

Taru Lahti

# **Paloturvallisuus CLT-rakentamisessa**

CLT-elementtikerrostalon paloturvallisuus

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan koulutusohjelma

**SeAMK** 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Taru Lahti

Työn nimi: Paloturvallisuus CLT-rakentamisessa

Ohjaaja: Petri Koistinen

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 49

Liitteiden lukumäärä:

---

Opinnäytetyössä käsitellään puun erilaisia ominaisuuksia sekä paloturvallisuutta. Työ sisältää myös tietoa toiminnallisesta palomitoituksesta ja sen antamista mahdollisuuksista. CLT-puun etuja ja paloturvallisuutta käsitellään teoriaosuuden loppupuolella. Työssä tutkitaan myös CLT-tilaelementeistä rakennetun viisikerroksisen puukerrostalo Mäihän paloturvallisuutta. Opinnäytetyössä keskitytään Mäihän ratkaisuihin paloturvallisuuden parantamisessa ja poikkeukset RakMK:n E-sarjan taulukoista ja lukuarvoista sekä esitellään puukerrostalolle asetettuja vaatimuksia.

Avainsanat: paloturvallisuus, elementtirakentaminen, puukerrostalot, rakentaminen, paloluokitukset, palontorjunta, palosuojaus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Taru Lahti

Title of thesis: Fire safety in CLT-construction

Supervisor: Petri Koistinen

Year: 2017

Number of pages: 49

Number of appendices:

---

The focus of the thesis was fire safety in the apartment house Mäihä which is made of CLT (cross lamelled timber). Mäihä had five stories and is made of big CLT-state elements. The thesis dealt with features of wood and fire safety in general. The thesis included the requirements for wooden apartment houses and information about functional fire design. The building regulation collection of Finland was also investigated, which did not materialize in Mäihä.

Keywords: fire safety, element construction, wooden apartment houses, construction, fire classifications, fire protection

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 PUU MATERIAALINA.....	9
2.1 PUUN OMINAISUUDET.....	10
2.1.1 Lujuustekniset ominaisuudet.....	10
2.1.2 Lämpötekniset ominaisuudet.....	10
2.1.3 Kosteustekniset ominaisuudet.....	11
2.1.4 Palotekniset ominaisuudet.....	12
2.1.5 Äänitekniset ominaisuudet.....	12
3 PUURAKENTEEN PALOTURVALLISUUS.....	14
3.1 Palomääräykset.....	16
3.2 Paloluokitus.....	17
4 TOIMINNALLINEN PALOMITOITUS.....	18
4.1 Toiminnallisen palomitoituksen lähtökohdat.....	18
4.2 Toiminnallisen palomitoituksen kulku.....	20
4.2.1 Toiminnallisen paloteknisen suunnitelman sisältö.....	22
4.3 Toiminnallisen palomitoituksen edut.....	23
5 CLT.....	24
5.1 CLT:n edut.....	25
5.2 CLT-rakentaminen.....	26
5.3 CLT:n paloturvallisuus.....	26
5.4 Tilaelementit.....	26
6 PUUKERROSTALO MÄIHÄ.....	28
6.1 Viisikerroksinen puukerrostalo.....	28
6.1.1 PEFC-sertifiointi.....	30

6.2 Rakennusvaihe .....	31
6.3 Puukerrostalo Mäihän seinien ja välipohjien rakenne .....	32
6.4 Mäihän paloturvallisuus.....	37
6.4.1 Automaattinen sammutusjärjestelmä .....	37
6.4.2 Palosuojaus rakenteissa .....	38
6.5 Läpiviennit rakenteissa.....	41
6.5.1 Sprinklerin läpivienti ulkoseinässä .....	41
6.6 Poikkeukset RakMK:n E-sarjan taulukoista ja lukuarvoista.....	45
7 YHTEENVETO.....	46
LÄHTEET .....	47

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Puukerrostalo Mäihä .....	8
Kuva 2. CLT-levyt koostuvat ristiinliimatuista lautakerroksista .....	24
Kuva 3. Elementtien suojat poistetaan vasta kun elementit ovat paikoillaan .....	29
Kuva 4. Sisäkatoissa on näkyvissä CLT .....	30
Kuva 5. Mäihän tilaelementit tehdään kuivissa olosuhteissa aina ulkoverhoukseen asti .....	32
Kuva 6. Portaissa on käytetty CLT:tä .....	39
Kuvio 1. Teräsprofiililla toteutettu ulkoverhouksen tuuletusraon palokatko (hattuprofiili) .....	15
Kuvio 2. Toiminnallisen palomitoituksen periaatteet .....	18
Kuvio 3. Toiminnallisen palosuunnittelun osatekijöitä ja niiden välisiä riippuvuuksia. ....	20
Kuvio 4. Toiminnallisen paloteknisen suunnittelun kulku. ....	22
Kuvio 5. Puukerrostalo Mäihän US1 rakenneleikkaus .....	33
Kuvio 6. Puukerrostalo Mäihän US1 rakenneleikkaus .....	34
Kuvio 7. Huoneiston sisäisen seinän rakenne HSS1 .....	35
Kuvio 8. Mäihän väliseinärakenne VS1 .....	35
Kuvio 9. Välipohjarakenne VP1 .....	36
Kuvio 10. Mäihän alapohjarakenne AP1 .....	37
Kuvio 11. Mäihän räystäsdetalji .....	41

Kuvio 12. Sprinkleriputken läpivienti ulkoseinässä.....	42
Kuvio 13. IV-kanavien paloläpivienti käytävässä/yläpohjassa.....	43
Kuvio 14. Yksittäisen putken paloläpivienti huoneisto/horni.....	44
Taulukko 1. Luokkavaatimukset rakennuksen eri osissa. ....	40

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Anisotropia</b>	Puu kutistuu ja laajenee eri tavoin vuosirenkaiden säteen ja tangentin sekä syiden suunnassa.
<b>Levyresonaattori</b>	Levyn tai paneloinnin taakse sijoitetaan ilmavälin lisäksi joku huokoinen materiaali, joka värähdellessään vaimentaa matalia ääniä.
<b>Rakoresonaattori</b>	Puisilla rimoituksilla saadaan vaimennettua keskikorkeita ääniä.
<b>Reikäresonaattori</b>	Puupintoja rei'ittämällä voidaan myös vaimentaa keskikorkeita ääniä.
<b>Hygroskooppisuus</b>	Aineen kyky sitoa ilman vesihöyryä itseensä sekä luovuttaa sitoutunutta kosteutta takaisin ilmaan kun ilman suhteellinen kosteus muuttuu.



# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä perehdytään CLT-rakentamisen paloturvallisuuteen. Alussa on kerrottu puun ominaisuuksista ja paloturvallisuudesta. Työn edetessä käsitellään toiminnallista palomitoitusta ja sen antamia mahdollisuuksia. Myös itse CLT:tä ja tilaelementtejä on esitellään työssä.

Esimerkkikohteena on käytetty Lakea Oy:n puukerrostalo Mäihää. Seinäjoen asuntomessualueelle noussut Mäihä on viisikerroksinen ja se on rakennettu Stora Enson CLT-tilaelementeistä. Kuvassa 1. on esimerkkikohde Mäihä.



Kuva 1. Puukerrostalo Mäihä  
(Suomen Asuntomessut 2016).

Opinnäytetyössä on esitelty erilaisia ratkaisuja Mäihän paloturvallisuuden parantamiseksi. Mäihä on saanut muutaman poikkeusluvan tietyille rakenteellisille toteutuksille. Nämä ratkaisut on selitetty opinnäytetyön loppupuolella.

## 2 PUU MATERIAALINA

Suomen havumetsien puut kasvavat hitaasti, mutta juuri silloin syntyy suorakuituinen puu, jossa oksia on vähän ja ne ovat pieniä. Kun nuorpuun osuus puusta on pieni ja sydänpuun osuus suuri, tuloksena syntyy kova, sitkeä ja tiivis puuaines. Suoraan kasvaneessa rungossa ei ole juurikaan jännitystä eikä siten puun sisäisiä halkeamia. (Lujaa puuta pohjoiselta havumetsävyöhykkeeltä.)

Puun kuljetuskustannukset ovat alhaiset, sillä puu on paikallinen materiaali. Se on myös uusiutuva ja täysin kierrätettävissä oleva materiaali. Käytöstä poistettu puu voidaan käyttää uudelleen sellaisenaan tai se voidaan jatkojalostaa toisen muotoon. Puun voi hävittää polttamalla, jolloin puuhun sitoutunut energia saadaan uudelleen käyttöön. (Puu materiaalina 2006.)

Jalostaessa puuta mekaanisesti syntyy hyvin vähän päästöjä verrattuna muihin materiaaleihin, sillä puu on saasteeton materiaali. Puu on hiilidioksidisäiliö, sillä puolet puusta on hiiltä. Tuhat kiloa puuta säilöo kaksituhatta kiloa hiilidioksidia. Puun käyttö rakennusmateriaalina ehkäisee ilmaston lämpenemistä. (Puu materiaalina 2006.)

Puu on rakennusmateriaali, joka voi toimia kantavana ja lämpöä eristävänä rakenteena sekä muodostaa näyttäviä pintoja. Puun etuja ovat myös sen keveys, lujuus ja helppo työstettävyys. Puuta on helppo käsitellä, jolloin yksinkertaiset työkalut riittävät. Rakennusjätteen määrä on vähäinen ja se voidaan kierrättää tai käyttää uudelleen. Puurakennukset ovat pitkäikäisiä ja vanhenevat kauniisti, jos ne on oikein toteutettu ja hyvin ylläpidetty. (Puu materiaalina 2006.)

Puu ei kuitenkaan ole täydellinen rakennusmateriaali. Se on palava materiaali ja voi lahota. Puun mekaaninen kulutuskestävyys on heikompi kuin muilla materiaaleilla. Tästä syystä on erityisen tärkeää, että puurakennukset suunnitellaan ja toteutetaan huolellisesti. Puuta ei pidä käyttää sille sopimattomissa paikoissa. (Puu materiaalina 2006.)

## **2.1 PUUN OMINAISUUDET**

### **2.1.1 Lujuustekniset ominaisuudet**

Puun lujuus perustuu puun tiheyden kasvamiseen. Puun tiheyttä mitattaessa tulee ilmoittaa kosteustila, jossa massa ja tilavuus on mitattu. Yleisin puun kosteusarvo on 15 %. Suomalaisten havupuiden ihanne vuosirengasväli on 1–1,5 mm. Vaikka puulla olisi pieni vuosirengasväli, ei se suoraan tarkoita, että puulla olisi suuri tiheys tai lujuus. (Lujaa puuta pohjoiselta havumetsävyöhykkeeltä.)

Suurin lujuuteen vaikuttava tekijä on kuormitussuunta. Vetolujuus syysuuntaan on 10–20 -kertainen verrattaessa kohtisuoraan syitä vastaan. Tiheys vaikuttaa myös vetolujuuteen, sillä männyn kevätpuun vetolujuus saattaa olla vain 1/6 kesäpuun vetolujuudesta. Leikkauslujuus on huomattavasti heikompi, vain 10–15 % puun syiden suuntaisesta vetolujuudesta. Oksat sekä halkeamat vaikuttavat merkittävästi leikkauslujuuteen. (Lujaa puuta pohjoiselta havumetsävyöhykkeeltä.)

Puun tiheyden kasvaessa kimmoisuus ja kulutuskestävyys lisääntyvät. Syysuuntainen kimmomoduuli voi olla satakertainen verrattuna kimmomoduuliin syitä vastaan kohtisuorassa. Kimmomoduuli tangentin suunnassa on noin kaksi kertaa pienempi kuin säteen suunnassa. (Lujaa puuta pohjoiselta havumetsävyöhykkeeltä.)

### **2.1.2 Lämpötekniset ominaisuudet**

Puu johtaa heikosti lämpöä. Syynä tähän on puuaineksen huokoisuus. Kun puun tiheys vähenee, lämmönjohtavuus heikkenee. Kosteus puolestaan lisää lämmönjohtavuutta puussa. Puun lujuus heikkenee toistuvien lämpötilanvaihteluiden seurauksena. Pakkasella puuhun saattaa tulla ns. pakkashalkeamia, joilla tarkoitetaan halkeamia, jotka ovat syntyneet soluontelossa olevan veden jäätyessä. Jäätyessä vesi laajenee aiheuttaen halkeamia. (Lämpötekniisiä ominaisuuksia.)

Lämpökapasiteettiin vaikuttaa luonnollisesti puun tiheys, kosteus, lämpötila sekä syysuunta. Hirrellä on hyvä lämpökapasiteetti, jonka vuoksi paksu hirsiseinä voi toimia sellaisenaan ulkoseinärakenteena. (Lämpötekniisiä ominaisuuksia.)

### 2.1.3 Kosteustekniset ominaisuudet

Puu imee vettä eli se on hygroskooppinen. Puuhun voi päästä vettä eri tavoin: nesteinä kapillaarisesti, höyrynä soluonteloiden kautta tai soluseinämän kautta molekylaarisena diffuusion. Puussa olevan veden massan ja vedettömän puuaineksen massan välistä suhdetta kutsutaan puun kosteudeksi. Vastasahatun puun kosteus vaihtelee 40–200 % välillä. (Kosteusteknisiä ominaisuuksia.)

Puun tasapainokosteudella tarkoitetaan kutakin ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta vastaavaa tilaa, jossa puun kosteus pysyy vakiona. Tasapainokosteus määräytyy ilman suhteellisesta kosteudesta. Esikuivattu puutavara tarvitsee vain pari viikkoa asettuakseen tasapainokosteuteen. Puu kutistuu kuivuessaan, jos puu kuivuu alle kyllästymispisteen. Vastaavasti, jos puu kostuu, sen laajeneminen loppuu kyllästymispisteessä. Puuaineisia lämmöneristeitä voidaan käyttää rakenteellisesti hyödyntämällä puun kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta, jolloin puuaineinen lämmöneriste tasaa kosteuden kulkua rakenteessa. (Kosteusteknisiä ominaisuuksia.)

Puun vuosirenkaiden säteestä ja tangentista sekä syiden suunnasta riippuen puu kutistuu ja laajenee eri tavoin. Ilmiötä kutsutaan anisotropiaksi. Kuivattaessa puuta täysin märästä absoluuttisen kuivaksi puu kutistuu tangentin suunnassa noin 8 %, säteen suunnassa noin 4 % ja syiden suunnassa 0,2–0,4 %. Pintapuuta on aina kosteampi kuin sydänpuu, mikä vaikeuttaa puun kuivatusta. Puu saattaa kieroutua kuivattaessa anisotropiudesta ja puun sisäisistä jännityksistä johtuen. Rakentaessa täytyy aina huomioida puun kosteus, sillä se saattaa aiheuttaa rakennuksen rungon painumista. Puutavara saattaa myös halkeilla. (Kosteusteknisiä ominaisuuksia.)

Kosteuden aiheuttama kutistuminen ja laajeneminen yleensä lisääntyvät, kun puun tiheys kasvaa. Kun puu kuivaa, sen lujuusominaisuudet paranevat. Verrattuna tuoreeseen puuhun, puun puristus- ja vetolujuus kaksinkertaistuvat puun kuivuessa. Puurakenteiden mitoituksessa on otettava huomioon kosteus, sillä se vaikuttaa puun lujuuteen. (Kosteusteknisiä ominaisuuksia.)

#### 2.1.4 Palotekniset ominaisuudet

Puu luokitellaan palavaksi materiaaliksi. Syttyäkseen palamaan, puu tarvitsee hapetta ja lämpöä. Mitä korkeampi on ympäröivä lämpötila, sitä nopeammin puu syttyy. Puun kosteuspitoisuus pidentää syttymiseen kuluvaan aikaan. Puun syttymislämpötila on yleensä 250–300 astetta. Kuitenkin puu kestää pitkäaikaista +105 °C käyttölämpötilaa sekä lyhytaikaista +150 °C käyttölämpötilaa. (Siikanen.)

Syttymisen jälkeen alkaa hiiltyminen, joka on tavallisella puulla noin 0,8 mm minuutissa ja liimapuulla 0,7 mm minuutissa. Hiiltynyt kerros suojaa puuta palolta ja hidastaa sisäosien lämpötilan nousua ja näin ollen palon etenemistä. Puun syttymisherkkyyteen vaikuttaa puun tiheys ja kosteus, sekä puun paksuus. Lisäksi on syytä ottaa huomioon kulmat, pinnat, säröt sekä halkeamat. (Paloteknisiä ominaisuuksia.)

#### 2.1.5 Äänitekniset ominaisuudet

Puun ääneneristys yksinään ei ole erityisen hyvä, sillä se on kevyt materiaali. Se ei myöskään sellaisenaan vaimenna hyvin ääntä. Puu johtaa ääntä paremmin syitä vastaan pituussuunnassa. Jos puurakenne on tiivis, se heijastaa ääntä ja siitä on helppo muodostaa äänen heijastuksia suuntaavia pintoja. Ominaisuutta hyödynnetään esimerkiksi soittimissa ja musiikkisaleissa. (Ääneneristys puutalossa 2010.)

Puurakennuksen ääneneristävyys saadaan käyttämällä monikerrosrakenteita. Hyvä vaihtoehto on sijoittaa pintamateriaalin taakse ilmavälin lisäksi huokoinen materiaali, kuten villa. Tällaista mahdollisuutta kutsutaan levyresonaattoriksi. Värähtelemällä se vaimentaa matalia ääniä, jotka usein ovat ongelmallisia keveille rakenteille. Keskip korkeita ääniä pystytään vaimentamaan rako- tai reikäresonaattoreilla, jotka saadaan aikaan puisilla rimoituksilla tai rei'ittämällä puupintoja. (Ääneneristys puutalossa 2010.)

Puukerrostaloissa haasteensa ääneneristykseen luovat ristiriitaisen rakenteellisen jäykkyyden saavuttamisen ja ääneneristykseen hallitsemisen erilaisten keinojen välillä.

Erillisrungot ja äänikatkot ovat vastakkaisia jäykistyksen, erilaisten liitosten sekä jatkuvien rakenteiden kannalta. Puuvälipohjien askelääneneristävyyttä voidaan lisätä kasvattamalla välipohjan massaa. (Ääneneristys puutalossa 2010.)

### 3 PUURAKENTEEN PALOTURVALLISUUS

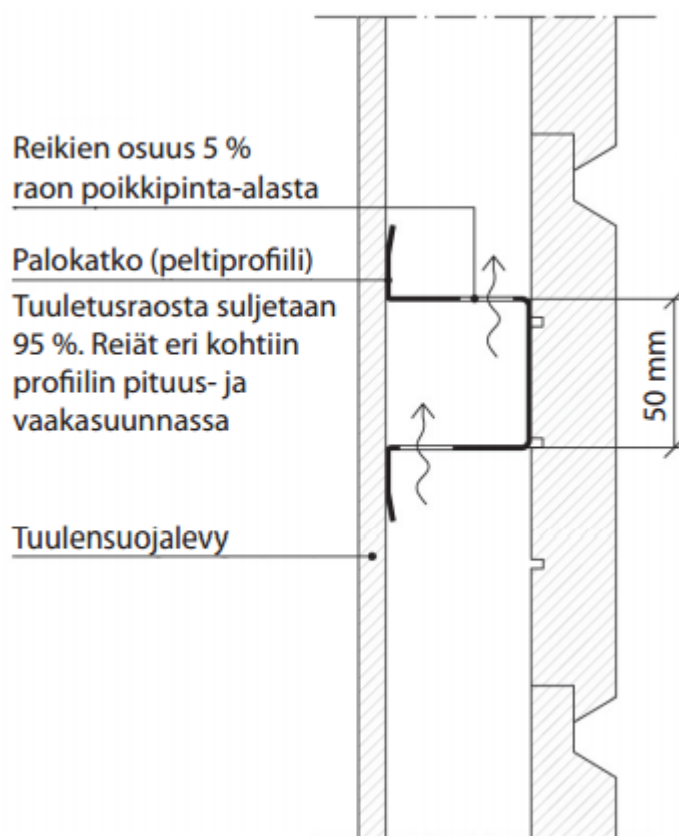
Puu on hyvin turvallinen rakennusmateriaali siitä huolimatta, että se on palava materiaali. Puurakenteiselle rakennukselle voidaan laskea tarkka kuormankestävyys palotilanteessa, sekä puun käyttäytymistä voidaan ennakoida. Puurakenteisen rakennuksen paloturvallisuutta voidaan lisätä lukuisilla keinoilla. Yleisin keino on käyttää suojaverhouksessa kipsilevyä. Kipsissä oleva kidevesi höyrystyy pitäen puun puoleisen pinnan lämpötilan alhaisena. Rakenteiden läpiviennit täytetään yleensä palamattomalla eristemateriaalilla. (Puurakenteen paloturvallisuus.)

Puukerrostalon kantavat rakenteet tulee suojata suojaverhouksella. Palon leviämistä taloon ulkopuolelta torjutaan julkisivuverhouksen tuuletusraon palokatolla. Puurakenteiseen kerrostaloon toteutetaan palo-osastointi samalla tavalla kuin betonikerrostaloon. Eurokoodi 5:n mukaan kantavat ja osastoivat rakenteet mitoitetaan palorasitukselle, joka vaikuttaa samanaikaisesti vain rakenteen toisella puolella. Jos kantavalla rakenteella ei ole osastointivaatimusta, se mitoitetaan molemmilta puolilta samanaikaisesti vaikuttavalle palorasitukselle. Puukerrostalon julkisivuun voidaan käyttää puuverhousta, joka täyttää pintaluokkavaatimuksen D-s2, d2, alinta kerrosta lukuun ottamatta. Myös alimmassa kerroksessa voidaan käyttää puuverhousta, mikäli puu on palonsuojakäsitelty vastaamaan paloluokkaa B-s2, d0. Puukerrostalon suunnittelussa on tärkeää huomioida myös palon leviäminen julkisivussa. (Heikinheimo 2012.)

Puurakenteinen rakennus voi saavuttaa jopa 120 minuutin palonkestoajan. Vaikka puurakenteisen rakennuksen palonkesto on hyvin korkea, täytyy muun palosuojauksen lisäksi kerrostalot varustaa automaattisella sammutuslaitteistolla eli sprinklauksella. Sprinklereinä suositetaan korkeapainevesisumusprinklereitä, jotka eivät laulettessaan sammuta paloa suoralla vesisuihkulla, vaan tukahduttaen palon vesisumulla. Vesisumun etu verrattuna veteen on sen kyky tukahduttaa palo myös sellaisista paikoista, jonne vedellä ei ole suoraa pääsyä. (Puurakenteen paloturvallisuus.)

Puujulkisivussa palo etenee nopeammin tuuletusraossa kuin ulkoverhouksen pinnalla, sillä tuuletusraossa syntyy pystysuuntainen hormivaikutus. Tästä syystä joh-tuen tulipalo etenee nopeasti räystäälle. RakMK:n E1 mukaan puujulkisivu on suun-

niteltava siten, että palon leviäminen julkisivun tuuletusraossa on rajoitettu vähintään kerroksittain. Palon leviämistä ulkoverhouksen tuuletusraossa rajoitetaan teke­mällä sekä pysty- että vaakasuuntaisia palokatkoja tuuletusrakoon. Kuviossa 1. esi­tetyn palokatkon toiminta perustuu tuuletusrakoon muodostuvan savun poistoon, palon hapensaannin vähentämiseen ja palon hidastamiseen. Vaakasuuntainen pa­lokatko asennetaan kerroksittain. Se voidaan tehdä esimerkiksi rei'itetystä teräspro­fiilista, joka toimii kuristusrakenteena. Kaistoittamalla tuuletusrako myös pystysuun­taisin rakentein pystytään ehkäisemään sivuttaissuuntainen palon leviäminen. Kun tuuletusrako on palokatkotettu, julkisivuverhouksen katkomista kerroksittain ei edel­lytetä. (Heikinheimo 2012.)



Kuvio 1. Teräsprofiililla toteutettu ulkoverhouksen tuuletusraon palokatko (hattuprofiili)  
(Rakennustieto).



### 3.1 Palomääräykset

Suomessa puurakentamista koskevat palomääräykset ovat hyvin pitkästi pohjautuneet Turun paloon, joka tuhosi Turun kaupungin lähes kokonaan vuonna 1827. Palon seurauksena annettiin kaupunkeja koskevia palomääräyksiä, rajoittaen mm. kaksikerroksisten puutalojen rakentamista. Palomääräykset sekä paloturvallisuuden liittyvät tekijät ovat muuttuneet huomattavasti Turun palosta. (Siikanen.)

Nykyiset palomääräykset perustuvat vuonna 2011 tehtyihin muutoksiin. Määräyksiin tehtiin muutoksia, joilla tarkennettiin ja laajennettiin D-s2, d0-luokan tarvikkeiden käyttömahdollisuuksia. Luokkaan D-s2, d2 kuuluvat massiivipuulevyt sekä useat muut puupohjaiset levyt, kun ne täyttävät tietyt ehdot. Nykyään paloluokitus perustuu EN-standardiin. Vuonna 2012 luovuttiin osastoivia ovia koskevista kansallisista hyväksymisperusteista. (Jantunen.)

Keskeisin muutos määräyksissä oli P2-luokan asuin- ja työpaikkarakennuksia koskevien arvoihin perustuvien vaatimusten laajentaminen 5-8-kerroksisiin rakennuksiin. Vuonna 1997 annetut luokat ja lukuarvot perustuivat enintään 4-kerroksiseen rakennukseen. 5-8-kerroksisissa P2-luokan rakennuksissa otettiin turvallisuustason laskennalliseksi lähtökohdaksi voimassa olevien määräysten mukainen vastaavan käyttötavan P1-luokan minimitaso täyttävä rakennus. Paloturvallisuutta lisäävinä keinoina käytetään kantavan rungon ja rakennusosien palonkestävyyttä, mutta myös pintojen tarvike- ja suojaverhousvaatimuksia. (Jantunen.)

Ennen luokkiin ja lukuarvoihin perustuvat vaatimukset eivät ole sallineet puurungon käyttöä kivrakenteisen kerrostalon lisäkerroksen rakentamisessa, mikä nykyään on mahdollista. Lisäkerros voidaan tehdä puurunkoisena kuitenkin vain enintään 7-kerroksiseen asuinrakennukseen. (Jantunen.)

P2-luokkaan kuuluvien asuntojen seinä- ja kattopinnat voidaan verhota vähintään D-s2, d2-luokan tarvikkeilla, jos tila varustetaan automaattisella sammutuslaitteistolla. Ohjeen mukaan automaattinen sammutuslaitteisto toteutetaan vähintään SFS-EN 12845-standardin OH-luokan vaatimustason mukaan. (Jantunen.)

Tiivistettynä uudet 15.4.2011 käyttöön otetut palomääräykset parantavat puun asemaa rakentamisessa. Puutuotteiden käyttökohteet sekä uudis- että korjausrakentamisessa laajenivat. Uudet palomääräykset ovat lähempänä kansainvälisiä käytäntöjä. Uudet palomääräykset mahdollistavat kilpailukykyisten puurakentamisen ratkaisujen kehittämisen (Myllylä 2011.)

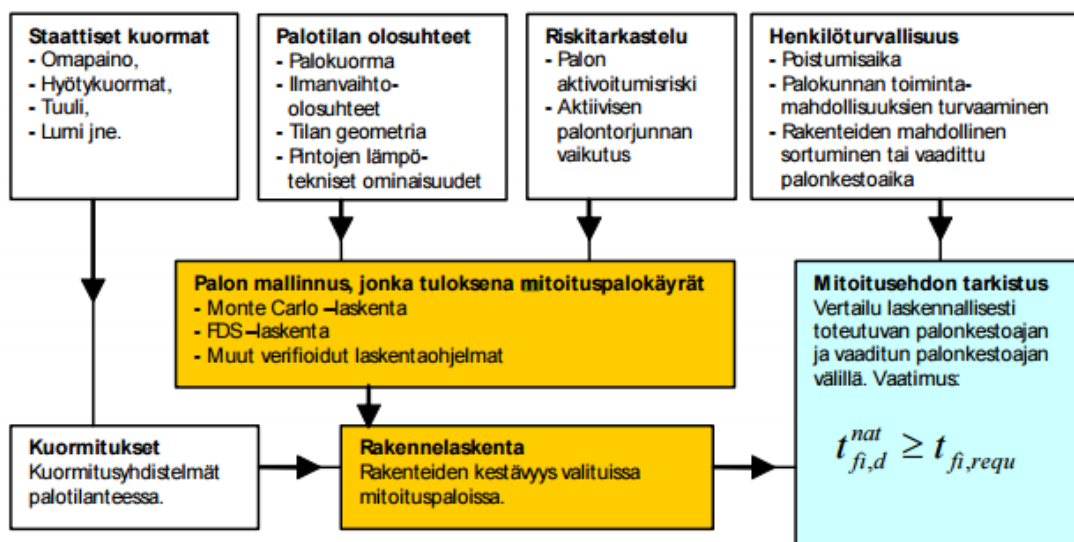
### **3.2 Paloluokitus**

Rakennukset luokitellaan paloluokkiin P1, P2 ja P3. Paloluokkaan P1 kuuluvien rakennusten runko tehdään pääsääntöisesti palamattomista materiaaleista kuten kivistä tai teräksestä. Näiden rakenteiden oletetaan kestävän palossa sortumatta. Kantavat rakenteet voivat olla puuta maksimissaan kaksikerroksisessa rakennuksessa, jos lämmöneristeet ovat palamattomia tai lähes palamattomia. Paloluokkaan P2 kuuluvat rakennukset, joiden rakenteiden vaatimukset voivat olla P1-luokkaa matalammat. Näin ollen P2-luokan rakennus voi olla myös rakennettu puusta. Erona P1-luokkaan on luokan P2 kokoa ja henkilömäärää rajoitettu. Paloluokka P3 puolestaan ei aseta rajoituksia eikä erityisvaatimuksia palonkeston suhteen. Riittävä paloturvallisuustaso saadaan rajoittamalla kerroslukua ja henkilömäärää. Pääsääntöisesti paloluokan määrittämiseen vaikuttavat rakennuksen kerrosluku, korkeus, kerrosala, käyttötarkoitus ja palovaarallisuusluokka. (Siikanen.)

## 4 TOIMINNALLINEN PALOMITOITUS

### 4.1 Toiminnallisen palomitoituksen lähtökohdat

Rakenteiden palotekninen mitoitus voi perustua joko taulukkomitoitukseen tai oletettuun palonkehitykseen. Toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu perustuu oletettuun palonkehitykseen. Se on viranomais määräyksissä hyväksytty varmistamaan rakenteellinen paloturvallisuus. Tekemällä toiminnallinen palomitoitus voidaan huomioida rakennuksen yksilölliset ominaispiirteet. Myös passiiviset ja aktiiviset palontorjuntatoimet voidaan ottaa huomioon rakenteiden paloturvallisuussuunnittelussa. Alla on esitetty toiminnallisen palomitoituksen periaatteet. (Outinen 2009.)



Kuvio 2. Toiminnallisen palomitoituksen periaatteet (Spek).

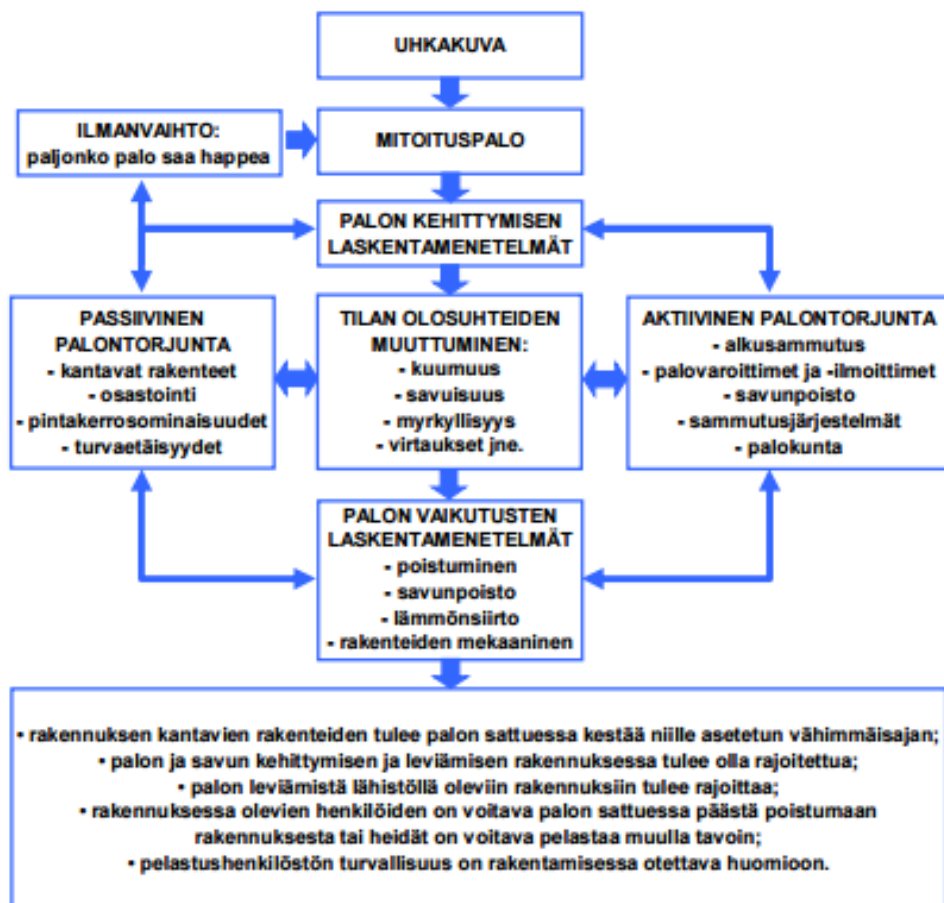
Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E1:n mukaan rakennuksen kantavien rakenteiden tulee kestää niille asetettu vähimmäisaika palon sattuessa. Jos rakennus suunnitellaan ja rakennetaan noudattaen Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E1 määrättyjä paloluokkia ja lukuarvoja, katsotaan palovaatimusten täyttyvän. Rakennuksen suunnittelu ja rakentaminen voi perustua myös oletettuun palonkehitykseen, josta selviää kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Toiminnallinen palomitoitus tehdään aina tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttötarkoitus. (Outinen 2009.)

Kaikessa turvallisuutta koskevissa asioissa on kyse uhkien arvioinnista ja niiden ratkaisusta sekä toimenpiteiden suunnittelusta, joilla uhkiin liittyvät riskit voidaan minimoida. Suunnittelun päämääränä on ratkaista ja toteuttaa toimenpiteet turvallisuuden takaamiseksi. Pääasia turvallisuussuunnittelussa on uhkien ja niihin liittyvien vaarojen arviointi. On arvioitava, miten todennäköinen vaaran toteutuminen on ja ovatko keinot vaaran torjumiseen riittävät. Toiminnallinen palomitoitus ei ole kehittynyt vielä niin pitkälle, että siinä vaikuttavat tekijät olisi standardisoitu. Jos prosessi sujuu virheettömästi, on toiminnallinen palosuunnittelu tavallista palosuunnittelua perusteellisempi, sillä se on kohdekohtaisempi. (Hietaniemi.)

Tulipalon uhan arviointia tehdessä mietitään millaisia tulipalon uhkia kohteessa on sekä miten, missä ja milloin palo voi syttyä. Arvioidaan millaisia palot voivat olla eli kuinka nopeasti palo kehittyy, kuinka isoksi palo voi kasvaa sekä kauanko mahdollinen palo kestää. Lisäksi arviointi käsittää mahdollisten ihmisten määrän tulipalon sattuessa sekä millaisesta ihmisjoukosta on kyse. Suunnitteluun kuuluu myös arviointia siitä, minkälaista vahinkoa tulipalo voi aiheuttaa rakennukselle, irtaimistolle, ympäristölle tai eri toiminnalle. (Hietaniemi.)

Vaaroja arvioitaessa selvitetään, onko vaara mahdollinen, eli kohtaavatko uhka ja sen uhkaamat kohteet. Lisäksi arvioidaan kuinka todennäköinen vaaran toteutuminen on. Selvitykseen sisältyy tyypillisesti myös ihmisten poistumisturvallisuus. Ihmisten tulee päästä pois ennen kuin savuisuus, lämpötila tai kaasujen myrkyllisyys estävät. Ihmisten täytyy ehtiä poistumaan reilusti ennen kuin olosuhteiden arvioidaan olevan sietämättömät. Tärkeää on myös rakenteille palon aiheuttamat olosuhteet. Osastoinnin ja kantokyvyn tulee kestää palon aiheuttamat vahingot. (Hietaniemi.)

Toiminnallinen paloturvallisuussuunnitelma sisältää palovaarojen torjunnan. Aktiivisiin palontorjuntatoimiin kuuluvat alkusammutus, palonilmaisimet, savunpoisto, sammutusjärjestelmät sekä palokunnan toimet. Passiivisiin palontorjuntatoimiin puolestaan kuuluvat mm. osastointi ja turvaetäisyydet. Myös palojen ehkäisy kuuluu toiminnalliseen paloturvallisuussuunnitteluun. Kuviossa 3. on esitetty toiminnallisen paloteknisen suunnittelun tärkeimpiä osatekijöitä ja niiden välisiä riippuvuuksia. (Hietaniemi.)



Kuvio 3. Toiminnallisen palosuunnittelun osatekijöitä ja niiden välisiä riippuvuuksia.

## 4.2 Toiminnallisen palomitoituksen kulku

Toiminnallisessa palomitoituksessa eli paloturvallisuussuunnittelussa määritetään todennäköiset uhat ja mitoituspalo. Kohteesta tehdään riskianalyysi sekä laskennallinen tarkastelu lämpötilojen kehittymisestä, savun muodostuksesta ja poistumisturvallisuudesta. Toiminnallisen palomitoituksen kulku aloitetaan riskianalyysillä. Riskianalyysin tarkoitus on arvioida uhkia ja suunnitella ratkaisuja ja toimenpiteitä, joilla uhiin liittyvät riskit saadaan minimoitua. (Puukerrostalon toiminnallinen palotekninen suunnittelu 2015.)

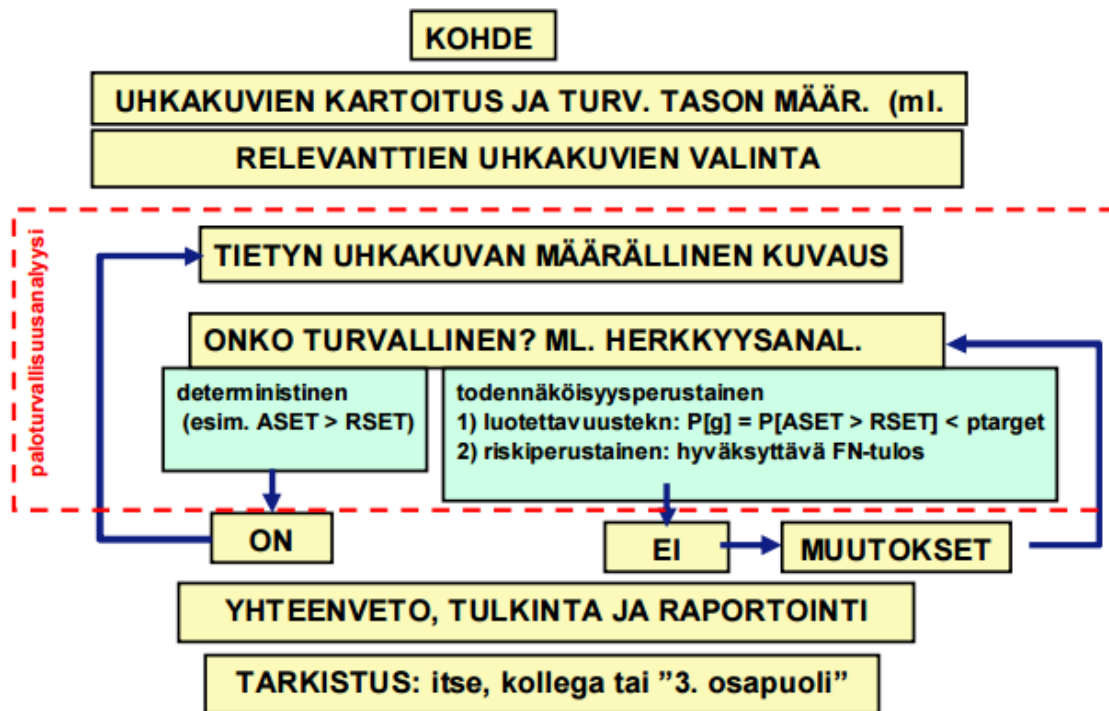
Tapahtumapuukuvaa tapahtumaketjua tulipalon syttymisen jälkeen. Alkutapahtumana on sellainen tilanne, joka voi johtaa ei-toivottuihin seurauksiin ilman onnistuneita turvallisuustoimenpiteitä. Tapahtumapuuhun mallinnetaan turvallisuustoimet

haarautumiskohtina riippuvuusjärjestyksessä. (Puukerrostalon toiminnallinen palotekninen suunnittelu 2015.)

Vikapuilla tarkoitetaan laitteiden ja järjestelmien vikaantumistodennäköisyyttä. Vika-  
puissa yksilöidään keskeiset vikojen lähteet ja arvioidaan niiden esiintymistodennä-  
köisyydet. Ne kytketään järjestelmän toiminnan mukaiseksi puurakenteeksi. Huip-  
puna on järjestelmän vikaantuminen. (Puukerrostalon toiminnallinen palotekninen  
suunnittelu 2015.)

Riskianalyysiä tehdessä käytetään tilastollisia todennäköisyyksiä. Palontorjuntakei-  
noilla estetään vahinkojen toteutumista. Palontorjuntakeinojen avulla palovaarojen  
toteutumisen mahdollisuus minimoidaan siedettävän alhaiselle tasolle. Tilastollisten  
todennäköisyysjakaumien avulla lasketaan palovaarojen riski ja niiden vaikutus.  
Riskin pienentämisen keinot hallitaan, kun pystytään laskemaan riski. (Puukerros-  
talon toiminnallinen palotekninen suunnittelu 2015.)

Toiminnallisen paloturvallisuussuunnitelman päämäärä on sama kuin palomääräyk-  
siä ja lukuarvoja noudattavassa suunnittelussa. Olennaisia vaatimuksia ovat raken-  
nuksen kantavien rakenteiden palonkesto tulipalon sattuessa sekä palon ja savun  
kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa tulee olla rajoitettu. Palo ei saa levitä lä-  
histöllä oleviin rakennuksiin. Palon sattuessa rakennuksessa olevien henkilöiden on  
päästävä poistumaan rakennuksesta tai heidät on voitava pelastaa muulla tavoin.  
Myös pelastushenkilökunnan turvallisuus on huomioitava suunnittelussa. Kuviossa  
4. on esitetty suunnittelun kulkua. (Hietaniemi.)



Kuvio 4. Toiminnallisen paloteknisen suunnittelun kulku.

#### 4.2.1 Toiminnallisen paloteknisen suunnitelman sisältö

Toiminnallista paloteknistä suunnittelua sovelletaan vain joihinkin paloturvallisuuden osa-alueiden täyttymisen todentamiseen. Tiedot tulee käydä esille asiakirjoista. Rakennus täytyy kuvata asiakirjoissa suunnitelman sovellusalueen vaatimalla tarkkuudella. Suunnitelmaan sisältyy myös sen käytöstä koko elinkaaren aikana tehdyt oletukset sekä rakennuksen käytön aikana edellytettävät huolto- ja kunnossapitoimet. Ennen suunnittelun käynnistämistä paloviranomaisten kanssa valitaan mitoitettavat uhkakuvat ja niitä kuvaavat mitoituspalot. (Hietaniemi.)

Toiminnallista paloteknistä suunnittelua tehdessä käytetään suurelta osin erilaisia turvallisuuden arviointimenetelmiä, erityisesti laskentamenetelmiä. Määräysten mukaan käytettyjen menetelmien kelpoisuus tulee olla osoitettu. Kelpoisuuden lisäksi menetelmiä tulee käyttää asiantuntevasti. Kaikki käytetyt tietolähteet ja tehdyt oletukset tulee tuoda esille ja perustella. Hyväksymiskriteerit suunnitteluratkaisun turvallisuudelle sovitaan kohdekohtaisesti paikallisten viranomaisten kanssa. (Hietaniemi.)

Kyseisen kohteen menetelmien soveltaminen tulee esittää niin laajasti, että tarvittaessa toinen taho voisi toistaa soveltamisen. Vertaamalla tuloksia hyväksymiskriteereihin voidaan turvallisuus todentaa. Herkkyysanalyysillä arvioidaan laskelman lähtötietojen muutosvaikutusta lopputulokseen. Analyysi on yhtä olennainen osa suunnitelmaa kuin varsinaiset laskelmat, sillä se tehdään riskien ja epävarmuuksien arvioimiseksi. Suunnitelmasta tulee käydä ilmi, miten eri palontorjuntamenetelmien vaikutus otetaan huomioon kohteessa. Suunnitelman täytyy sisältää palokunnan toimintamahdollisuuksien arvioinnissa käytetyt menetelmät ja oletukset sekä paloturvallisuuslaitteiden kuvaus ja niiden vaikutuksien arvioinnissa käytetyt menetelmät ja tehdyt oletukset. (Hietaniemi.)

### **4.3 Toiminnallisen palomitoituksen edut**

Toiminnallisella palomitoituksella saavutetaan suuriakin etuja rakentamisessa, kuten parempi turvallisuustaso. Lisäksi arkkitehti voi toteuttaa ideoitaan vapaammin ja tilojen käytettävyys paranee. Toiminnallinen palomitoitus säästää merkittävästi rakennuskustannuksia. Suuremmat osastokoot ja pienemmän poistumistie-etäisyydet mahdollistuvat. Rakenteet voivat olla kevyempiä. Palotekniset laitteistot voivat olla halvempia ja niiden huolto- ja ylläpitokustannukset ovat alhaisemmat. Mitä vaativampi kohde, sitä suuremmat edut saavutetaan. Myös pienissä ja rajallisissa kohteissa saadaan usein merkittäviä etuja toiminnallisella palomitoituksella. (Hietaniemi 2014.)



## 5 CLT

Lyhenne CLT tulee sanoista Cross Laminated Timber, eli ristiinliimattu puu. Erona tavalliseen liimapuuhun CLT liimataan kohtisuoraan toisiinsa nähden ristiin. CLT koostuu tavallisesti kolmesta tai viidestä ristiinliimatusta lautakerroksesta. Ristiinliimaamalla muodostetaan hyvin paloa kestävä, erittäin luja ja jäykkä rakennuslevy, joka on ominaisuuksiinsa nähden kohtalaisen kevyt materiaali. CLT:ssä käytetty sahatavara täyttää lujuusluokan C24 vaatimukset. Alla olevassa kuvassa 2. erottuvat liimatut kerrokset. (CLT Ristiinliimattu massiivipuu (cross laminated timber).)



Kuva 2. CLT-levyt koostuvat ristiinliimatuista lautakerroksista (Puuinfo).

CLT-levyjä voidaan käyttää sekä seinissä että latioissa kantavina ja jäykistävinä rakenteina. Sisätiloissa palomääräyksistä riippuen CLT-levy voidaan pinnoittaa tai

jättää sellaisenaan näkyville. (CLT Ristiinliimattu massiivipuu (cross laminated timber).)

CLT-levyt voivat olla joko 3-, 5-, 7- tai 8-kerroksisia riippuen rakenteellisista vaatimuksista. CLT-levyt voivat olla jopa 2,95 m x 16 m kokoisia. Levyjen koko mahdollistaa nopean rakentamisen ja laskee puskuliitosten määrän minimiin. Liimauksessa käytetään formaldehydittömiä liimoja, jotka ovat ympäristöystävällisiä. (Valmistettu Itävallassa.)

### 5.1 CLT:n edut

CLT omaa monia etuja muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna. CLT:llä on positiivinen  $CO_2$ -tasapaino, ja se on sekä ympäristöystävällinen että vastuullinen rakennusmateriaali. Verrattuna betoniin tai tiileen CLT on huomattavasti kevyempää. Sillä on erinomaiset rakenteelliset ominaisuudet ja CLT-levyt ovat tiiviitä. Rakennusvaihe on nopea, sillä CLT-levyjen pystytysaika on lyhyt, ne ovat helppoja asentaa sekä niiden esivalmistusaste on korkea. Etuihin kuuluu myös se, että rakennusmenetelmä on täysin kuiva. Työstötarkkuus on erittäin hyvä,  $\pm 1$  mm. CLT-rakentaminen soveltuu hyvin myös maanjäristysalueelle. Käyttämällä CLT:tä runkona saadaan miellyttävä ja terveellinen sisäilma. Massiivirakenteen ansiosta palonkestävyys on hyvä. (CLT:n edut.)

CLT on kustannustehokas rakennusmateriaali, sillä suurelementit ovat nopeita valmistaa ja koota. Tuote on alusta asti kuiva ja sen valmistus tuottaa hyvin vähän hukkaa. Kuten puulla yleensäkin, CLT:llä on erinomaiset lämpöön liittyvät ja kosteutta tasaavat ominaisuudet. CLT:n etuihin kuuluu myös sen rakenteellinen kantavuus ja stabiilius. Rakennettaessa CLT:llä käyttömahdollisuudet ovat monipuoliset ja yksilölliset ratkaisut mahdollisia. Puu on rakennusmateriaalina ekologinen ja sillä on positiiviset hiilidioksidivaikutukset. CLT:n käyttö rakennusmateriaalina tuo positiiviset terveys- ja elämänlaatuvaikutukset. CLT:n pinta on mahdollista käsitellä jopa kokonaan syttymättömäksi. (Hoisko.)

## 5.2 CLT-rakentaminen

CLT:tä voidaan käyttää moneen eri tarkoitukseen, kuten ulkoseiniin ja huoneistojen välisiin seiniin sekä lattiarakenteisiin ja välipohjiin. CLT soveltuu myös kattorakenteeksi. Lisäksi CLT:tä voidaan käyttää sisäverhouksessa ja väliseinissä. CLT:stä voidaan rakentaa niin kerrostaloja kuin teollisia ja kaupallisia rakennuksia. Laajennuksia pystytään myös toteuttamaan CLT:llä. (CLT-rakentaminen.)

CLT-tilaelementin ihanteellinen koko on 35–40 neliometriä. Stora Enson elementtien pituus on 7-8 metriä ja leveys noin 3,5 metriä. Tällöin elementtiin saadaan sopimaan sekä normaalit asuintilat että märkätilat. (Häkkinen 2016.)

CLT ei vaadi lisäjäykisteitä suurten aukkojen tekemiseen ja CLT:n jäykkyys mahdollistaa korkeat rakenteet. CLT:llä voidaan toteuttaa myös pilarittomia uloke-, katos- ja rappuratkaisuja. CLT:tä voidaan käyttää kaikenlaisessa rakentamisessa pientaloista loma-asuntoihin ja halleista maisemarakentamiseen. (Häkkinen 2016.)

## 5.3 CLT:n paloturvallisuus

CLT:llä on erittäin hyvä paloturvallisuus. Se ei syty nopeasti, mutta tulipalon sattuessa massiivipuu vain hiiltyy. Tulipalosta huolimatta se säilyttää rakenteellisen lujuutensa. (Puurakentajat.)

CLT sisältää vettä noin 12 %. Kosteuden on haihduttava ennen kun puu syttyy palamaan. Jos CLT kuitenkin syttyy, sen käyttäytyminen ja hiiltymisnopeus on ennustettavissa. Hiiltymisen suojelee sisempiä CLT-kerroksia, jonka ansiosta CLT-rakenne ei romahda tulipalossa. (Paloturvallisuus.)

## 5.4 Tilaelementit

Rakennustapaa, jossa rakennus kootaan erillisistä, tehtaalla esivalmistetuista tilayksiköistä, kutsutaan tilaelementtitekniikaksi. Työmaavaihe on hyvin nopea. Tavallisesti tilaelementti koostuu kantavasta rungosta ja rajaavista pinnoista, eli valmiista seinistä, lattiasta ja katosta. LVIS-asennukset, ikkunat ja kalusteet voidaan asentaa

jo tehtaalla valmiiksi elementtiin. Tilaelementin kantava rakenne on mahdollista toteuttaa monella eri tavalla. Yleisimpiä ovat pilari-palkkitekniikka, kehärakenne ja laattamainen suurelementti. (Heikkinen 2012.)

Tilaelementin enimmäismitat ovat 12 m x 4,2 m x 3,2 m. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös kuljetuksen asettamat rajoitukset. Elementtirakenteisen kerrostalon erinomaisen ääneneristävyyden mahdollistavat väliseinien ja välipohjien muodostama kaksoisrunko. Elementtirakentamisen iso etu on myös se, että valmistus tapahtuu täysin kuivissa olosuhteissa tehtaalla. (Heikkinen 2012.)

## 6 PUUKERROSTALO MÄIHÄ

### 6.1 Viisikerroksinen puukerrostalo

Asunto Oy Seinäjoen Mäihä nousi keväällä 2016 Seinäjoen kaupungin Huhtalan kaupunginosan kortteliin nro 64 tontille numero 2. Kohde sijaitsee vuoden 2016 asuntomessualueella osoitteessa Kniipinkuja 3. Taloyhtiö omistaa tontin. Mäihä on viisikerroksinen hissillinen asuinkerrostalo, johon rakennettiin 28 asuntoa. Talosta löytyy kymmenen 38,5 m<sup>2</sup> :n yksiötä, kymmenen 66,5 m<sup>2</sup> :n kolmiota sekä kahdeksan 71,0 m<sup>2</sup> :n kokoista kolmiota. Lisäksi rakennuksessa on osittain maanalainen kellarikerros, josta löytyy kuivaushuone, tekniset tilat, irtaimistovarastot, tilat lastenvaunuille sekä väestönsuoja, joka toimii samalla ulkoiluväline- ja pyörävarastona. (Lakea Oy 2015.)

Mäihä on rakennettu ristiinliimatusta CLT:stä. Mäihän yksiöt koostuvat yhdestä suuresta CLT-tilaelementistä ja kolmiot puolestaan kahdesta elementistä. Puukerrostalon elementtimoduulit on valmistettu kuivissa ja tasaisissa työskentelyolosuhteissa, eivätkä ne ole päässeet altistumaan esimerkiksi kosteudelle. Elementit on kuljetettu säältä suojattuna tontille ja suojat on poistettu vasta, kun elementit ovat olleet paikallaan. Kuvasta 3. näkee kuinka parvekkeiden suojat ovat vielä paikallaan, kun taas tilaelementtien suojat on lähes kaikki poistettu. (Lakea Oy 2015.)



Kuva 3. Elementtien suojat poistetaan vasta kun elementit ovat paikoillaan (Sanjanen 2016).

Rakennuksen ulkoseinät ovat CLT-puulevyelementtirakenteiset. Ainoastaan kellari-kerros on betonirakenteinen. Julkisivuverhous on puuta. Kolmioiden lasitetut parvekkeet ovat CLT- ja liimapuurakenteisia. Yksiöistä löytyy ranskalainen parveke. Huoneistojen väliseinät ovat CLT-puulevyelementtirakenteiset. Asuinhuoneiden väliset kevyet väliseinät on toteutettu kipsilevyseininä. Kylpyhuoneiden seinät ovat teräsohutlevyrakenteisia. (Lakea Oy 2015.)

Sekä yläpohja että välipohjat ovat myös CLT-puulevyelementtirakenteiset, lukuun ottamatta kellarikerroksen väestönsuojaa, joka on betonirakenteinen. Yläpohjassa on lisäksi lämmöneristys. Katto on puurunkoinen ja siinä on huopakate. (Lakea Oy 2015.)

Asuntojen sisäkatot ovat pääosin kuultomaalattua CLT-puulevyä. Kuvassa 4. näkyy CLT-elementti sisäkatossa sekä tehtaalla valmiiksi asennettu verhotanko. Keittiön ja eteisen alaslasketut katot ovat levytettyjä. Kylpyhuoneiden katoissa on tavallinen puupaneeli. (Lakea Oy 2015.)



Kuva 4. Sisäkatoissa on näkyvissä CLT (Sanjanen 2016).

### 6.1.1 PEFC-sertifiointi

Kohde voi saada PEFC-projektisertifikaatin silloin, kun sen puutavara on varmistetusti peräisin kestävästi hoidetuista metsistä. Tällaisissa kohteissa puumateriaalin kulku tunnetaan alusta loppuun. Riippumaton taho myöntää kohteelle sertifiointin, kun se on varmistanut vaatimusten toteutuneen kohteessa. (Eskopuu 2016.)

Mäihä on ensimmäinen puukerrostalo Pohjoismaissa, joka on saanut PEFC-sertifiointin, eli sen rakentamiseen käytetty puu on kestävästi hoidetuista metsistä (Lakea Oy 2015).

## 6.2 Rakennusvaihe

Rakennuttajana toimi Lakea Oy ja rakentajana Insinööritoimisto Seinäjoen Rakennustekniikka Oy.

Puukerrostalo Mäihän maanrakennustyöt aloitettiin 12.10.2015. Aloituskokous on pidetty 20.10.2015. Pohjatyöt veivät aikaa saman verran kuin vastaavankokoisella betonirakenteisella talolla. Itse rungon rakennusvaihe oli todella nopea. Yhden kerroksen kasaamiseen meni noin viikko. Käytännössä koko kerrostalon runko oli pystytyssä viidessä viikossa. Rungon nopean pystytyksen mahdollistivat CLT:stä valmistetut suuret tilaelementit.

Huonetilaelementit on koottu Stora Enson tehtaalla Hartolassa ja kylpytilaelementit Forssassa. Elementit tehdään kuivissa oloissa hyvin valmiiksi, lähes kaikki oleellinen valmiina, mm. verhotangot ja parketit on asennettu valmiiksi. Kuvassa 5. on Mäihän elementti tehtaalla. Ainoastaan porrashuone tehtiin paikan päällä, muuten kaikki putket ja johdot olivat valmiina elementeissä, ne täytyi vain liittää toisiinsa. Itse elementit liitettiin toisiinsa metallisilla liittimillä.





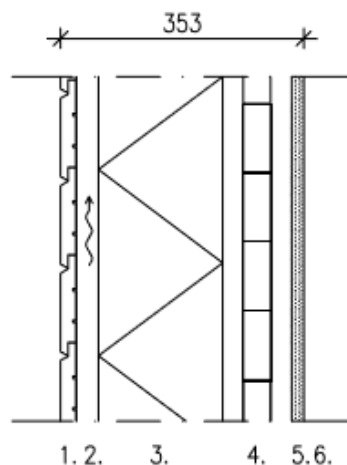
Kuva 5. Mäihän tilaelementit tehdään kuivissa olosuhteissa aina ulkoverhoukseen asti (Mattelmäki 2016).

Harjannostajaisia vietettiin 22. huhtikuuta 2016.

### 6.3 Puukerrostalo Mäihän seinien ja välipohjien rakenne

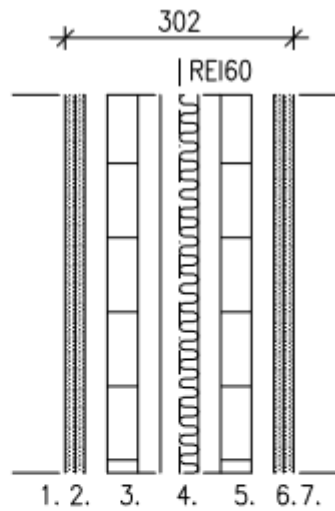
Mäihässä on käytetty montaa erilaista seinärakennetta. Ulkoseinärakenteita on seitsemää erilaista. Huoneistojen välisiä seinärakenteita on jopa yhdeksän erilaista. Sekä huoneistojen sisäisiä seiiniä että väliseiniä oli kumpiakin kahta erilaista. Välipohjia oli alkuperäisessä suunnitelmassa yhdeksää erilaista, mutta toteutuneessa vain seitsemää. Erilaisia yläpohjarakenteita on kolmenlaisia ja alapohjarakenteita kahdenlaisia.

Kantavana rakenteena CLT on vahvasti läsnä kaikissa rakenteissa. Kuvioissa 5.-10. on esitetty Mäihän erilaisia rakenteita.



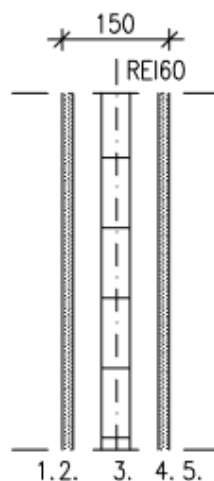
23 mm	1	Julkiverhouslauta (23x146 UYV), pintaluokkavaatimus D-s2, d2. *
		- Palon leviäminen ilma- ja rakenteissa estetään kerroksittain palokatolla (rei-itetty pelti-hattuprofiili, koko ilma- ja rakenteiden mukaan).
		- Koolauksen kiinnitys rakennesuunnittelijan ohjeen mukaan.
32 mm	2	Tuuletettu ilmarako, koolaus 32x95 k600, pintaluokkavaatimus D-s2, d2. *
180 mm	3	Tuulensuoja pinnoitettu lämmöneriste esim. Paroc Cortex One ( $\lambda_d = 0,033 \text{ W/mK}$ ) materiaali vähintään A2-s1, d0
100 mm	4	CLT C3s
18 mm	5	Palokipsilevy ** (tai muu $K_2$ 30 suojaverhousvaatimuksen täyttävä rakenne)
	6	Pintamateriaali ja -käsittely arkkitehtisuunnitelman mukaan

Kuvio 5. Puukerrostalo Mäihän US1 rakenneleikkaus (Lakea Oy 2015).



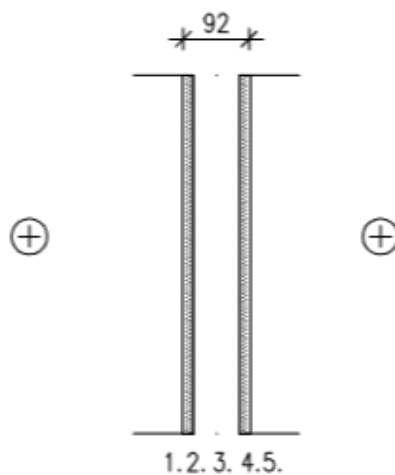
	1	Pintamateriaali- ja käsittely huoneselityksen mukaan
26 mm	2	2x 13 mm Gyproc GR (K <sub>2</sub> 30 suojaverhous)
100 mm	3	CLT C3s
50 mm	4	Mineraalivilla 30mm
100 mm	5	CLT C3s
26 mm	6	2x 13 mm Gyproc GR (K <sub>2</sub> 30 suojaverhous)
	7	Pintamateriaali- ja käsittely huoneselityksen mukaan

Kuvio 6. Puukerrostalo Mäihän KVS1 rakenneleikkaus (Lakea Oy 2015).



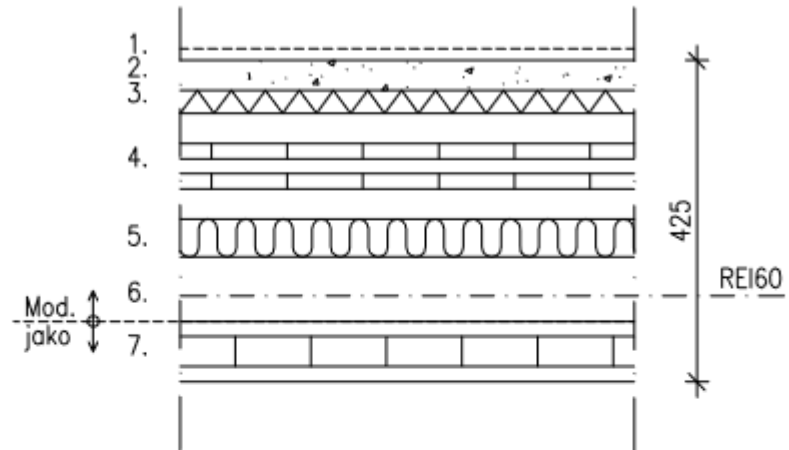
	1	Pintamateriaali- ja käsittely huoneselityksen mukaan
15 mm	2	Palokipsilevy (tai muu K <sub>2</sub> 30 suojaverhousvaatimuksen täyttävä rakenne)
120 mm	3	CLT C3s
15 mm	4	Palokipsilevy (tai muu K <sub>2</sub> 30 suojaverhousvaatimuksen täyttävä rakenne) *, **
	5	Pintamateriaali- ja käsittely huoneselityksen mukaan

Kuvio 7. Huoneiston sisäisen seinän rakenne HSS1 (Lakea Oy 2015).



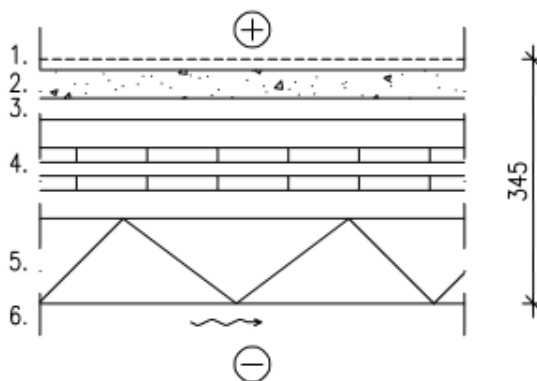
	1	Pintamateriaali- ja käsittely huoneselityksen mukaan, pintaluokka D-s2, d2 *
13 mm	2	Kipsilevy (erikoiskova)
66 mm	3	Pystyrunko 42x66 k600 (ylä- ja alajuoksut 45x66 KP)
13 mm	4	Kipsilevy (erikoiskova)
	5	Pintamateriaali- ja käsittely huoneselityksen mukaan, pintaluokka D-s2, d2 *

Kuvio 8. Mäihän väliseinärakenne VS1 (Lakea Oy 2015).



~15 mm	1	Pintamateriaali- ja käsittely huoneselityksen mukaan
40 mm	2	Plaanovalu esim. Weber (tai muu K <sub>2</sub> 30 suojaverhoukseen täyttävä rakenne)
30 mm	3	Tacker-eriste
140 mm	4	CLT 140 L5s
50 mm	5	Eriste ääneneristystä varten, kiinnitys muovivanteilla
85 mm	6	Ilmaväli (lattian kannatuspuu ja ääneneristyskumi)
80 mm	7	CLT 80 L3s alapinnassa visuaalinen laatu * (Lamellointi 20-40-20)
*) Suojaverhouksen poisjättäminen perustuu palotekniseen suunnitelmaan.		

Kuvio 9. Välipohjarakenne VP1  
(Lakea Oy 2015).



	1.	Pintamateriaali- ja käsittely huoneselityksen mukaan
40 mm	2.	Plaanovalu esim. Weber
30 mm	3.	Tacker-eriste
140 mm	4.	CLT
120 mm	5.	Tuulensuoja pinnoitettu lämmöneriste Paroc Cortex One (A2 R6.0x240 4kpl/m <sup>2</sup> + aluslevy Paroc XFW 003 + muovinen aluslevy Ø50 mm)
	6.	Ryömintätila

Kuvio 10. Mäihän alapohjarakenne AP1  
(Lakea Oy 2015).

## 6.4 Mäihän paloturvallisuus

### 6.4.1 Automaattinen sammutusjärjestelmä

Lain mukaan puukerrostaloihin täytyy asentaa automaattinen sammutusjärjestelmä. Myös Mäihään on asennettu asuntokohtainen vesisumujärjestelmä, jokainen huoneisto muodostaa oman palo-osaston. Asunnot on osastoitu EI60-luokkaisesti. Por-rashuone muodostaa oman palo-osaston. Mäihässä päädyttiin käyttämään Fireco-nin vesisumujärjestelmää. Jokaisessa huoneessa, mukaan lukien parveke, on sprinkleri seinässä katon rajassa. Sprinklerit käynnistyvät lämpötilan noustessa huoneessa 68 °C:seen. Vaikka sammutusjärjestelmä on huoneistokohtainen, sprinkleri käynnistyy vain siellä huoneessa, missä lämpötila ylittää 68 °C:n. Kylpy-huoneissa sprinkleri laukeaa 140 asteen lämpötilassa.

Automaattinen sammutusjärjestelmä käyttää vesisumua tulipalon sammuttamiseen. Verrattuna suoraan vesisuihkuun Fireconin vesisumujärjestelmä tukahduttaa tulipalon vesisumulla. Vesisumun etuna on, että se tukahduttaa palon myös paikoissa, jonne suoralla vesisuihkulla ei ole pääsyä, esimerkiksi pöydän alta.

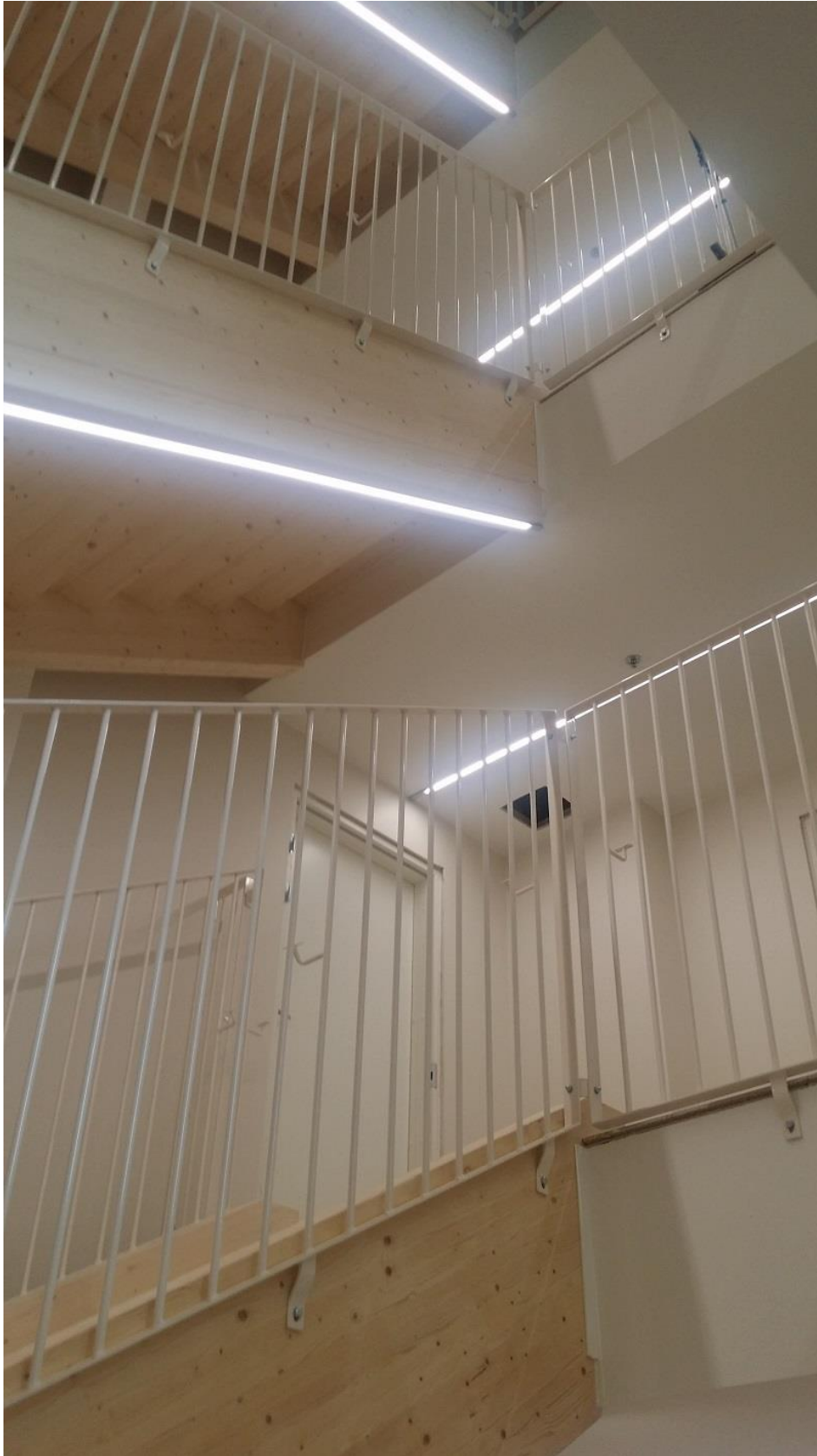
Jos tulipalo laukaisee vesisumujärjestelmän, se hälyttää automaattisesti palokunnan paikalle. Palokunta myös sulkee sammutusjärjestelmän. Jokaiseen kerrokseen käytävälle on sijoitettu käsisammuttimet. Lisäksi käsisammutin löytyy kellarikerroksen yhteisestä tilasta ja irtainvarastosta.

Asuintilat on varustettu verkkovirtaan kytketyillä palovaroittimilla. Rakennusta ei kuitenkaan ole varustettu automaattisella paloilmoitinlaitteistolla. Jokaisen huoneiston alkavaa 60 m<sup>2</sup> kohden on oltava yksi palovaroitin. Lisäksi jokaiseen makuuhuoneeseen on tehty varaus verkkovirtaan kytkettävälle palovaroittimelle. Palovaroittimien virransyöttö varmistetaan esimerkiksi paristolla tai akulla. Myös porrashuoneen jokainen kerros on varustettu palovaroittimella.

#### **6.4.2 Palosuojaus rakenteissa**

Itse rakennuksen paloturvallisuutta on parannettu asentamalla kaikille seinäpinoille palokipsilevyt, jotka on maalattu palosuojatulla maalilla. Palonestomaalit paisuvat kuumetessaan, jolloin syntyy vaahtomainen palamaton solukko. Solukko hidastaa lämmönsiirtymistä rakenteeseen. Vaikka asuntojen olohuoneiden ja makuuhuoneiden katoissa on pintamateriaalina CLT, on sekin palo-ominaisuuksiltaan hyvin kestävä sen tiiviin rakenteen vuoksi.

Porrashuoneessa itse portaat ja kaiteiden käsiosat on tehty CLT:stä. Porrashuoneen seinät sekä katto on päällystetty 15 mm palokipsilevyillä. Kuvassa 6. näkyy portaiden CLT sekä seinien ja katon palokipsilevyt.



Kuva 6. Portaissa on käytetty CLT:tä  
(Töyräs 2016).



Rakennuksen palovaarallisuusluokka on 1 ja suojaustaso 3, joka tarkoittaa, että rakennukseen asennettu automaattinen sammutusjärjestelmä. Paloluokka on P2 ja asunnot on osastoitu EI60:n mukaisesti. Muiden rakennusten osien vaatimusluokat on kerrottu taulukossa 1.

Taulukko 1. Luokkavaatimukset rakennuksen eri osissa (Lakea Oy 2015).

Rakenne	Luokkavaatimus
<b><i>Kantavat rakenteet</i></b>	
asunnot, pesula, kuivaushuone ja porrashuone	R60
irtainvarastot	R120
asuntojen parvekkeiden parveketaso	R30
tekniset tilat, UVV, yhteinen tila	R60
<b><i>Osastoivat rakenteet</i></b>	
asunnot, pesula, kuivaushuone ja porrashuone	EI60
• ovet, ikkunat luukut tms., (< 7 m <sup>2</sup> )	EI30
Irtainvarastot	EI90
• ovet, ikkunat luukut tms., (< 7 m <sup>2</sup> )	EI45
asuntojen parvekkeiden parveketaso	EI30
tekniset tilat, UVV, yhteinen tila	EI60
ullakon/yläpohjan ontelon jako ≤ 400 m <sup>2</sup> osiin	EI15

Tilojen ilmanvaihto toteutetaan P2-luokan rakennukseen RakMK osan E7 ohjeiden mukaisesti. Jokaisen kerroksen porraskäytävässä on hätä-seis-painike, joka sammuttaa kyseistä kerrosta palvelevan IV-koneen.

Räystäään palonsuojausta on lisätty asentamalla onteloventtiili joka toisen ristikon väliin. Räystäälle on myös asennettu Gyproc GFL 15 Fireline. Lisäksi räystääs on palomassattu ja saumateipattu. Kuviossa 11. on esitetty räystääsdetalji. Tulipalon sattuessa palon leviäminen julkisivun tuuletetussa ilmaraossa on estetty kerroksittain palokatolla. Julkisivun tuuletusraon palokatko on toteutettu hattuprofiililla.

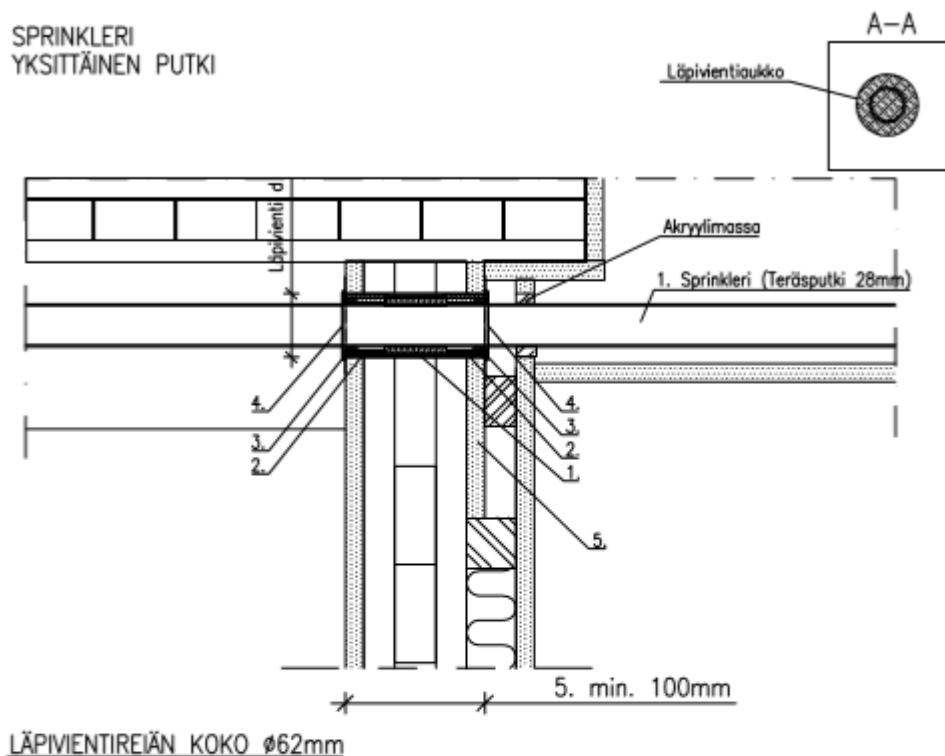


Kuvio 11. Mäihän räystäsdetalji  
(Lakea Oy 2015).

## 6.5 Läpiviennit rakenteissa

### 6.5.1 Sprinklerin läpivienti ulkoseinässä

Sprinkleri on 28 mm:n paksuinen teräsputki. Läpiviennin koko on 39–63 mm seinän rakenteen kohdasta riippuen. Julkisivun, tuuletusraon sekä eristyksen kohdalla läpiviennin koko on pienempi kuin CLT:n ja palokipsilevyn kohdalla. Läpivienti on massattu Hilti CFS-S ACR akryylipalokatkomassalla. CLT:n ja palokipsilevyn kohdalla rakenteen ja läpiviennin väliin jäävä rako on tukittu tiiviisti kivivillalla. Kuviossa 12. on esitetty rakenneleikkaus ulkoseinän sprinkleriputken läpiviennistä.

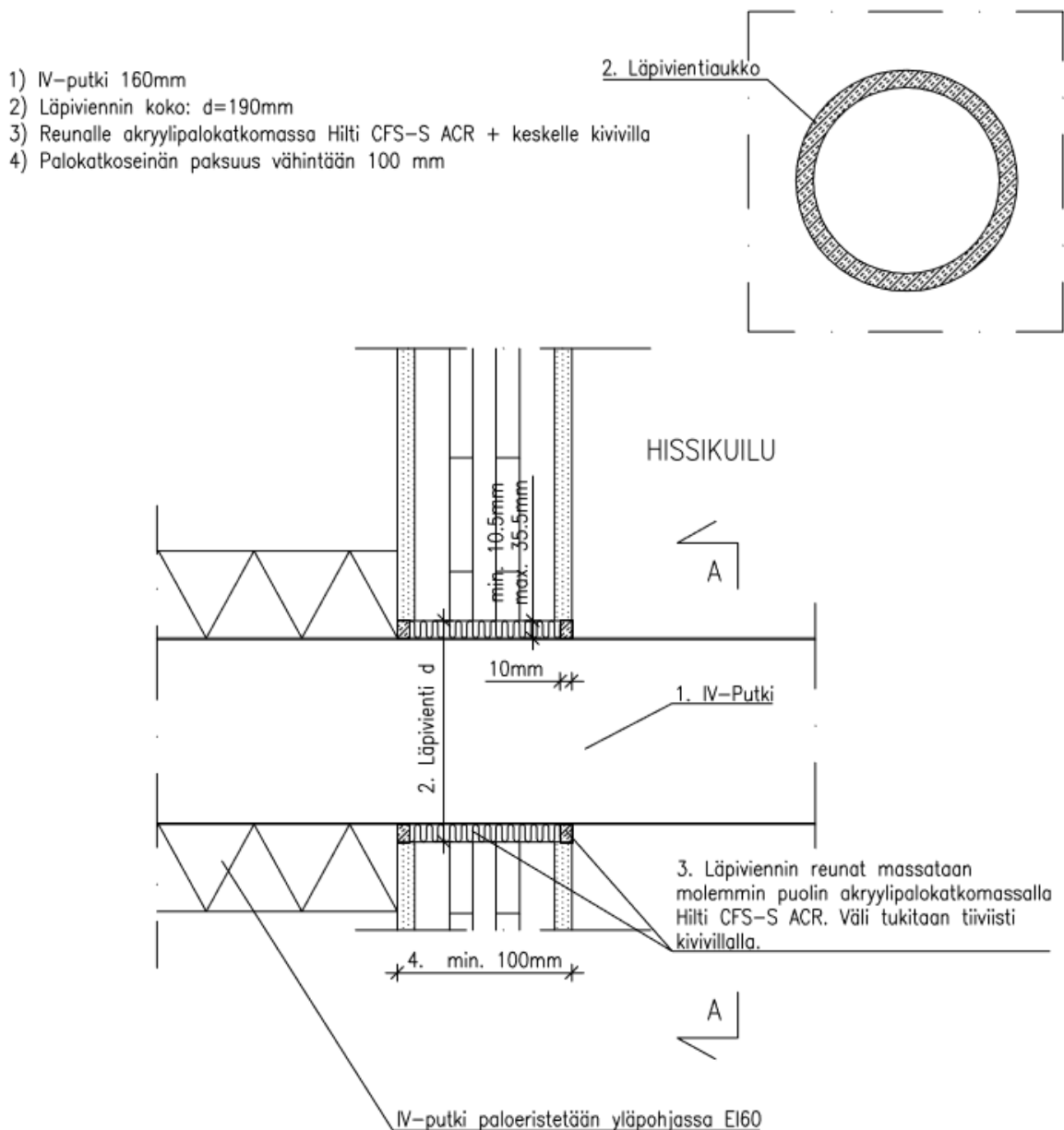


Sewatek läpivienti D62 (D-sarja)

1. Sewatek läpivientiputki
2. Aluminimansetti+ palokatkokomponentti
3. Akryylimassatiivistys putken ympärille
4. Teräslaippa 95mm
5. Kipsilevy 18mm, 250x250 läpiviennin kohdalle

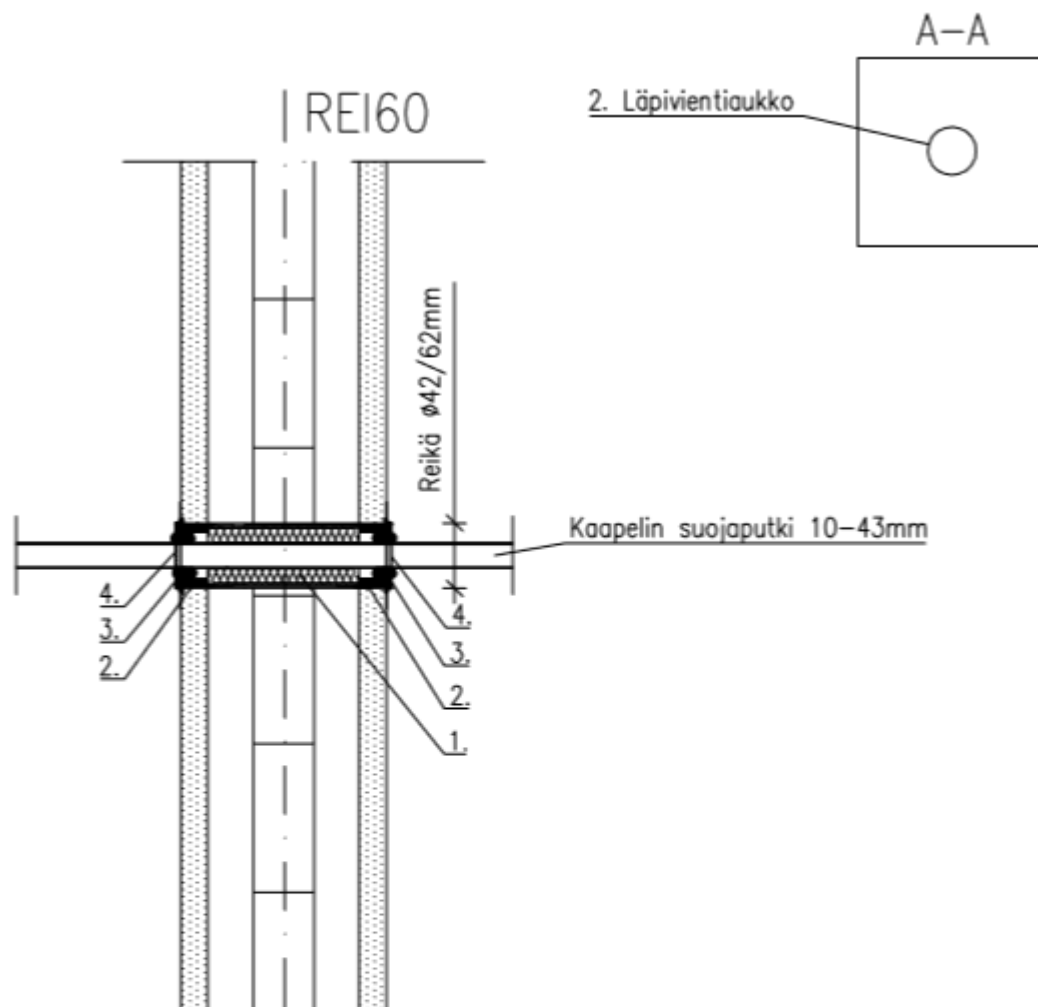
Kuvio 12. Sprinkleriputken läpivienti ulkoseinässä (Lakea Oy 2015).

Kuviossa 13. on kuvailtu IV-kanavien paloläpivienti käytävässä/yläpohjassa. IV-putki on 160 mm:n paksuinen. Itse läpivienti on 190 mm:n paksuinen. Läpiviennin reunat on massattu molemmin puolin Hilti CFS-S ACR -akryylipalokatkomassalla. Väli on tukittu kivihiilivillalla. Kyseisen palokatkokseinän paksuus täytyy olla vähintään 100 mm.



Kuvio 13. IV-kanavien paloläpivienti käytävässä/yläpohjassa (Lakea Oy 2015).

Kuviossa 14. on esitetty yksittäisen sähköputken läpivienti huoneiston hormissa. Läpivientireiän koko on 42–62 mm. Läpivientiin on asennettu alumiinimansetti ja palokatkokomponentti. Putken ympäryks on tiivistetty akryylimassalla. Uloimpana on vielä teräslaippa suojaamassa läpivientä.



### LÄPIVIENTIREIÄN KOKO $\phi 42/62\text{mm}$

#### Sewatek läpivienti D42 tai D62 (D-sarja)

1. Sewatek läpivientiputki
2. Alumiinimansetti+  
palokatkokomponentti
3. Akryylimassatiivistys  
putken ympärille
4. Teräslaippa 71/95mm

Kuvio 14. Yksittäisen putken paloläpivienti huoneisto/horni (Lakea Oy 2015).

## 6.6 Poikkeukset RakMK:n E-sarjan taulukoista ja lukuarvoista

Mäihän paloturvallisuussuunnitelma poikkeaa Suomen Rakentamismääräyskokoelman taulukkomitoituksesta asuntojen kattojen, suojaverhouksen, portaan suojaverhouksen ja porrashuoneen seinien B-s1, d0 pintojen sekä parvekkeiden suojaverhouksen osalta.

Asuntojen kattojen suojaverhouksen minimivaatimukset kerroksiin 2-8 ovat D-s2, d2-luokkainen pintakerros ja  $K_210$  (A-s1, d0) suojaverhouslevyn yhdistelmä, jotka suojaavat rakenteita 30 minuuttia. (E1 8.2.3) Asuntojen katot ovat luokkaa C-s2 d2 ja suojaverhousaika on 30 minuuttia, sillä alakattona on 80 mm:n CLT-levy. Palokonsultti Esko Mikkola, KK-Palokonsultti Oy, on antanut lausunnon puulevyn käytöstä suojaverhouksena huoneistojen katoissa ilman A2-s1, d0 luokan levytystä 30.4.2015.

Portaan suojaverhouksen ja porrashuoneen erikseen määriteltyjen seinien B-s1, d0 luokan pintojen vaatimuksena porrassyöksyt ja porrastasanteet ja niitä kannattelevat rakenteet tulee suojaverhota portaiden yläpintaa lukuun ottamatta vähintään  $K_330$  A3-s1, d0-luokan tarvikkeilla. Seinien ja kattojen pinnat on A2-s1, d0-luokkaa. Porrassyöksyjen ja -tasanteiden sekä CLT:stä valmistettujen kaiteiden pinnat on palosuojattu portaiden yläpintaa lukuun ottamatta luokkaan B-s1, d0 ja tällöin R30 vaatimus täyttyy. Porrashuoneen seinässä on B-s1, d0-luokkaan palokäsiteltyä puuta. Perusteita poikkeukselle on monia. Porrashuoneissa ei saa säilyttää palokuormaa, joten B-s1, d0 luokkaiset pinnat eivät syty pienistä alkupaloista. Lisäksi B-s1, d0 pintaisten roilojen kohdalla on aukot, joten kyseisten pintojen syttymisriski on vielä pienempi.

Parvekkeiden suojaverhouksen vaatimukseen kuuluu rungon suojaverhous  $K_210/K_230$ , A2-s1, d0. Parvekkeita voidaan käyttää varateinä. Kantavia rakenteita ei ole suojaverhottu. Parvekkeiden rakenteet on suojattu Puuinfon teknisen tiedotteen ”Parveke ja luhtikäytävä (3-8/P2), 4.6.2013” mukaisesti. Automaattinen sammutuslaitteisto ja parvekelaatan alapinnan sekä parvekkeen seinien pintaluokka on vähintään B-s2, d0. Pintaluokkavaatimus ja automaattinen sammutuslaitteisto varmistavat poistumisturvallisuuden varatiellä.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössäni halusin tutustua lisää puukerrostalon ja varsinkin CLT-rakenteisen kerrostalon paloturvallisuuteen, sillä se on vielä kohtalaisen uusi ja toivottavasti tulevaisuudessa kasvava rakennustapa Suomessa. Innostukseni CLT-rakentamiseen pohjautuu työstäni Seinäjoen asuntomessujen puukerrostalo Mäihässä. Luonnollisesti vierailijoiden yksi suurimmista huolenaiheista oli puukerrostalon paloturvallisuus. Opin messujen aikana paljon CLT:n paloturvallisuudesta ja halusin käyttää tietouttani hyödyksi opinnäytetyöstä tehdessä.

CLT-rakenteisen puukerrostalon paloturvallisuutta voidaan lisätä monin eri keinoin. Tärkeimmät keinot ovat huoneistokohtainen automaattinen sammutusjärjestelmä sekä pintojen palosuojaus. Myös rakenteiden palosuojaus esimerkiksi palokatkoilla on tärkeää ulkoa päin alkaneen palon leviämisen ehkäisyssä.

Mäihässä oli monia erikoisluvalla rakennettuja osia, jotka erosivat Suomen rakentamismääräyskokoelman E-sarjan ohjeista, taulukoista ja lukuarvoista. Toiminnallinen palomitoitus mahdollistaa laajemmat arkkitehtuurilliset suunnitelmat, kuten huoneistojen katon, johon on jätetty näkyviin CLT.

## LÄHTEET

- CLT:n edut. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. Stora Enso. [Viitattu 7.2.2017]. Saatavana: <http://www.clt.info/fi/tuote/clt-massiivipuukurakentaminen/cltn-edut/>
- CLT-rakentaminen. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. Stora Enso. [Viitattu 27.2.2017]. Saatavana: <http://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/clt-rakentaminen/>
- CLT Ristiinliimattu massiivipuu (cross laminated timber). 2011. [Verkkajulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>
- CLT-talot. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. Puurakentajat. [Viitattu 14.2.2017]. Saatavana: <http://www.puurakentajat.fi/clt-talot/>
- Eskopuu. 2016. [Verkkajulkaisu]. Asuntomessujen puukerrostalo Mäihän asuntojen moduulit koottiin asennusvalmiiksi sisätiloissa. [Viitattu 27.2.2017]. Saatavana: [http://www.eskopuu.fi/essential\\_grid/seinajoki-lakea/](http://www.eskopuu.fi/essential_grid/seinajoki-lakea/)
- Hietaniemi, J. 2014. Johdatus toiminnalliseen paloturvallisuussuunnitteluun. [Verkkajulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 11.2.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/moduuli-2/43toiminnallinenpalomitoitus.pdf>
- Hietaniemi, J. Ei päiväystä. Toiminnallinen palotekninen suunnittelu. [Verkkajulkaisu]. Pelastusopisto. [Viitattu 15.3.2017]. Saatavana: [http://www.pelastusopisto.fi/download/35713\\_Hietaniemi\\_Toiminnallinen\\_palotekninen\\_suunnittelu.pdf](http://www.pelastusopisto.fi/download/35713_Hietaniemi_Toiminnallinen_palotekninen_suunnittelu.pdf)
- Heikinheimo, A. 2012. Puukerrostalo. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Rakennustieto. [Viitattu 15.3.2017]. Saatavana: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120501.pdf>
- Hoisko. Ei päiväystä. Hoisko CLT-tekniikka. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.3.2017]. Saatavana: <http://www.hoisko.fi/fi/rakentaminen/clt-tekniikka/>
- Häkkinen, A. 2016. Asuntomessujen Mäihä on uuden sukupolven kerrostalo. [Verkkajulkaisu]. Rakennuslehti. [Viitattu 27.2.2017]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/2016/07/asuntomessujen-maiha-on-uuden-sukupolven-puukerrostalo/>
- Jantunen, J. Ei päiväystä. Uudet rakennusten palomääräykset. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Rakennustieto. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: <http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/69l8i5mLz.html>



- Kosteusteknisiä ominaisuuksia. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>
- Lujaa puuta pohjoiselta havumetsävyöhykkeeltä. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujaa-puuta-pohjoiselta-havumets%C3%A4vy%C3%B6hykkeelt%C3%A4>
- Lujuusteknisiä ominaisuuksia. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujuusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>
- Lämpötekniisiä ominaisuuksia. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/node/1499>
- Mattelmäki, M./Stora Enso. 2016. [Valokuva]. Artikkelissa: Seinäjoen asuntomessuilla voi tutustua Pohjoismaiden ensimmäiseen PEFC-sertifioituun kerrostaloon. [Viitattu 8.2.2017]. Saatavana: <http://www.smy.fi/artikkeli/seinajoen-asuntomessuilla-voi-tutustua-pohjoismaiden-ensimmaiseen-pefc-sertifioituun-kerrostaloon/>
- Myllylä, P. 2011. Uudet palomääräykset ja niiden vaikutus puun käyttöön rakentamisessa. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: [http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puusuomi/Uudet\\_palomääräykset\\_2011\\_PM\\_05052011.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puusuomi/Uudet_palomääräykset_2011_PM_05052011.pdf)
- Outinen, J. 2009. Rakenteiden toiminnallinen palomitoitus. [Verkkojulkaisu]. Spek. Ruukki. [Viitattu 11.2.2017]. Saatavana: <http://www.spek.fi/loader.aspx?id=f9c7657e-51d4-4aaa-88df-1eb46198ad32>
- Palotekniisiä ominaisuuksia. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/paloteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>
- Paloturvallisuus. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Stora Ensp. [Viitattu 15.3.2017]. Saatavana: <http://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/paloturvallisuus/>
- Puukerrostalon toiminnallinen palotekninen suunnittelu. 2015. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 16.3.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puukerrostalon%20toiminnallinen%20palotekninen%20suunnittelu.pdf>
- Puu materiaalina. 2006. [Verkkojulkaisu]. Rakentaja.fi. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: [https://www.rakentaja.fi/artikkelit/594/puu\\_materiaalina.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/594/puu_materiaalina.htm)

- Puurakenteen paloturvallisuus. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusta-rakentaminen/puurakenteiden-paloturvallisuus>
- Sanjanen, M. 2016. [Valokuva]. Artikkelissa: Asuntomessukohteemme: Puukerrostalo Mäihä. [Viitattu 27.2.2017]. Saatavana: <http://makelaroos.blogspot.fi/2016/03/asuntomessukohteemme-puukerrostalo-maiha.html>
- Siikanen, U. Ei päiväystä. Puurakentamisen palotekninen suunnittelu. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Rakennustieto. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK00s659.pdf>
- Töyräs, T. 2016. Tähtäimessä asuntomessut. [Verkkajulkaisu]. Winled Oy. [Viitattu 27.2.2017]. Saatavana: <https://www.winled.fi/blogi/seinajoen-asuntomessut-2016/>
- Valmistettu Itävallassa. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. Stora Enso. [Viitattu 7.2.2017]. Saatavana: <http://www.clt.info/fi/tuote/clt-massivipuurakentaminen/tuotanto/>
- Ääneneristys puutalossa. 2010. [Verkkajulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 30.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>