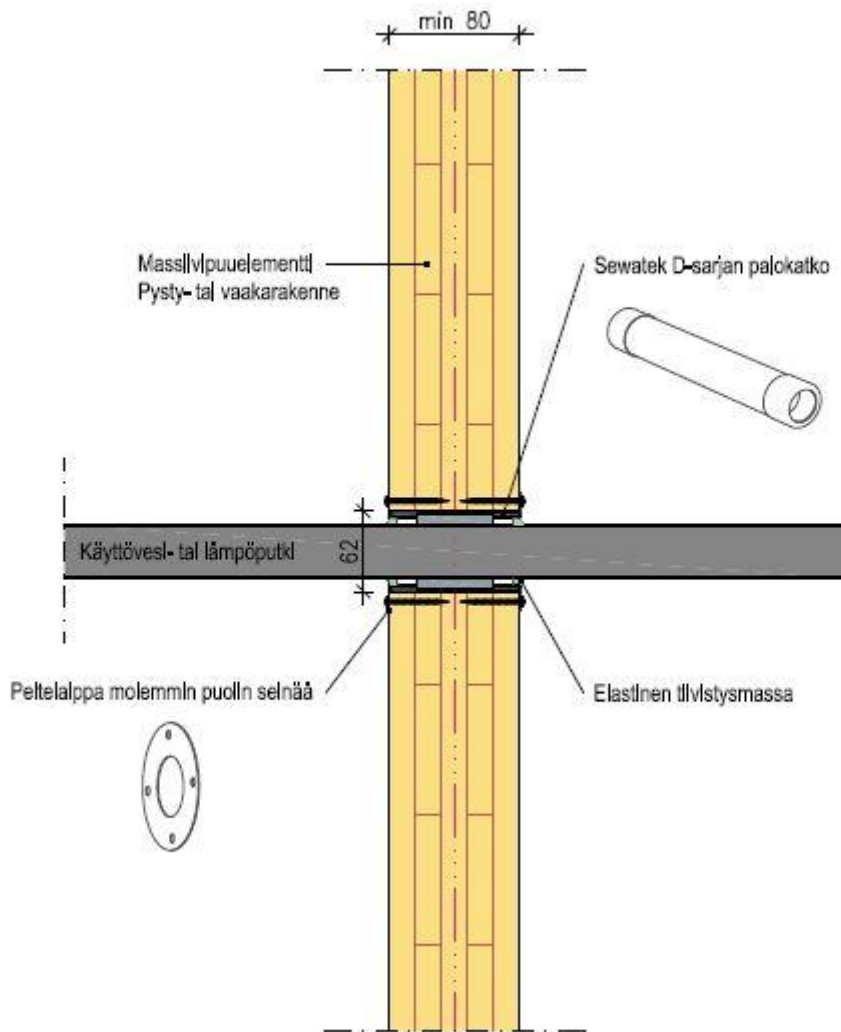
KUVA 23. Julkisivun tuuletusraon palokatko (Lahtela 2018)



KUVA 24. Palokatko asennettuna julkisivuun (Puuinfo.fi g.)

8.8 Talotekniikan läpivientien palokatkot

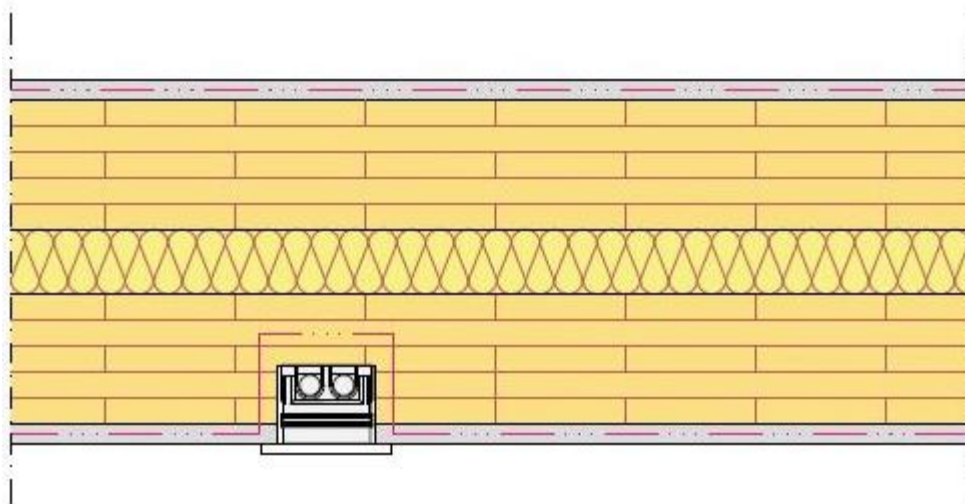
Huoneistojen LVIS-hormit ovat sijoitettu porrashuoneeseen, jolloin välipohjan läpiviennit vähenevät ja ne ovat yhdessä palo-osastossa ja välipohjilla ei ole ääniteknisiä vaatimuksia. Osastoivien rakenteiden läpi vietävät putket ja kaapelit täytyy varustaa palokatolla. Hyviä palokatkotuotteita ovat palonkestävät tiivistysmassat, palokatkotulpat sekä palomansetit.



KUVA 25. Käyttövesi- tai lämpöputken läpivienti massiivipuuelementin läpi (Lahtela 2018)

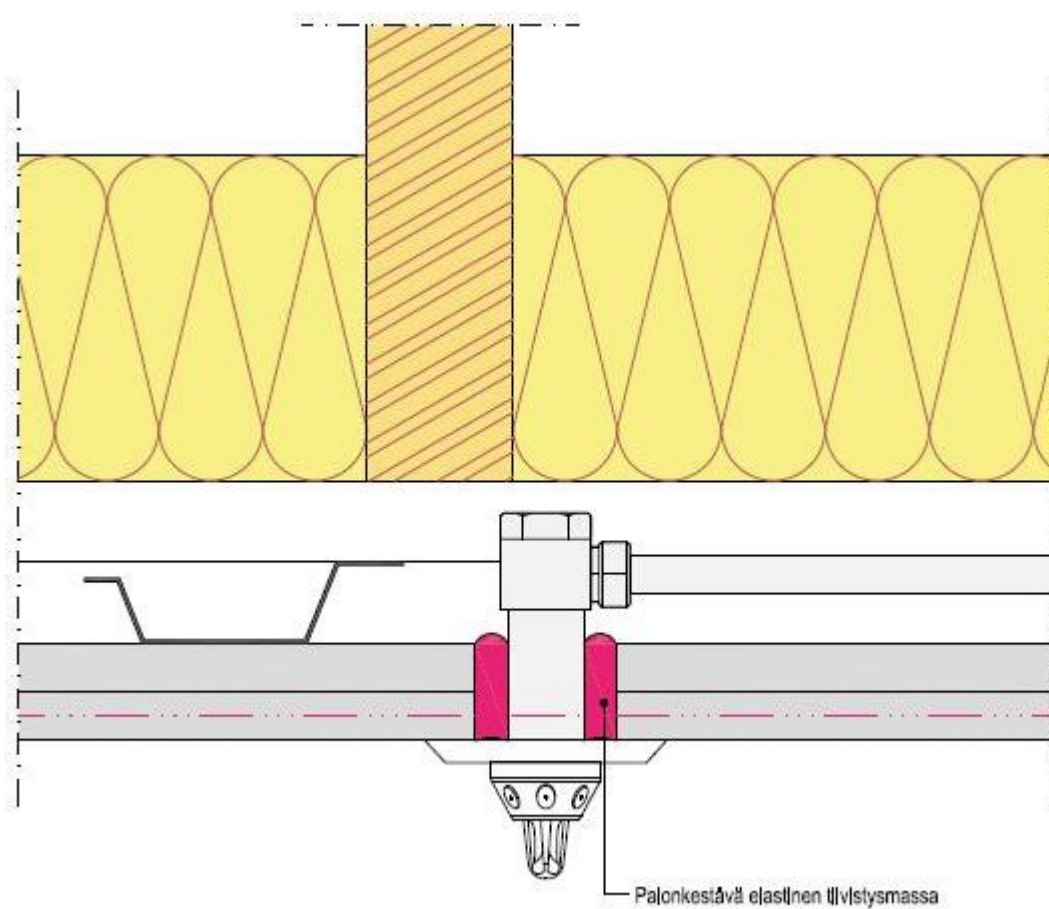
Sähköasiat tulee myös varustaa palokatkoilla (kuva 26), jos rasia lävistää osastoivan rakennusosan siten, että rasian kohdalla osastoivuus on muuta rakennusosaa heikompi. Sähkörasioita on saatavilla myös palokatkoilla varustettuna. Lisäksi myös sprinklerisuuttimien läpiviennit tulee tiivistää palonkestävällä elastisella tiivistysmassalla (kuva 27).

Huonelsto 1



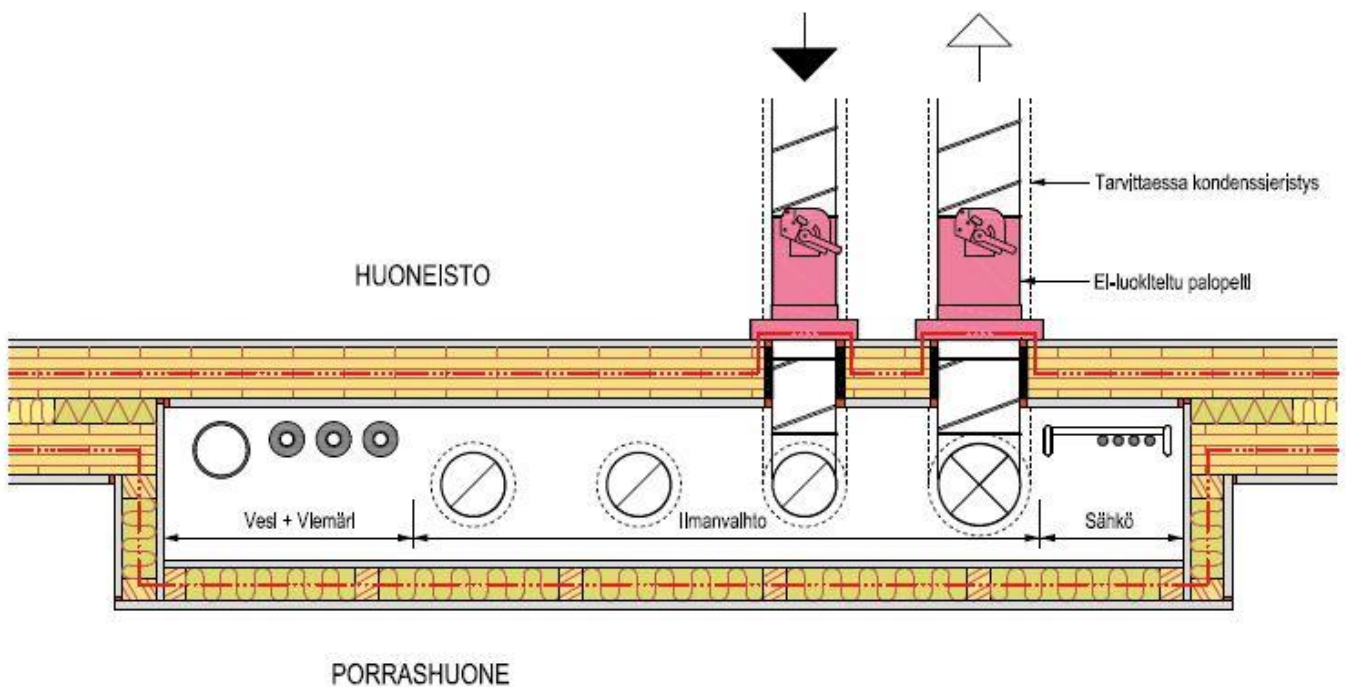
Huonelsto 2

KUVA 26. Sähkörasian läpivienti seinässä, punaisella merkitty palo-osastointi (Lahtela 2018)



KUVA 27. Sprinklerisuuttimien läpivienti ja niiden tiivistys jousirankakatossa, punaisella merkitty palo-osastointi (Lahtela 2018)

Palomansetti sisältää grafiittipohjaista materiaalia, joka laajenee lämmitessään. Mansetteja käytetään muoviputkien suojaamiseen. Palomansetin toimintaperiaate on, että se laajenee lämmitessään ja puristaa muoviputken kiinni. Tällöin palo ei pääse leviämään putken ulko- tai sisäkautta. Palomansetteja ei voi käyttää metallisiin putkiin, sillä mansetti ei ole tarpeeksi voimakas sulkemaan metalliputkea palon leviämisen estämiseksi. Ilmanvaihtokanavissa käytetään EI-luokiteltuja palopeltejä, jotka tekevät palokatkon kanavan sisä- ja ulkopuolelle (kuva 28).



KUVA 28. LVI-hormi huoneistojen ja porrashuoneen välisessä seinässä (Lahtela 2018)

Palokatkotuotteet on pääsääntöisesti suunniteltu käytettäväksi betonirakenteisiin. Jotta tuotteita voidaan käyttää puurakenteissa, niin tuotteella tulee olla hyväksyntä myös puurakenteelle. Palokatkon tulee toimia vaaditun palonkestoajan koko rakenteen paksuudelta. Palotilanteessa puun hiiltymä etenee jossain vaiheessa rakenteen sisään, ja tällöin tulee olla varma ettei palo pääse kiertämään palokatkoa. Palokatkotuotteet tulee asentaa rakenteisiin valmistajan ohjeen mukaisesti ja tuotteilla tulee olla tuotehyväksyntä, joka perustuu polttokokeisiin. (Horto 2019)

9 YHTEENVETO

Palotilanne massiivisella puurakenteella muistuttaa massiivista betonirakennetta. Toiminnallisella palomitoituksella mahdollistetaan turvallinen ja perusteellinen paloturvallisuussuunnittelu.

Uudessa vuoden 2018 alussa voimaan tulleessa asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta on onnistuttu poistamaan rakentamista koskevaa soveltamista. Uusien paloturvallisuusmääräysten myötä on nykyään mahdollista jättää näkyviin paljasta puupintaa sekä on mahdollista rakentaa entistä korkeampia rakennuksia puusta. Uuden asetuksen myötä on odotettavissa kasvua puurakentamisen toimialalla.

Tärkeimmät keinot puukerrostalon paloturvallisuuden parantamiseen ovat passiivinen- ja aktiivinen palosuojaus. Passiivisella palosuojauksella tarkoitetaan puun rakenteellista suojaamista esimerkiksi palokipsilevyillä. Aktiivisella palosuojauksella tarkoitetaan automaattista sammutusjärjestelmää ja palovaroittimia. Lisäksi rakenteiden suojaus palokatkoilla on tärkeää, jotta saadaan estettyä palon leviäminen muihin palo-osastoihin.

Työn tuloksena voidaan todeta, että puukerrostalo on vähintään yhtä paloturvallinen, kuin vastaava betonirunkoinen kerrostalo.

10 LÄHTEET

LAHTELA, Tero 2018. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen [verkkoaineisto]. viitattu [2019-03-20]

Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/paloturvallinen-puutalo-asuin-ja-toimitilarakentaminen>

Kuva 1. Havainnekuva kohteesta [verkkoaineisto]. viitattu [2019-02-20]

Saatavissa: <http://www.arcadia.fi/referenssit/lighthouse>

Kuva 2. Pohjapiirustus kohteesta [verkkoaineisto]. viitattu [2019-02-20]

Saatavissa: <http://www.arcadia.fi/referenssit/lighthouse>

Joensuunelli.fi [verkkoaineisto]. viitattu [2019-02-20]

Saatavissa: <https://www.joensuunelli.fi/fi/elli-info/uutiset/?news=view&newsID=349>

Kuva 6. Light House Joensuun väliaikainen katto [verkkoaineisto]. viitattu [2019-04-19]

Saatavissa: <https://www.karelia.fi/puurakentaminen/2019/02/14/puu-korkeassa-kaupunkirakentamisessa-artikkelikokoelma-kuvaa-joensuu-lighthouse-toteutusprosessia/>

Kuva 7. Viilupuu valmistetaan liimaamalla yhteen sorvattuja viiluja [verkkoaineisto]. viitattu [2019-04-12] Saatavissa: <https://www.woodproducts.fi/metsa-wood-kertor-lvl-qp-beam>

Kuva 8. CLT-levyt valmistetaan liimaamalla ristikkäin lamellikerroksia [verkkoaineisto]. viitattu [2019-04-12] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/tuote/clt-stora-enso-cross-laminated-timber>

Kuva 9. CLT-levyjen paikalleen asennus <https://www.puuinfo.fi/tuote/clt-elementtien-paikalleen-asennus-kuninkaankyl%C3%A4n-puurakentajat>

RAUTIO, Arto 2019-03-15. Teräs pitää puukerrostalon pystyssä. Teräsrakennelehti. [viitattu 2019-03-20]. Saatavissa: Tulostettu ja tuloste on opinnäytetyön tekijän hallussa

Puuinfo.fi a. [verkkoaineisto]. viitattu [2019-02-20]

Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/tiedote/lighthouse-joensuu-hy%C3%B6dynt%C3%A4%C3%A4-puuta-t%C3%A4ysim%C3%A4r%C3%A4isesti>

Puuinfo.fi b. [verkkoaineisto] viitattu [2019-02-20]

Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujaa-puuta-pohjoiselta-havumets%C3%A4vy%C3%B6hykkeelt%C3%A4>

Puuinfo.fi c. [verkkoaineisto] viitattu [2019-02-21]

Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina>

Puuinfo.fi d. [verkkoaineisto] viitattu [2019-02-22]

Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/tuote/lvl-stora-enso-laminated-veneer-lumber>

Puuinfo.fi e. [verkkoaineisto] viitattu [2019-02-22] Saatavissa:

<https://www.puuinfo.fi/tuote/clt-stora-enso-cross-laminated-timber>

Clt.info [verkkoaineisto] viitattu [2019-02-22]

Saatavissa: <https://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/paloturvallisuus/>

Vtt.fi [verkkoaineisto] viitattu [2019-02-27] Saatavissa:

<https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VTT-R-10312-10.pdf>

MAANKÄYTTÖ- JA RAKENNUSLAKI 1999/132 § [verkkoaineisto].

Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L22P168>

MAANKÄYTTÖ- JA RAKENNUSLAKI 1999/117b § [verkkoaineisto].

Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L17P117b>

PELASTUSLAKI 379/2011/14 § [verkkoaineisto]

Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379#L3P14>

Puuinfo.fi f. [verkkoaineisto] viitattu [2019-02-29]

Saatavissa: https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/2.7.13.%20Puukerrostalon%20palosuunniteluohje%20-%20toiminnallinen%20suunnittelu_20151020_final.pdf

Spek.fi [verkkoaineisto] viitattu [2019-04-07] Saatavissa:

<http://www.spek.fi/loader.aspx?id=c326c4cf-6bc0-4a14-9c39-81d06acb4365>

Kuva 24. (Puuinfo.fi g.) Palokatko asennettuna julkisivuun viitattu [2019-04-19]

Saatavissa: https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puurakentamisen-koulutusroad-show-2013-luentoaineistot/oppitunti_3_palotekn._erityiskysymykset_3.pdf

HORTO, Reetta 2015. Palokatkosuunnitelma Savonia-ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 2019-02-20]

Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201505138011>