

Anni Salonen

SUOJAAMATTOMIEN PUURAKENTEI- DEN KÄYTTÖ PUUKERROSTALOISSA

Kandidaatintutkielma
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Mikko Malaska
Toukokuu 2021

TIIVISTELMÄ

Anni Salonen: Suojaamattomien puurakenteiden käyttö puukerrostaloissa (Use of unprotected timber in multi-storey buildings)

Kandidaatintutkielma

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikka

Toukokuu 2021

Puun käyttö rakentamisessa on kasvava trendi ympäri maailmaa. Suomessa puu on paikallinen, ekologinen ja uusiutuva materiaali, jonka avulla rakennuksen hiilijalanjälkeä on mahdollista pienentää huomattavasti. Puurunkoisten asuinkerrostalojen rakentaminen on merkittävässä kasvussa ja puuta halutaan jättää rakennuksessa näkyviin nostattamaan puutalon tunnelmaa. Suojaamattomalla puurakenteella on esteettisyyden lisäksi muitakin positiivisia vaikutuksia tilaan. Puurakentamista koskee kuitenkin melko tiukat määräykset, jonka vuoksi puurakenteita voidaan jättää suojaamatta vain tietyin ehdoin.

Tämän kandidaatintyön aiheena on suojaamattomien puurakenteiden käyttö puukerrostaloissa. Kandidaatintyön tavoitteena on selvittää milloin puurakenteen voi jättää puukerrostaloissa suojaamatta. Tutkimus on toteutettu kirjallisuusselvityksenä ja työssä on johdannon sekä yhteenvedon lisäksi viisi pääkappaletta. Työssä käsitellään suojaamattomien puurakenteiden syttymistä, osallistumista paloon, hiiltymistä ja palokestävyyttä, puukerrostalojen suunnittelumenetelmiä sekä suojaamattoman puun käyttöä rajoittavia määräyksiä. Työssä käydään myös läpi missä ja miksi puurakenteita on jo toteutuneissa puukerrostalohankkeissa jätetty suojaamatta.

Tutkimus osoittaa, että suunnittelumenetelmä, rakennuksen koko, puun ominaisuudet sekä puutuotteessa käytetty liima vaikuttavat yleisesti siihen, kuinka paljon suojaamatonta puupintaa rakennuksessa voidaan jättää näkyviin turvallisesti. Suunnittelumenetelmistä taulukkomitoituksessa rakennukseen kohdistuu melko tiukat pintaluokka- ja suojausvaatimukset, mikä rajoittaa suojaamattomien puurakenteiden määrää ja sijaintia. Mitä enemmän taulukkomitoituksella halutaan jättää puupintaa näkyviin, sitä suuremmaksi rakenteiden palonkestovaatimukset nousevat. Toiminnallisella mitoituksella suojaamatonta puuta voidaan käyttää rakennuksessa vapaammin kuin taulukkomitoituksessa. Tälläkään suunnittelumenetelmällä ei kuitenkaan voida käyttää liikaa suojaamatonta pintaa, sillä rakennuksen on täytettävä tiettyjä vaatimuksia paloturvallisuuden takaamiseksi.

Tutkimuksessa havaitaan, että useammassa kohteessa suojaamatonta pintaa puukerrostalon asunnoissa on lattian lisäksi käytetty joko asunnon ulkoseinissä tai katossa. Näissäkin vain rajallisesti. Kohteessa, jossa puupintaa on jätetty näkyviin runsaammin, kantavat puurakenteet on suunniteltu normaalia paksummaksi palonkestävyyden varmistamiseksi. Tutkimuksessa huomataan, että toteutuneissa puukerrostalohankkeissa suojaamattomien puurakenteiden määrä asunnoissa on vielä melko vähäistä.

Avainsanat: puukerrostalo, suojaamaton puurakenne, hiiltyminen, paloturvallisuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Työn tausta	1
1.2 Työn tavoite, tutkimusmenetelmä ja työn rakenne	1
2. PUUN SYTTYMINEN JA OSALLISTUMINEN PALOON	3
2.1 Syttyvyys	3
2.2 Rakennustarvikkeiden ja -pintojen paloluokitus	4
2.2.1 Puutuotteiden pintaluokka	5
2.2.2 Pintaluokan parantaminen palosuoja-aineilla	5
3. SUOJAAMATTOMAN PUUN HIILTYMINEN	6
3.1 Hiiltymisen	6
3.2 Hiiltymänopeus	7
3.2.1 Liimaamattomat puutuotteet	8
3.2.2 Kerrokselliset puutuotteet	9
4. SUOJAAMATTOMAN PUURAKENTEEN PALONKESTÄVYYS	11
4.1 Hiiltymämitoitus	11
4.2 Hiiltymäsyvyys	12
4.3 Puun palamisesta syntyvä lisäys palokuormaan ja hiiltymäsyvyyteen	14
4.4 Suojaamattoman puun itsesammuminen	15
5. SUUNNITTELUMENETELMÄT JA SUOJAAMATTOMAN PUUN KÄYTTÖÄ RAJOITTAVAT MÄÄRÄYKSET	17
5.1 Paloluokkiin ja lukuarvoihin perustuva suunnittelu	17
5.2 Oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu	21
6. SUOJAAMATTOMAN PUUN KÄYTTÖ	25
7. YHTEENVETO	26
LÄHTEET	29
LIITE 1	

1. JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Puu on Suomessa kotimainen, paikallinen, uusiutuva ja ympäristöystävällinen materiaali, joka sitoo rakennuksissa käytettynä itseensä hiilidioksidia ja toimii näin pitkäaikaisena hiilivarastona (Wood Joensuu 2021). Kun puu hävitetään, se mätänee ja vapauttaa hiilidioksidin ilmakehään, joka sitoutuu uudelleen kasvavaan puuhun. Puuhun sitoutunut hiilidioksidi kiertää ja sen hiilitase on nolla. Rakennustuotteiden valmistuksessa, kuljetuksessa ja käytön aikana syntyvät päästöt vaikuttavat rakennuksen hiilijalanjälkeen. Tämän vuoksi puun avulla onkin mahdollista pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä huomattavasti. Suomessa puurakentaminen on kasvussa ja lisääntymässä ovat esimerkiksi puukerrostalot (Teollisuusliitto 2020).

Puukerrostalot ovat yli 2-kerroksisia asuinkerrostaloja, joiden kantavat runkorakenteet ovat pääosin puuta. Puukerrostaloissa rakennusmateriaalina käytetään sekä sahatavaa, että insinööripuutuotteita eli CLT:tä (Cross Laminated Timber), liimapuuta sekä LVL:ää. Puukerrostalon runkojärjestelmiä ja rakennustapoja on useita. Yleisimpiä rakennustapoja puukerrostalolle on rankarakenteiset tasoelementit, rankarakenteiset tilaelementit, massiivipuulevyrakenteiset tasoelementit sekä massiivipuurakenteiset tilaelementit. (Puuinfo) Runkojärjestelmillä yhteistä on pitkälle viety teollinen esivalmistus, jossa rakentaminen tapahtuu säältä suojattuna. Tämä mahdollistaa korkealaatuisen lopputuloksen sekä nopean rakennusvaiheen.

Puukerrostalot ovat yhtä paloturvallisia, kuin betonirakenteiset kerrostalot. Molempia koskee palotilanteessa sama 60 minuutin palonkestovaatimus. Jos puukerrostalo on yli kaksi kerrosta korkea ja siinä on päällekkäisiä asuntoja, tulee se olla varustettuna automaattisella sammutuslaitteistolla. Automaattisesta sammutuslaitteistosta huolimatta puuta voidaan käyttää asuntojen pintamateriaalina vain tietyin ehdoin. (Puuinfo 2020c)

1.2 Työn tavoite, tutkimusmenetelmä ja työn rakenne

Kandidaatintyössä tutkitaan palosuojaamattoman puun käyttöä puukerrostalorakentamisessa, puurakenteiden palonkestoa ja niiden käyttöä rajoittavia määräyksiä. Tämä on ajankohtainen aihe, sillä puurakentaminen on kasvussa ja puupintoja halutaan jättää

enemmän ja enemmän näkyviin, jotta puukerrostaloihin saataisiin puutalon tunnelmaa. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten suojaamaton puurakenne käyttäytyy palossa, miten suojaamattoman rakenteen palonkestävyys voidaan määrittää, missä paljasta puuta voidaan määräysten mukaan käyttää ja missä sitä on jo käytetty.

Työ tehdään kirjallisuustutkimuksena, missä hyödynnetään useita eri tutkimuksia puun palamisesta, hiiltymisestä sekä sen vaikutuksesta palokuormaan. Tutkimusten lisäksi yksi tärkeimmistä lähteistä on Puuinfon verkkosivut. Työn päätutkimuskysymys on, milloin puurakenteen voi jättää palosuojaamatta. Tähän kysymykseen lähdetään vastaamaan tutkimalla, miten puu käyttäytyy suojaamattomana palotilanteessa ja miten sen palonkestävyys voidaan määrittää, millä menetelmillä puukerrostalot voidaan suunnitella, mitä määräykset sanovat suojaamattoman puun käytöstä sekä missä ja miksi puuta käytetään suojaamattomana.

Työ koostuu johdannosta, viidestä pääluvusta ja yhteenvedosta. Aluksi käsitellään suojaamattoman puun syttymistä ja siihen vaikuttavia tekijöitä sekä tarvikkeiden ja pintojen luokitusta. Tämän jälkeen käsitellään erilaisten suojaamattomien puurakenteiden palonkestävyyttä ja käydään läpi, millaisilla menetelmillä palonkestävyys voidaan varmistaa ja mitkä asiat palonkestävyyteen vaikuttavat. Toiseksi viimeisessä pääluvussa käsitellään, millaisilla menetelmillä suojaamattoman puun hyväksytty toiminta voidaan palotilanteessa osoittaa ja miten määräykset vaikuttavat suojaamattoman puun käyttöön. Viimeisessä pääluvussa käydään läpi miksi, missä ja milloin puuta on käytetty suojaamattomana. Työn lopussa kootaan tutkimuksesta yhteenvedo.

2. PUUN SYTTYMINEN JA OSALLISTUMINEN PALOON

Puu on uusiutuva ja palava luonnonmateriaali, jonka käyttäytymistä tulipalossa on tutkittu paljon. Lukuisten tutkimusten vuoksi tiedetään hyvin tarkasti, miten puu käyttäytyy palossa. Erilaisilla palosuoja-aineilla on mahdollista parantaa puurakenteiden palo-ominaisuuksia huomattavasti. (Puuinfo 2020a) Tässä luvussa perehdytään siihen, mitkä tekijät vaikuttavat puupinnan syttyvyyteen, miten puurakenteet osallistuvat paloon ja miten paloon osallistumista voidaan rajoittaa.

2.1 Syttyvyys

Puurakenteen syttyvyyteen vaikuttavat muun muassa rakenteen terminen paksuus, ympäristön lämpötila sekä puun ominaisuudet (Hakkarainen & Mikkola 2005, s. 3–4). Tulipalossa lämpö voi kohdistua puupintaan liekin ollessa suoraan kontaktissa puupintaan, säteilylämpönä ja kuljettumalla siirtyvänä lämpönä (Mikkola & Holopainen 2017, s. 8). Puutuotteet jaetaan paksuuden mukaan termisesti ohuisiin ja termisesti paksuihin. Termisesti paksu puu on paksuudeltaan vähintään 10 mm ja sitä pienemmät ovat termisesti ohuita. Termisesti ohuet tuotteet syttyvät termisesti paksuja tuotteita nopeammin, sillä lämpötila tuotteen palolle altistuneella pinnalla ja vastakkaisella pinnalla on lähes sama. Termisesti paksussa tuotteessa vastakkainen pinta ei juuri lämpene. (Hakkarainen & Mikkola 2005, s. 3–4)

Puun kemiallisesti sitoutumaton vesi alkaa höyrystyä, kun puupinnan lämpötila saavuttaa 100 °C (Mikkola 1989, s. 9). Noin 150–180 °C lämpötilassa puu alkaa pehmenemään sen kemiallisen hajoamisen vuoksi ja hajoamisen yhteydessä syntyy suuri määrä syttyviä ja palavia kaasuja. Tätä reaktiota kutsutaan puun pyrolyysiksi. Puun palamisessa puuaineksi ei sinänsä pala, vaan osa kemiallisessa hajoamisessa syntyneistä kaasuista palaa reagoidessaan hapen kanssa. (Holm & Kallioniemi 1980, s. 15) Jotta palamiseen tarvittavat kemialliset reaktiot ovat mahdollisia, tarvitaan siihen riittävän suuri lämpötila. Puun syttymiseen tarvittava lämpötila riippuu siitä, kuinka pitkään puupinta on ollut alttiina lämmölle, mutta yleensä sen syttymislämpötila on 250–300 °C (Puuinfo 2020b). Kun puupinta palaa, alkaa sen pinnalle kasvamaan hiilikerros.

Puun ominaisuuksilla on suuri vaikutus puun hajoamisreaktioihin ja pyrolyysituotteisiin ja siten myös puun palamiseen (Holm & Kallioniemi 1980, s. 17). Hakkaraisen ja Mikkolan

(2005, s. 4) mukaan puutuotteen syttyvyyteen vaikuttaa muun muassa puun tiheys, lämmönjohtavuus, ominaislämpökapasiteetti, kosteuspitoisuus sekä syiden suunta. Puun syttymisaika on suoraan verrannollinen puun tiheyteen. Mitä tiheämpää puu on, sitä kauemmin syttymiseen kuluu aikaa. (Hakkarainen & Mikkola 1980, s. 3) Puun tiheys vaihtelee eri puulajeilla suuresti, ja tämän vuoksi toiset puulajit syttyvät helpommin kuin toiset. Puun ominaisuuksista myös lämmönjohtavuus, ominaislämpökapasiteetti sekä kosteuspitoisuus vaikuttavat syttymisaikaan (Hakkarainen & Mikkola 1980, s. 3). Mitä suurempi kosteuspitoisuus puutuotteessa on, sitä hitaammin palo etenee, sillä veden höyrystymiseen tarvittava lämpömäärä kasvaa (Holm & Kallioniemi 1980, s. 17). Rakentamisessa puun syttymistä ei kuitenkaan voida säädellä puun kosteuspitoisuutta suurentamalla, sillä kosteaan puuhun voi kohdistua biologisia vaurioita. Monet puun ominaisuudet ovat kytköksissä toisiinsa, jonka vuoksi yhden ominaisuuden muuttaminen voi vaikuttaa puun syttyvyyteen hyvin paljon.

2.2 Rakennustarvikkeiden ja -pintojen paloluokitus

Palomääräykset pyrkivät takaamaan ihmisten turvallisuuden palavassa rakennuksessa, ja ne asettavat vaatimuksia muun muassa sille, miten pinnat ja rakenteet saavat vaikuttaa palon kehittymiseen. Pintaluokkavaatimukset vaikuttavat siihen, kuinka herkästi syttyviä materiaaleja eri tiloissa voidaan käyttää. Rakennustarvikkeet ja -pinnat luokitellaan sen perusteella, miten ne osallistuvat tulipaloon palon alussa (Mikkola & Holopainen 2017, s. 12). Puutuotteilla luokitukseen vaikuttavat tuotteen ominaisuudet sekä asennustapa (Puuinfo 2021d). Koemenetelmät tuotteen ominaisuuksien testaamiseen on esitetty standardissa SFS-EN 13501-1:2019.

Rakennustarvikkeet, lukuun ottamatta lattiapäällysteitä, luokitellaan luokitusstandardin SFS-EN 13501-1 (2019) mukaan pääluokkiin A1, A2, B, C, D, E, F, sen perusteella, miten materiaali käyttäytyy palon alussa. Luokan A1 rakennustarvike on palotilanteessa toimivuudeltaan paras, kun taas F-luokkaan kuuluvaa materiaalia ei ole edes testattu tai sen ominaisuudet eivät täytä E-luokan vaatimuksia. Lattiapäällysteiden osalta luokat ovat parhaasta huonoimpaan A_{1FL}, A_{2FL}, B_{FL}, C_{FL}, D_{FL}, E_{FL}, F_{FL}. Pääluokan lisäksi käytetään lisäluokitusta savuntuotolle ja pisaroinnille. Materiaalin savuntuotto palotilanteessa ilmaistaan merkinnöillä s1, s2 tai s3, joista s1-luokan tuotteilla on kaikista vähäisin savuntuotto. Pisarointi, eli palavien osien putoaminen, ilmaistaan merkinnöillä d0, d1 tai d2, joista d0-luokassa ei tapahdu palavien osien putoamista lainkaan. (Mikkola & Holopainen 2017, s. 12–13) Luokitus voidaan tehdä tietyin ehdoin myös ilman testaamista Euroopan komission CWT-dokumenttien (CWT = Classified Without Testing) perusteella

(Mikkola & Holopainen 2017, s. 13–14). Jotta tuotteet voidaan luokitella testaamatta, tulee niiden löytyä CWT-dokumenttien taulukoista ja täyttää niissä esitettävät vaatimukset (Puuinfo 2020d, s. 24).

2.2.1 Puutuotteiden pintaluokka

Palosuojaamattomat seinä- ja sisäkattorakenteiden puutuotteet, joiden tiheys on vähintään 350 kg/m^2 , kuuluvat yleensä pääluokkaan D, mutta palosuojauksella voidaan täyttää myös luokan C tai B vaatimukset. Pääluokan D puutavara kuuluu yleensä savuntuotossa luokkaan s2, mutta myös s1-luokka on mahdollinen. Pisaroinnin luokka riippuu puutuotteen paksuudesta sekä ominaisuuksista, mutta yleensä yli 10 mm paksut puutuotteet kuuluvat pisaroinniltaan luokkaan d0. Lattiapäällysteiden osalta puutuotteet kuuluvat tiheydestä riippuen luokkaan C_{FL} tai D_{FL} ja savuntuotoltaan yleensä luokkaan s1. Puuinfon (2020d, s. 27) mukaan esimerkiksi palosuojaamaton massiivipuu kuuluu luokkaan D-s2, d0. Tämä pintaluokka tarkoittaa sitä, että tuotteen osallistuminen paloon ja sen leviämiseen on hyväksyttävissä, palamisesta aiheutuva savuntuotto on vähäistä ja palavia pisaroita ei synny. (Mikkola & Holopainen 2017, s. 12–13, 15) Ilman testaamista luokiteltavat puutuotteet, luokitukset ja niiden ehdot on esitetty liitteessä 1.

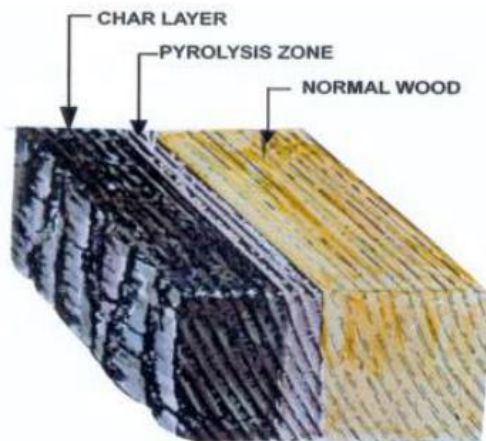
2.2.2 Pintaluokan parantaminen palosuoja-aineilla

Puu voidaan pintakäsitellä maaleilla ja lakoilla, jotka vaikuttavat puupinnan syttyvyyteen, lämmönvapautumisnopeuteen sekä palon leviämiseen. Hakkaraisen et al. (2005, s.22) mukaan palosuojatuotteita on sekä paisuvia että ei-paisuvia. Paisuvat palosuojatuotteet viivästyttävät puurakenteen syttymistä sekä parantavat sen palonkestävyyttä. Tällaiset tuotteet reagoivat korkeisiin lämpötiloihin laajentumalla ja muodostamalla puun pinnalle eristävän, paloa vastustavan, kerroksen. Eristävä kerros suojaa puupintaa liekeiltä ja kuumuudelta sekä estää hapen pääsyä puun pinnalle, lämpötilan nousua ja pyrolyysikaasujen vapautumista. (Hakkarainen et al. 2005, s. 19, 22) Lisäksi palosuoja-aineet mahdollistavat pyrolyysin pienemmässä lämpötilassa, jonka vuoksi puutuotteen lämmöntuotto pienenee (Rowe et al. 2005, Rissanen 2017, s. 14 mukaan). Paisuvat tuotteet muuttavat puun ulkonäköä hieman, mutta mahdollistavat paremmin puupinnan näkyville jättämisen, sillä ne parantavat puun pintaluokkaa (Hakkarainen et al. 2005, s. 19, 22). Ei-paisuvat palosuojatuotteet vaikuttavat puun pyrolyysiin pääasiassa kemiallisin reaktioin. Ne kuitenkin toimivat osittain paisuvien palosuojamaalien tavoin (Hakkarainen et al. 2005, s. 19, 22). Puutuotteiden palo-ominaisuuksien parantaminen palosuoja-aineilla mahdollistaa siirtymisen paloluokasta D paloluokkaan C tai B (Mikkola & Holopainen 2017, s.15).

3. SUOJAAMATTOMAN PUUN HIILTYMINEN

3.1 Hiiltyminen

Palotilanteessa puurakenteessa tapahtuu pyrolyysi eli lämpötilan noustessa biomassa hajoaa hapettomissa olosuhteissa kemiallisten reaktioiden seurauksena. Holmin ja Kallioniemen (1980, s. 17) tekemän tutkimuksen mukaan lämpötilan noustessa pyrolyysi nopeutuu ja leviää pitkin puuta jättäen jälkeensä hiiltyneen alueen. Kuva 3.1 havainnollistaa palaneen puun pinnalla olevan hiilikerroksen, pyrolyysivyöhykkeen sekä sisällä olevan vahingoittumattoman puukerroksen. Pinnalla kasvava hiilikerros toimii suojana sen sisällä olevalle hiiltymättömälle puulle ja hidastaa pyrolyysivyöhykkeen etenemistä.



Kuva 3.1. *Palaneen puun kerrokset* (Östman 2016).

Puun pinnalla olevan eristemäisen hiilikerroksen ja puun huonon lämmönjohtavuuden seurauksena palamattoman puun lämpötila on huomattavasti pienempi kuin pintalämpötila. Tämän vuoksi, vaikka puurakenteen hiiltynyt osa menettää lujuutensa, hiiltymätön poikkileikkaus säilyttää lujuusominaisuutensa ja määrää rakenteen kantavuuden (Mikkola & Holopainen 2017, s. 8, 20). Palon edetessä hiiltymättömän puun osuus poikkileikkauksesta pienenee, jolloin rakenteen kantavuus heikkenee. Tämän vuoksi on tärkeää tuntea tarkasti puun hiiltymisnopeus erilaisissa tapauksissa.

3.2 Hiiltymänopeus

Pyrolysoitunut puu katsotaan puun poikkileikkauksessa hiiltyneeksi, jolloin puun hiiltymisnopeus vastaa puun pyrolyysivyöhykkeen etenemisnopeutta. Tärkeitä puun hiittymisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat puun tiheys ja kosteuspitoisuus sekä puuhun kohdistuvan lämpövirran tiheys. (Hakkarainen et al. 2005, s. 15) Myös kerroksellisissa puutuotteissa käytetty liima voi vaikuttaa hiiltymisnopeuteen (Puuinfo 2020d, s. 80). Puukerrostaloissa käytettävillä sahatavara-, LVL-, liimapuu- sekä CLT tuotteilla on jokaisella eri hiiltymisnopeutensa.

Suojaamattoman pinnan hiiltymisnopeus esitetään standardipalossa joko yksidimensio-naalisena- tai nimellisenä hiiltymisnopeutena. Standardipalo on standardin ISO 834 mukainen palo, joka toimii palomitoituksen perustana. Standardipalo ottaa huomioon vain tilan perusmuuttujat ja kuvaa peruspalotilanteen tapahtumia. Yksidimensionaalisessa hiiltymisnopeudessa β_0 rakenne on tasomainen ja altistuu palolle vain yhdeltä sivulta. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi massiiviset puuseinät. Nimellisessä hiiltymisnopeudessa β_n rakenne altistuu palolle useammalta kuin yhdeltä sivulta. Nimellinen hiiltymisnopeus huomioi puurakenteessa olevat halkeamat sekä kulmapyöristykset.

3.2.1 Liimaamattomat puutuotteet

Eri puumateriaaleilla on eri ominaisuuksia, jonka vuoksi niiden hiiltymisnopeudet poikkeavat toisistaan. Puuinfo (2020d, s.80) mukaan fenolipohjaiset liimat eivät vaikuta puun hiiltymisnopeuteen. Tämän vuoksi fenolipohjaisella liimalla liimattuja puutuotteita voidaan käsitellä hiiltymämitoituksessa samalla tavalla kuin liimaamattomia puutuotteita (Puuinfo 2020d, s.80). Tällaisia puutuotteita ovat esimerkiksi liimapuu ja LVL. Eri puumateriaalien hiiltymisnopeuksien mitoitusarvot β_0 ja β_n on esitetty taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1. Hiiltymisnopeuden mitoitusarvot β_0 ja β_n ja niiden vaatimukset. (RIL 205-2-2019, s. 24)

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Havupuu		
Liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Sahatavara, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Lehtipuu		
Lehtipuusta valmistettu sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Lehtipuusta valmistettu sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL:		
jonka ominaistiheys on $\geq 480 \text{ kg/m}^3$ ^{a)}	0,65	0,7
jonka ominaistiheys on $\geq 410 \text{ kg/m}^3$ ^{b)}	0,7	0,75
d) Levyt ja lautatavara ^{c)}		
Lautatavara	0,9	-
Vaneri	1,0	-
Muut puulevyt kuin vaneri	0,9	-

^{a)} LVL on standardin EN 14374 mukainen (Kerto S ja Kerto Q)

^{b)} LVL on standardin EN 14374 mukainen (Kerto T ja Kerto L)

^{c)} Standardin EN 309 (Lastulevy), EN 313-1 (Vaneri), EN 300 (OSB-levyt) ja EN 316 (Puukuitulevyt) mukaisille puulevyille ja laudoitukselle pätevät arvot, kun ominaistiheys on 450 kg/m^3 ja levyn paksuus 20 mm; Tiheyden tai paksuuden poiketessa näistä arvoista, määritetään hiiltymisnopeus ohjeen RIL 205-2-2019 kaavoilla 3.4–3.6. Puulevyjen ominaistiheydet on esitetty standardissa EN 12369.

Taulukon 3.1 hiiltymisnopeudet perustuvat Puurakenteiden Eurokoodien palo-osioon SFS-EN 1995-1-2:een, eli EC5:een. Nämä hiiltymisnopeudet pätevät ainoastaan standardipalon olosuhteissa, joten muissa palotilanteissa arvot tulee määrittää tapauskohtaisesti. Jos rakenteen poikkileikkaus on suorakaiteen muotoinen ja poikkileikkauksen alkuperäinen leveys b täyttää taulukon 3.2 vaatimukset, voidaan nimellisen hiiltymisnopeuden sijaan käyttää yksidimensionaalista hiiltymisnopeutta (Puuinfo 2020e, s. 45).

Taulukko 3.2. Vähimmäisarvot suorakaidepoikkileikkauksen leveydelle eri paloluokissa yksidimensionaalista hiiltymisnopeutta käytettäessä. (Puuinfo 2020d, s.45)

Palonkesto-luokka	R15	R30	R60	R90	R120
b_{min} [mm]	80	119	158	197	236

Jos nimellisen hiiltymisnopeuden sijaan käytetään yksidimensionaalista hiiltymisnopeutta, tulee hiiltymisen kulmapyöristykset ottaa erikseen huomioon. Poikkileikkauksen ollessa pyöreä, käytetään aina nimellistä hiiltymisnopeutta. (Puuinfo 2020e, s. 45)

3.2.2 Kerrokselliset puutuotteet

Polyuretaanipohjaiset liimat vaikuttavat hiiltymisnopeuteen. Puutuotteilla, joissa on käytetty edellä mainittua liimaa, on havaittu lamellien irtoamista eli delaminoitumista, kun hiiltymä on saavuttanut liimasauman. Tämä johtuu siitä, että sidoslinja heikkenee korkeissa lämpötiloissa. Lamellien irtoamisen seurauksena puutuote hiiltyy useammalla eri nopeudella, sillä suojaavan hiilikerroksen pudotessa jo valmiiksi lämmennyt palamaton puu hiiltyy nopeammin. Delaminoituminen on vahvasti sidoksissa siihen, millaista liimatyyppeä puurakenteessa käytetään. Vaakarakenteissa delaminoituminen on helpompaa kuin pystyrakenteissa, sillä taivutusjännitys vaikuttaa lamellien irtoamisen voimakkuuteen. (Puuinfo 2020d, s. 80) Esimerkiksi puukerrostaloissa paljon käytetyissä CLT-levyissä suositetaan yleensä yksikomponentti polyuretaani liimoja, mikä saattaa johtaa hiilikerroksen irtoamiseen. (Brandner 2013; Lehringer & Gabriel 2014, Peltonen 2018, s. 15 mukaan). Kuva 3.2 havainnollistaa lamellien irtoamista CLT-levyssä.



Kuva 3.2. Lamellien osittainen irtoaminen CLT-levyssä (Brandon & Dagenais 2018).

CLT-levyjen palomitoitus perustuu aina valmistajakohtaisiin ohjeisiin, sillä niille ei ole olemassa yleisiä palomitoitusohjeita (Puuinfon 2020d, s. 92). Yksi CLT-levyjä valmistava yritys on Stora Enso. Tämä yritys on tehnyt dokumentin (Stora Enso 2013) käyttäjien

tueksi, jossa käsitellään heidän valmistamaansa CLT-levyä palotilanteessa. Akkreditoidussa, eli luotettavaksi osoitetussa, Holzforschung Austria -tutkimuslaitoksessa määritettiin seuraavat Stora Enson CLT-levyn hiiltymänopeudet, joita voidaan käyttää standardin EN 1995-1-2 mukaisesti (Stora Enso 2013, s. 14).

Sisä- ja ulkokattoelementeillä, eli vaakasuorilla elementeillä:

- 0,65 mm/min, jos hiiltymä ei saavuta ensimmäistä liimasaumaa.
- 1,3 mm/min kaikilla lisäkerroksilla, kunnes hiilikerros on 25 mm paksu. Tämän jälkeen voidaan jälleen käyttää 0,65 mm/min, kunnes seuraava liimasauma saavutetaan. (Stora Enso 2013, s. 14)

Seinäelementeillä, eli pystysuorilla elementeillä:

- 0,65 mm/min, jos hiiltymä ei saavuta ensimmäistä liimasaumaa.
- 0,86 mm/min kaikilla lisäkerroksilla. (Stora Enso 2013, s. 15)

Hiiltymisnopeudet ilmoitetaan vaaka- ja pystyrakenteille erikseen, sillä ne poikkeavat toisistaan. Stora Enson CLT-levyn hiiltymisnopeuksista huomataan, että vaakasuorilla elementeillä hiiltymisnopeus on ensimmäisen liimakerroksen jälkeen huomattavasti suurempi kuin pystysuorilla elementeillä. Hiiltymisnopeutta voidaan vaakarakenteilla kuitenkin pienentää, kun hiilikerros on taas tarpeeksi paksu. Pystysuorilla elementeillä hiiltymisnopeus pysyy ensimmäisen liimakerroksen jälkeen koko ajan samana.

4. SUOJAAMATTOMAN PUURAKENTEEN PALONKESTÄVYYS

Suojaamattomat puurakenteet täytyy mitoittaa palotilanteen kuormille erikseen, sillä hiiltynyt osa puusta menettää lujuusominaisuutensa. Jotta voidaan selvittää kestäkö rakenne palotilanteen kuormat, tulee ensin selvittää kuinka paljon rakenteen dimensiot muuttuvat vaaditun palonkeston aikana. Rakenteiden palonkestovaatimukset annetaan REI-luokkina, jossa R on rakenteen kantavuus, E tiiviys ja I eristävyys. Vaadittu palonkesto aika esitetään vaatimusten perässä minuutteina. Jos rakenne on osastoiva, tulee rakenteen säilyttää kantavuutensa ainakin vaaditun osastoivuuden keston ajan. Esimerkiksi palonkestovaatimus REI 60 tarkoittaa, että rakenneosan tulee säilyttää kantavuus, tiiviys sekä eristävyys 60 minuutin ajan. Palonkestovaatimukset rakenteelle määritetään taulukkomitoituksen tai toiminnallisen mitoituksen avulla (ks. luku 5). Puuta voidaan materiaalina käyttää rakentamisessa paloturvallisesti, sillä sen palotekninen käyttäytyminen tunnetaan hyvin ja puurakenteen mitoittaminen palotilanteessa on sen vuoksi mahdollista.

Suojaamattoman puurakenteen kantavuus R voidaan määrittää laskennallisesti, standardin mukaisella polttokokeella tai näiden yhdistelmällä (RIL 205-2-2019, s. 31). Laskentamenetelmät perustuvat rakenteen vaadittuun palonkesto aikaan sekä hiiltymänopeuteen. Hiiltymisen voidaan määrittää yksinkertaisilla laskentamenetelmillä tai kehittyneillä laskentamenetelmillä. Yksinkertaisten laskentamenetelmien menettelytapa perustuu standardipaloon. Kehittyneet laskentamenetelmät taas perustuvat fysikaalisiin ja kemiallisiin toimintaperiaatteisiin, joiden avulla rakenneosan toiminta luonnollisessa palossa voidaan arvioida luotettavasti. (EN 1995-1-2, s. 16, 64) Kehittyneen laskentamenetelmän tulee perustua lämmönsiirtymisen teoriaan, jotta sen avulla voidaan laskea rakenneosan hiiltymäsyvyys luonnollisessa palossa. Pääasiassa rakenteen palonkestävyyttä tarkastellaan hiiltymämitoituksella. (Finnish Wood Research 2015, s. 15) Rakenneosan osastoivuus tulee tarkastella erikseen.

4.1 Hiiltymämitoitus

Standardipalossa puurakenteen palonkestävyys voidaan määrittää laskennallisesti hiiltymämitoituksella, kun erillistä palosuojakerrosta ei ole (Puuinfo 2017, s. 34). Puumateriaalin mekaaniset ominaisuudet sekä käyttäytyminen palotilanteessa on tunnettava hyvin, jotta hiiltymämitoitus voidaan tehdä. Jos CLT-elementin mekaaniset ominaisuudet

ilmoitetaan koko poikkileikkaukselle homogenisoituina arvoina, voidaan hiiltymämitoitusta käyttää myös niiden mitoittamiseen (Puuinfo 2018, s. 44). Hiiltymämitoitus tunnetaan myös nimellä tehollisen poikkileikkauksen menetelmä. Hiiltymämitoituksen avulla voidaan määrittää hiiltymäsyvyys myös suojatulle puurakenteelle, mutta sitä ei tässä työssä käsitellä.

Hiiltymämitoituksessa oletetaan, että suojaamaton puu alkaa hiiltä puumateriaalista riippuvalla hiiltymisnopeudella heti palon alusta alkaen, koko vaaditun palonkeston ajan (Puuinfo 2017, s. 35). Vaaditun palonkeston jälkeen poikkileikkauksen palamatonta osaa kutsutaan jäännöspoikkileikkaukseksi. Jäännöspoikkileikkaus ei kuitenkaan huomioi, että hiiltymärajan läheisyydessä olevan puun lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat vähentyneet korkean lämpötilan seurauksena (Stora Enso 2013, s. 22). Kun hiiltymärajan läheisyydessä oleva puukerros vähennetään jäännöspoikkileikkauksesta, saadaan tehollinen poikkileikkaus. Tehollinen poikkileikkaus säilyttää mekaaniset ominaisuutensa ja määrää rakenteen kantavuuden. Tehollisen poikkileikkauksen avulla voidaan tarkastella rakenteen mekaanisia ominaisuuksia samoilla menetelmillä ja ohjelmilla kuin normaalilämpötilassa olevan rakenteen mekaanisia ominaisuuksia (Finnish Wood Research 2015, s. 15). Rakennuksen ja rakenneosien stabiilius tulee palotilanteessa tarkastaa erikseen, sillä jäykistävät rakenteet saattavat vaaditun palonkeston aikana palaa pois (Puuinfo 2020d, s. 85).

4.2 Hiiltymäsyvyys

Standardipalossa rakenteiden hiiltymissyvyyden mitoitusarvot saadaan laskettua vaaditun palonkeston t sekä yksidimensionaalisen hiiltymisnopeuden β_0 tai nimellisen hiiltymisnopeuden β_n avulla (Puuinfo 2020e, s. 45). Taulukossa 4.1 on esitetty kaavat standardipalon hiiltymisnopeuden mitoitusarvoille eri palotilanteissa. Vähentämällä rakenteen jokaiselta palolle alttiilta sivulta hiiltymissyvyyden mitoitusarvon verran, saadaan jäännöspoikkileikkaus.

Taulukko 4.1. Hiiltymissyvyyden mitoitusarvot. (Puuinfo 2020e, s. 45)

	Nimellinen hiiltymissyvyys
Rakenne altistuu palolle yhdeltä sivulta.	$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t$
Rakenne altistuu palolle useammalta sivulta.	$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$
Rakenteen poikkileikkaus on pyöreä.	$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$
Rakenne altistuu palolle useammalta sivulta, mutta nimellisen hiiltymisnopeuden sijaan käytetään yksidimensionaalista hiiltymisnopeutta. ^{(a) (b)}	$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t$

a) Rakenteen poikkileikkauksen leveyden tulee täyttää asetetut vaatimukset; ks. taulukko 3.2.

b) Hiiltymisen kulmapyöristykset otettava erikseen huomioon. Kulmapyöristyksen säde r on hiiltymissyvyyden mitoitusarvo $d_{char,0}$.

Jos rakenne altistuu palolle useammalta sivulta ja hiiltymisnopeuden mitoitusarvon laskemiseen käytetään yksidimensionaalista hiiltymisnopeutta β_0 , tulee kulmapyöristys ottaa erikseen huomioon. Kulmapyöristyksen säde r on hiiltymissyvyyden mitoitusarvo $d_{char,0}$. (Puuinfo 2020e, s. 45)

CLT-rakenteen nimellistä hiiltymissyvyyttä määrittäessä on otettava huomioon, jos useampi kerros on palolle alttiina, sillä se aiheuttaa rakenteen hiiltymisen useammalla eri hiiltymisnopeudella. Esimerkiksi luvussa 3.2.2 esitellyssä Stora Enson CLT:ssä hiiltymisen voi tapahtua kahdella eri nopeudella. Myös se, onko CLT-elementti pysty- vai vaakarakenne, tulee ottaa huomioon, sillä tämä vaikuttaa hiiltymisnopeuksiin. Stora Enson (2013, s. 24) mukaan heidän CLT-levyjen hiiltymämitoituksessa tulee ottaa huomioon, että palolle altistunutta kerrosta ei oteta jäännöspoikkileikkauksessa huomioon, jos siitä on jäljellä vain 3 mm tai alle. Tämä vähennys tehdään hiiltymärajan epälineaarisuuden vuoksi (Stora Enso 2013, s. 24).

Tehollinen poikkileikkaus saadaan vähentämällä rakenteen jokaiselta palolle alttiilta sivulta tehollisen hiiltymissyvyyden d_{ef} verran. Tehollinen hiiltymissyvyys saadaan laskettua kaavalla

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0, \quad (4.1)$$

jossa $d_{char,n}$ on nimellinen hiiltymissyvyys, d_0 on EC5:n mukaan 7 mm ja k_0 on taulukkoarvo, joka riippuu palonkestoajasta. Taulukossa 4.2 on esitetty k_0 arvot suojaamattomalle puupinnalle. Tehollinen hiiltymissyvyys huomioi hiiltymärajan läheisyydessä olevan puukerroksen, jonka lujuus- ja jäykkyyssominaisuudet ovat heikentyneet ja jonka paksuus on $k_0 \cdot d_0$. Mitoituksessa lujuus- ja jäykkyyssominaisuudet oletetaan $k_0 \cdot d_0$ -kerroksessa täysin nollaksi, vaikka todellisuudessa korkea lämpötila vain heikentää näitä ominaisuuksia. (Puuinfo 2020d, s. 46)

Taulukko 4.2. k_0 arvot suojaamattomalle pinnalle, kun t on rakenteen vaadittu palonkesto aika (Puuinfo 2018, s. 44).

Suojaamaton pinta	
Palonkesto aika	k_0
$t < 20$ min	$t / 20$
$t \geq 20$ min	1,0

Puukerrostaloissa puurakenteiden vaadittu palonkesto aika on yleensä 60 minuuttia, jolloin $k_0 \cdot d_0$ -kerros on 7 mm paksu. Standardi- sekä luonnollisissa paloissa päästään var-

man puolelle käyttämällä arvoa $k_0 = 1$. Sen sijaan arvon $d_0 = 7 \text{ mm}$ käyttäminen voi johdattaa molemmissa edellä mainituissa paloissa epävarmalle puolelle (Schmid 2013; Hopkin 2011; Finnish Wood Research 2015, s. 31 mukaan) Parametrisissa paloissa Hopkinin et al. (2011) mukaan varmalle puolelle päästään, jos puristetuissa rakenteissa käytetään arvoa $d_0 = 7 \text{ mm}$ ja vedetyissä rakenteissa arvoa $d_0 = 10 \text{ mm}$ (katso Finnish Wood Research 2015, s. 31)

Finnish Wood Researchin (2015) suunnitteluohjeen mukaan luonnollisessa palossa puun hiiltymissyvyys voidaan määrittää kehittyneillä laskentamenetelmillä. Luonnollisissa paloissa hiiltymissyvyys $d_{char,n}$ voidaan olettaa vastaavan 300°C :een isotermin rajaa. Ohjeita kehittyneiden laskelmamenetelmien käyttöön löytyy EC5:n liitteestä B. Tässä liitteessä annetaan standardipaloon soveltuvia termisiä ominaisuuksia, joten muissa palotilanteissa nämä ominaisuudet on määriteltävä tapauskohtaisesti. Parametrisissa palossa hiiltymän laskeminen voidaan määrittää EC5:n liitteen A mukaan. Tässä tapauksessa on tarkistettava rajoitukset, joita parametrin palon käyttämiselle on annettu, EC5:sta sekä EC5:n liitteestä A. (Finnish Wood Research Oy 2015, s. 10, 30–31)

4.3 Puun palamisesta syntyvä lisäys palokuormaan ja hiiltymäsyvyyteen

Ympäristöministeriön asetuksen 848/2019 6 §:n mukaan palo-osaston palokuorma on tilassa olevan aineen täydellisestä palamisesta vapautunut lämpömäärä, jonka tiheys ilmaistaan megajouleina neliometriä kohden. Palokuormaan sisältyy irtaimisto, runkoa jäykistävät, osastoivat, kantavat ja muut rakennusosat (YMa 848/2019, 6 §). Tämän vuoksi myös paljaat puupinnat lisäävät palaessaan tilan palokuormaa. Mitä syvemmälle puupinnat palavat, sitä enemmän ne kasvattavat palossa vapautuvaa lämpömäärää. Vapautuva lämpömäärä taas kasvattaa puun hiiltymissyvyyttä, joka vuorostaan vapauttaa lisää lämpöä ja näin edelleen kasvattaa puun hiiltymissyvyyttä. Jos tilassa on paljon näkyviä puupintoja, tulee tämä tapahtumaketju ottaa toiminnallisessa suunnittelussa huomioon iteratiivisesti, jotta voidaan osoittaa rakenteiden hiiltymäsyvyyksien olevan varmalla puolella. Puun palamisesta aiheutuva palokuorman lisäys vaikuttaa myös muiden rakenteiden, kuten suojalevyjen, hiiltymiseen, minkä vuoksi puun palamisesta aiheutuva palokuorman lisäys on tärkeää tietää. Kun luonnollisessa palossa puun palamisesta aiheutuva lisäys palokuormaan ja hiiltymissyvyyteen otetaan huomioon, tulee laskentamallit validoida, eli osoittaa todenmukaiseksi, polttokoetulosten avulla. Standardit eivät anna tähän valmiita laskentamalleja. (Finnish Wood Research Oy 2015, s. 17, 31–32).

Pääpiirteittäin laskentaprosessi etenee siten, että ensin määritetään mitoitusarvo palokuorman tiheydelle sekä lämpötila-aikakäyrä. Palokuorman tiheydessä ei oteta huomioon puun palamisesta aiheutuvaa lisäystä. Tämän jälkeen määritetään puurakenteen hiiltymäsyvyys. Kun puurakenteen hiiltymäsyvyys tiedetään, määritetään sen tuoma lisäys palokuormaan, jolloin saadaan palokuorman tiheydelle uusi mitoitusarvo. Uudella mitoitusarvolla määritetään taas uusi lämpötila-aikakäyrä ja hiiltymä. Tätä iterointia jatketaan, kunnes puun hiiltymisestä aiheutuva lisäys palokuormaan on tarpeeksi pieni. (Finnish Woof Research 2015, s. 31–32) Eri laskentamenetelmissä on eri raja-arvot sille, milloin palokuorman lisäyksen katsotaan olevan tarpeeksi pieni.

Brandonin (2018a, s. 10–13, 19–20) mukaan parametrisessa palossa puurakenteesta aiheutuva lisäys palokuormaan ja hiiltymäsyvyyteen saadaan iteroitua seuraavien kolmen eri kaavan avulla.

$$t_{max} = \max \left[\left(0.2 \cdot \frac{10^{-3} q_{t,d}}{\frac{A_v \sqrt{h_v}}{A_t}} \right); t_{lim} \right] \quad (4.2)$$

$$d_{char,end} = 2\beta\Gamma^{0,25} 0.009 \frac{q_{t,d}}{\frac{A_v \sqrt{h_v}}{A_t}} \quad (4.3)$$

$$q_{td}^{i+1} = q_{mfl} + \frac{A_{CTL \cdot \alpha_1} (q_{char,end}^i - 0.7\beta\Gamma^{0,25} t_{max}^1)}{A_c} \quad (4.4)$$

Ensimmäiseksi Brandonin (2018a) menetelmässä määritetään palon lämpenemisvaiheen kesto t_{max} sekä puurakenteen hiiltymissyvyys $d_{char,end}$. Näiden avulla saadaan kaavalla (4.4) määritettyä palokuorman tiheyden mitoitusarvo q_{td}^1 , jossa on huomioitu puun palamisesta aiheutuva lisäys. Nyt uusi palokuorman tiheys q_{td}^1 sijoitetaan kaavoihin (4.2) ja (4.3), joiden avulla saadaan laskettua taas uusi arvo palokuorman tiheydelle q_{td}^2 kaavalla (4.4). Iterointia jatketaan, kunnes hiiltymissyvyyden muutos on alle 0.1 % tai huomataan että palon täysin kehittynyt vaihe on niin pitkä, että sitä voidaan pitää jatkuvana. Jos palon täysin kehittynyt vaihe on jatkuva, ei iterointi suppene. (Brandon 2018a, s.10–13, 20–21) Finnish Wood Recearshin (2015) tekemän tarkastelun mukaan voidaan todeta, että mitä enemmän palo-osastossa on näkyvää puupintaa, sitä hitaammin iteraatio suppenee ja sitä suurempi lopullinen hiiltymäsyvyys on.

4.4 Suojaamattoman puun itsesammuminen

Puukerrostaloissa puuta halutaan jättää yhä enemmän näkyviin pintamateriaaliksi. Suojaamaton puu kuitenkin toimii palotilanteessa palavana materiaalina ja suurentaa palo-

osaston palokuormaa ja siten kiihdyttää pyrolyysivyöhykkeen etenemistä. Palamisen edellytyksenä on, että palotilassa on palavaa ainetta, riittävän suuri lämpötila sekä happea. Jos jokin näistä edellytyksistä otetaan pois, ei palaminen enää jatku. Oletuksena on, että asuinkerrostalossa tapahtuvissa palotilanteissa happea on aina tarpeeksi saatavilla, joten palo ei sammu hapenpuutteen vuoksi.

Palo-osastojen palotesteissä on huomattu, että massiivipuurakenteilla palaminen voi jatkua, kunnes rakenne on palanut kokonaan. Palaminen voi myös voimistua uudelleen palon hiipumisvaiheessa. (Hakkarainen 2000; McGregor 2013; Medina Hevia 2014; Hox 2015; Hadden et al. 2017; Janssens 2017; Su et al. 2018; Brandon 2018b, s. 5 mukaan) Brandonin ja Östmanin (2016) mukaan nämä kaksi tapahtumaa voivat toteutua, jos CLT-levyssä tapahtuu delaminoitumista ja kylmä puupinta tai hiili altistuu palolle äkillisesti. Myös palosuojauksen peittäminen tai paljaiden puupintojen liiallinen määrä voi aiheuttaa rakenteiden loppuun palamisen tai palon uudelleen voimistumisen. (Brandon 2018b, s. 5). Palotilanteessa palava puu saattaa siis lisätä palokuormaa ja hiiltymissyvyyttä niin paljon, että hiiltyminen ei enää pysähdy vaan palokuorma palaa loppuun asti. Tavoitteellinen tilanne on se, että puurakenteen palaminen ei riitä täysin kehittyneen palon ylläpitämiseen (Brandon 2018a, s. 19–20).

Jos iteraation kulussa huomataan, että puun palamisesta aiheutuva palokuorman lisäys ei suppene, vaan kasvaa huomattavasti, ei hiiltyminen laskentamallin mukaan pysähdy itsestään. (Finnish Woof Research 2015, s. 78–79) Tällöin puun palaminen tuottaa niin paljon energiaa, että se riittää ylläpitämään paloa ja puurakenne palaa loppuun asti. Jos laskentamallissa iteraatio suppenee, ei puun palaminen pelkästään riitä palon ylläpitämiseen. Tällöin puurakenteen hiiltyminen pysähtyy, kun muista palavista aineista sekä puun palamisesta vapautuva energia ei riitä ylläpitämään paloa. Mitä hitaammin iteraatio suppenee, sitä kauemmin puurakenne hiiltyy sammumatta.

5. SUUNNITTELUMENETELMÄT JA SUOJAAMATTOMAN PUUN KÄYTTÖÄ RAJOITTAVAT MÄÄRÄYKSET

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 117 b §:n mukaan paloturvallisuuden kannalta olennaisia teknisiä vaatimuksia ovat seuraavat asiat:

- rakennuksen kantavien rakenteiden tulee kestää vaaditut palonkestoajat;
- palon ja savun kehittyminen sekä leviäminen tulee olla rajoitettu;
- palon leviäminen lähellä oleviin rakennuksiin tulee olla rajoitettu;
- palotilanteessa rakennuksessa olevien henkilöiden täytyy pystyä poistumaan rakennuksesta itse tai heidät on voitava pelastaa muulla tavoin;
- pelastushenkilöstön turvallisuus tulee ottaa huomioon.

Rakennuksen olennaiset paloturvallisuusvaatimukset täyttyvät, jos rakennus suunnitellaan ja toteutetaan paloluokkiin ja lukuarvoihin perustuen tai oletettuun palonkehitykseen perustuen (YMa 848/2017, 3 §). Rakennukset jaetaan neljään eri paloluokkaan, jotka ottavat huomioon palotilanteesta johtuvat seuraamukset ja riskit. Mitä suuremmat riisit ovat ja mitä korkeampi rakennus on, sitä suuremmat vaatimukset rakennukselle ja rakennosalle asetetaan. Paloluokat asettavat rajoituksia esimerkiksi kerrosalan, kerrosten lukumäärän, sallitun henkilömäärän, palo-osastojen koon ja pintamateriaalien osalta. P1-, P2- ja P3-paloluokkia käytetään, jos rakennus suunnitellaan paloluokkia ja lukuarvoja noudattaen. Tätä mitoituslaskutusta kutsutaan myös taulukkomitoitukseksi. P0-paloluokkaa käytetään, jos rakennus suunnitellaan oletettuun palonkehitykseen perustuen, eli toiminnallisella mitoituksella. Määräykset sallivat myös molempien suunnittelutapojen käytön samassa kohteessa. Puurunkoinen asuinkerrostalo voidaan toteuttaa paloluokissa P0, P1 ja P2.

5.1 Paloluokkiin ja lukuarvoihin perustuva suunnittelu

Rakennus täyttää paloturvallisuuden kannalta olennaiset tekniset vaatimukset, kun se täyttää Ympäristöministeriön asetuksessa (YMa 848/2017) annetut luokka- ja lukuarvot. Pienet poikkeavuudet luokka- ja lukuarvoista voidaan taulukkomitoituksessa osoittaa toiminnallisella suunnittelulla. Taulukkomitoitus perustuu standardipalokäyrään, joka kattaa palotilassa olevat perusmuuttujat. Suunnittelussa tulee ensimmäisenä määrittää lähtötiedot sekä rakennuksen käyttötapa. Käyttötavan määrittämisessä täytyy pohtia, tuleeko

rakennuksen käyttötarkoitus joskus muuttumaan, sillä se vaikuttaa paloteknisiin vaatimuksiin. Kun käytötapa ja lähtötiedot ovat selvillä, voidaan määrittää paloluokka ja palokuormaryhmä, jotka vaikuttavat kantavien ja jäykistävien rakenteiden vaatimuksiin. Puukerrostalo kuuluu aina vähintään P2-paloluokkaan. Puurunkoisen rakennuksen voi taulukkomitoituksella toteuttaa P1-paloluokassa enintään 2-kerroksisena, minkä vuoksi sitä korkeammat rakennukset tulee tässä luokassa toteuttaa toiminnallisella suunnittelulla (Puuinfo 2020d, s. 14). Jos rakennus kuuluu paloluokkaan P1, tulee palokuormaryhmä määrittää erikseen.

Palokuormaryhmä vaikuttaa kantavien ja jäykistävien rakenteiden luokkavaatimuksiin. Luokkiin ja lukuarvoihin perustuvassa suunnittelussa palokuormaryhmä määritetään P1-luokassa palo-osaston käyttötarkoituksen perusteella. Asunnot kuuluvat palokuormaryhmään *alle 600 MJ/m²*, asuinrakennusten irtainvarastot ryhmään *vähintään 600 MJ/m² mutta enintään 1200 MJ/m²* ja yli 50 neliömetrin varastot luokkaan *yli 1200 MJ/m²*. (YMa 848/2017, 7 §) Puurungon palamisesta aiheutuvaa palokuormaa ei tarvitse ottaa erikseen huomioon. Tietyissä erityistapauksissa palokuorman tiheys voidaan osoittaa YMa 848/2017 6 §:n ja 7 §:n mukaan myös laskemalla. Laskemalla määritetty palokuorman suuruus voi kuitenkin rajoittaa esimerkiksi palo-osastossa sallittuja huonekaluja. Paloluokassa P2 ei palo-osastojen käyttötarkoituksia jaotella, vaan palokuorma määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. (Puuinfo 2020d, s.13). Jos P2-luokan rakennuksessa on kuitenkin tiloja, jotka ovat rakennuksen käyttötarkoituksesta poikkeavia, otetaan ne huomioon rakenteiden vaatimuksissa. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi irtainvarastoja sisältävät palo-osastot. (YMa 848/2017, 6§) Irtainvarastoja sisältävät palo-osastot suunnitellaan yli 2-kerroksisissa P2-luokan rakennuksissa luokkaan REI 90 ja alle 2-kerroksisissa luokkaan REI 30. Paloluokkien P1 ja P2 asettamat vaatimukset puurunkoiselle asuinrakennukselle on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1. Paloluokkien P2 ja P1 puurunkoiselle asuinrakennukselle, jonka vierekkäiset ja päällekkäiset huoneistot kuuluvat eri palo-osastoon, asetetut vaatimukset. (YMa 848/2017, 8 §, 12 §, 15 §, 16 §)

	Paloluokka ja kerrosluku sekä palokuormaryhmä				
	P1			P2, 2-kerrosta	P2, 3–8 kerrosta
	alle 600 MJ/m ²	600–1200 MJ/m ²	yli 1200 MJ/m ²	-	-
Sprinklaus ⁽¹⁾	-	-	-	-	Pakollinen
Kerrosala [m²]	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	≤12000
Palo-osasto [m²]	Huoneistoittain	Huoneistoittain	Huoneistoittain	Huoneistoittain	Huoneistoittain
Korkeus [m]	-	-	-	≤9	≤28
Henkilöitä ⁽²⁾ [kpl]	-	-	-	-	≤1000
Runko ⁽³⁾	R60	R90 (R60*)	R120 (R60*)	R30	R60
Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitseva kellarikerros	R240, A2 (R180*, A2)	R180, A2 (R120*, A2)	R120, A2	R120, A2 (R90*, A2)	R120, A2 (R90*, A2)
Osastoivuus, yleensä	EI 120 (EI 60*)	EI 90 (EI 60*)	EI 60	EI 30	EI 60
Osastoivuus, kellarit	EI 60, A2	EI 90, A2 (EI 60, A2*)	EI 120, A2 (EI 90, A2*)	EI 60, A2	EI 60, A2
<p>Parvekkeiden palonkestävyysvaatimus on puolet kerroksen kantavien rakenteiden vaatimuksesta.</p> <p>Uloskäytävän porrassyöksen ja -tasanteen vaatimus on R30, lukuun ottamatta ylimmän kellarikerroksen alapuolella olevan kerroksen uloskäytävän porrassyökyä ja -tasanteita, joiden vaatimuksena on R60. Jos kantavilta rakenteilta vaaditaan vähintään A2-s1, d0 -pintaluokkaa, koskee vaatimus myös porrassyökyjä ja -tasanteita.</p> <p>Kantavien rakenteiden tulee olla P1-paloluokan 2-kerroksisissa rakennuksissa sekä paloluokan P2 rakennuksissa vähintään luokkaa D-s2, d2.</p> <p>1) Turvallisuusselvityksen kautta sprinklaus voi aina tulla pakolliseksi asuinrakennuksissa. 2) Rakennuksessa oleskelevien henkilöiden määrä. 3) Kantavan rungon luokkavaatimus. Osastovien rakennusosien rungon tulee täyttää vähintään sama palonkestovaatimus kuin osastovuodelta vaaditaan. * Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. A2 Kantavien rakenteiden tulee täyttää vähintään luokan A2.s1, d0 vaatimukset.</p>					

Paloluokat asettavat vaatimuksia myös rakennuksen sisäpuolisille pinnoille seinien ja kattojen osalta. P2-paloluokassa seinien ja kattojen osalta pintaluokkavaatimus on D-s2, d2, mutta jos suojaverhous vaaditaan, määräytyy pintaluokkavaatimus suojaverhouksen tarvikeluokkavaatimuksen mukaan. Myös P1-paloluokassa seinien ja kattojen pintaluokkavaatimus on D-s2, d2, mutta tässä paloluokassa vähäisiä osia voidaan verhota tarvikkeilla, jotka eivät tätä vaatimusta täytä. Asuntojen lattiapinnoille ei ole asetettu pintaluokkavaatimusta. Pintaluokkavaatimukset eivät koske vähäisiä rakennusosia, kuten esimerkiksi ikkunoita ja jalkalistoja, eikä enintään 2-kerroksisten rakennusten palkkeja ja pilareita, jotka täyttävät R30 - ja D-s2, d2 -luokkavaatimukset. Molemmissa paloluokissa uloskäytävien ja palosulkujen pintaluokkavaatimuksena on A2-s1, d0 ja vähäisten rakennusosien vaatimuksena B-s1, d0. Lattioiden pintaluokka uloskäytävissä tulee olla D_{FL}-

s1. (YMa 848/2017, 23 §) Puukerrostalon teknisissä- sekä kellaritiloissa seinien ja katon luokkavaatimuksena on A2-s1, d0 (Mikkola & Holopainen, s. 32) Puulattioita voidaan siis käyttää uloskäytävissä, asunnoissa, teknisissä tiloissa sekä kellareissa, mutta pintaluokkavaatimusta A2-s1, d0 ei voida puupinnoilla saavuttaa.

Vaatimuksia on myös ulkoseinien ulkopinnoille sekä tuuletusraon pinnoille. Nämä vaatimukset puurunkoiselle asuinrakennukselle on esitetty taulukossa 5.2.

Taulukko 5.2. Ulkoseinien ulkopintojen ja tuuletusvälin pintojen luokkavaatimukset puurunkoisessa asuinkerrostalossa paloluokissa P1 ja P2. (YMa 848/2017, 26 §)

Palo-luokka	Käyttötarkoitus	Ulkoseinän ulkopinta	Tuuletusvälin ulkopinta	Tuuletusvälin sisäpinta	Ehdot luokkien käytölle
P2	Yli 2-kerroksinen ja enintään 28 m korkea, asuinrakennus	D-s2, d2 *	D-s2, d2 *	K ₂ 10, A2-s1, d0*	2) 3) 4) 5)
	Enintään kaksikerroksinen rakennus, yleensä	D-s2, d2	D-s2, d2	D-s2, d2	
P1	Enintään 28 korkea asuinrakennus, yleensä	B-s2, d0	B-s2, d0	B-s1, d0	6)
	Enintään 14 m korkea asuinrakennus	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	1) 2) 3) 4)

1) Jos lämmöneriste ei eristävältä osaltaan täytä luokkavaatimusta B-s1, d0, ulkopinnan pintarakenteiden on suojattava eristettä palolta niin, että suojaus vastaa EI30 rakennusosaa tai tuuletusvälin sisäpinta on varustettava suojaverhouksella, joka täyttää vähintään K₂30, A2-s1, d0 luokkavaatimukset.

2) Lukuun ottamatta ensimmäistä kerrosta ja varateiden ylä- ja alapuolella olevia pintoja, joiden osallistuminen paloon voi vaarantaa varatien käytön.

3) Tuuletusväliissä palon leviäminen tulee olla rajoitettu kerroksittain sekä palon leviäminen vaakasuunnassa osastoidun porrashuoneen ulkoseinän tuuletusväliin on oltava estetty.

4) Palon leviäminen julkisivusta ullakkoon ja yläpohjan onteloon tulee olla rajoitettu niin, että se vastaa EI30-rakennusosaa. Rajoitusta ei tarvita, jos yläpohjan kantavan rakenteen olennaiset osat täyttävät luokan A2-s1, d0 vaatimukset ja yläpohja täyttää EI60 -paloluokan vaatimukset.

5) Palotilanteessa laajojen osien putoaminen julkisivurakenteesta tulee olla rajoitettu.

6) Jos lämmöneriste ei eristävältä osaltaan täytä luokan B-s1, d0 vaatimuksia, ulkopinnan pintarakenteiden on suojattava eristettä niin, että suojaus vastaa EI15 rakennusosaa tai tuuletusvälin sisäpinnassa on oltava K₂10, A2-s1, d0 suojaverhous.

* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

Enintään 28 metriä korkeassa rakennuksessa parvekkeiden pintojen vaatimus on B-s2, d0, mutta muissa tapauksissa noudatetaan ulkoseinän ulkopinnan vaatimuksia. Kaikki taulukkomitoituksella suunnitellut puukerrostalot ovat alle 28 metriä korkeita. Jos parveke on varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla, voidaan paloluokassa P2 toteuttaa parvekkeen palkit ja pilarit D-s2, d2 -luokkavaatimuksella. (YMa 848/2017, 26 §)

P2-paloluokan asuinkerrostaloissa katoille ja seinille edellytetään usein sisäpintojen suojaverhousta. Suomessa taulukkomitoituksessa käytetään suojaverhouksluokkia K₂10 ja K₂30. Alaindeksi 2 tarkoittaa sitä, että suojaverhousta voidaan käyttää kaikilla alustoilla. Numero merkinnän perässä tarkoittaa sitä, kuinka kauan suojaverhous suojaa raken-

netta minuutteina. Yli 2-kerroksisen P2-paloluokkaan kuuluvan asuinkerrostalon palosulun pinnat sekä uloskäytävän pinnat, pois lukien porrastasanteet ja portaiden ylä- ja etupinta, tulee olla varustettuna vähintään K₂10 -luokan suojaverhouksella, mikä täyttää A2-s1, d0 -pintaluokkavaatimuksen (YMa 848/2017, 24 §). Jos rakenneosaa on tehty vähäisiä osia lukuun ottamatta vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeesta tai rakenneosa on muuten vähäinen, ei suojaverhousta vaadita (YMa 848/2017, 24 §). Esimerkiksi puiset portaiden kannatinpalkit, jotka täyttävät B-s1, d0-luokan vaatimukset, eivät tarvitse suojaverhousta P2-paloluokan rakennuksessa, sillä rakennusosa on vähäinen. (Puuinfo 2020d, s. 59) Muut sisäpuoliset pinnat, lukuun ottamatta uloskäytävää ja palosulun pintoja, täytyy olla varusteltuna suojaverhouksella, joka täyttää vähintään luokkien A2-s1, d0 sekä K₂30 vaatimukset. Palo-osaston ei-kantavilta väliseiniltä ja rakennusosilta, jotka täyttävät vähäisiä rakennusosia lukuun ottamatta luokan A2-s1, d0, ei suojaverhousta vaadita. (YMa 848/2017, 24 §)

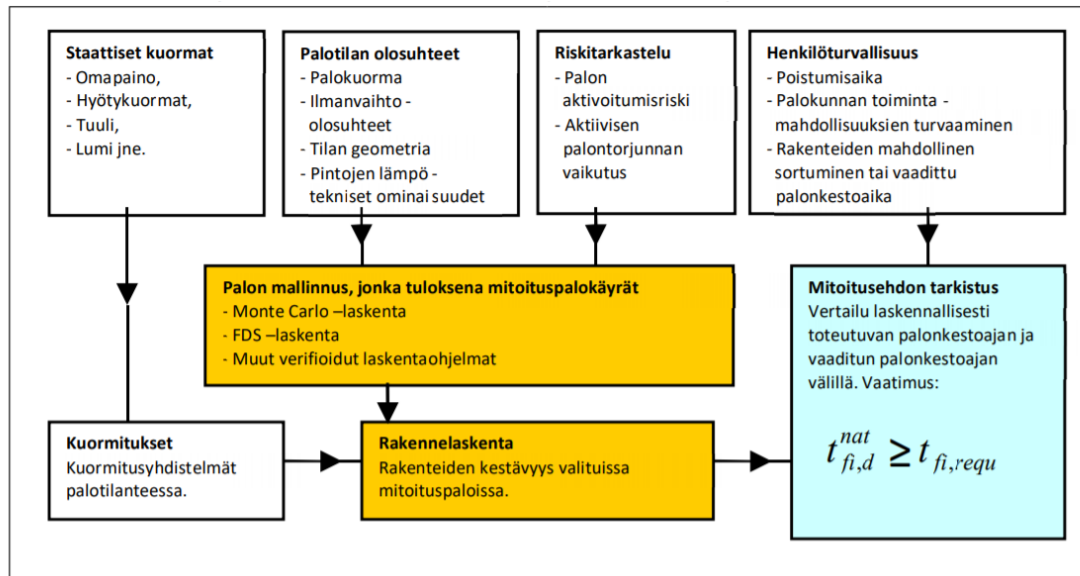
Yli 2-kerroksisissa rakennuksissa seinä- ja kattopintoja voidaan myös jättää suojaverhoilematta. Suojaverhouksen pois jättäminen on mahdollista, jos suojaamatta jätetyn alueen yhteenlasketun pinta-alan osuus koko palo-osaston katon sekä osastoivien-, kantavien- ja ulkoseinien pinta-alasta on enintään 20 prosenttia. Suojaamatta jätettyjen rakenteiden osuutta voidaan suurentaa pidentämällä rakenteiden vaadittua palonkestävyysaika. Jos palonkestävyysaika pidennetään 30 minuuttia, saa suojaamatta jäädä jo 20–80 prosenttia ja jos palonkestävyysaika pidennetään 60 minuuttia, saa suojaamaton osuus olla yli 80 prosenttia. P2-paloluokan 3–4-kerroksisissa rakennuksissa voidaan kuitenkin alentaa suojaverhouksen luokkaa, jos pinnat suojaverhoillaan kokonaisuudessaan. Tällöin suojaverhouksen on täytettävä vähintään A2-s1, d0- sekä K₂10 -luokat. (YMa 848/2017, 24 §) 2-kerroksisella P2-paloluokan puukerrostalolla suojaverhouksvaatimukset ovat hieman väljemmät kuin yli 2-kerroksisilla P2-paloluokan rakennuksilla. Näitä vaatimuksia ei käydä työssä tarkemmin läpi, sillä 2-kerroksiset puurunkoiset asuinkerrostalot eivät ole kovin yleisiä.

5.2 Oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu

Toiminnallisella mitoituksella voidaan tapauskohtaisesti todeta paloturvallisuuden olennaisten teknisten vaatimusten täyttyminen. YMa 848/2017 13 §:n mukaan kantavien rakenteiden osalta rakennus on riittävän paloturvallinen, jos yli 2-kerroksinen rakennus tai 2-kerroksinen henkilöturvallisuuden osalta vaativa rakennus ei riittävällä luotettavuudella sorru palo- tai jäähtymisvaiheessa. Jos rakennus on 2-kerroksinen, vaatimuksena on, että rakennus ei sorru poistumiseen, pelastustoimintaan ja palon hallintaan saamiseen tarvittavana aikana (YMa 848/2017, 13 §).

Paloturvallisuuden toteaminen toiminnallisessa suunnittelussa edellyttää tarkempia analyysijä mitoittavista palotilanteista ja puurakenteen hiiltymästä kuin taulukkomitoitus. Toiminnallinen suunnittelu perustuu rakennuksessa todennäköisesti esiintyviin tilanteisiin ja suunnittelu ottaa kohdekohtaisesti huomioon rakennuksen paloturvallisuuteen liittyvät tekijät. Oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelutapa mahdollistaa suojaamattoman puun vapaamman käytön ja on joissakin tapauksissa myös taloudellisempi suunnitteluvaihtoehto kuin taulukkomitoitus (Puuinfo 2020d, s. 8). Tällä mitoitustavalla voidaan osoittaa esimerkiksi se, että rakenne on suojaamattomana yhtä turvallinen kuin suojattuna. YMa 848/2017 3 §:n mukaan toiminnallisessa suunnittelussa saa käyttää vain sellaisia menetelmiä, joiden kelpoisuus on todettu.

Toiminnallisen suunnittelun alussa palosuunnittelija kokoaa suunnittelun lähtötiedot, riskiarvion sekä hyväksymiskriteerit. Kun lähtöoletukset ja hyväksymiskriteerit on määritetty, hyväksytetään ne viranomaisilla. (Puuinfo 2020d, s. 14) Viranomaishyväksynnän jälkeen tehdään riskianalyysi, jossa määritetään relevantit uhkakuvat eli rakennuksessa mahdolliset palotilanteet sekä niiden toistumisaika. Riskianalyysissä määritetään myös uhkakuvissa esiintyvien tekijöiden todennäköisyydet ja tarkastellaan tekijöiden riippuvuuksia toisistaan. (Puuinfo 2020d, s.14; Finnish Wood Research 2015, s. 20–21) Mitoittavaa palotilannetta määrittäessä on muistettava, että henkilöturvallisuuden ja rakenteellisen palonkestävyyden kannalta mitoittava palo voi olla eri (Mikkola & Holopainen 2017, s. 40). Mitoittavat palotilanteet simuloidaan ja tuloksia verrataan hyväksymiskriteereihin. Jos kriteerit eivät täyty, tehdään rakennukseen muutoksia muiden suunnittelijoiden kanssa, päivitetään ne lähtötietoihin ja simuloidaan mitoittavat palotilanteet uudelleen. (Hirvonen 2010, s. 15) Analyysit ja johtopäätökset esitetään viranomaisille, minkä jälkeen tehdään mahdollisesti vielä täydentäviä analyysijä. Viimeisenä lopulliset raportit analyysistä ja tuloksista lisätään rakennuksen palotekniseen suunnitelmaan. Yhteenvedon, tulkinnan ja raportoinnin tarkistamiseen voidaan käyttää kolmatta osapuolta. (Puuinfo 2020d, s. 14) Kuva 5.1 kuvaa toiminnallisen mitoituksen kulkua pääpiirteittäin.



Kuva 5.1. Toiminnallisen palomitoituksen kulku (Teräsrakenneyhdistys 2020, s. 6)

Lähtötietojen määrittämisessä täytyy ottaa huomioon mahdolliset käyttötavan muutokset rakennuksen elinkaaren aikana, sillä ne vaikuttavat mahdollisiin uhakuviin ja mitoittaviin palotilanteisiin. Suunnittelun lähtötietoja ovat muun muassa palokuorman tiheys, mahdolliset riskit, ilmanvaihto-olosuhteet, tilan geometria ja pintojen ominaisuudet. Toiminnallinen suunnittelu täytyykin ottaa huomioon rakennuksen arkkitehtisuunnittelussa, rakennesuunnittelussa sekä talotekniikan suunnittelussa (Kokkala 2000, s. 16). Palo-osaston palokuorman tiheys täytyy määrittää tapauskohtaisesti ja siinä otetaan huomioon muun muassa palokuorman sijainti ja puun palamisesta aiheutuva lisäys palokuormaan. Mahdolliset riskit voidaan laskea uhkien ja niitä vastustavien keinojen todennäköisyysjakaumien avulla (Finnish Wood Research 2015, s. 20–21). Puurakenteita uhkaavien palotilanteiden toistumisaika määritetään ja niitä verrataan EC1:n suositusarvoihin. Riskien esiintymistodennäköisyyttä voidaan pienentää muun muassa lisäämällä uhkaa vastustavien keinojen, esimerkiksi sprinklereiden, varmuutta. Uhkaa vastustavien tekijöiden vikaantumisen todennäköisyys otetaan riskien esiintymistodennäköisyydessä huomioon varmuuskertoimella. (Finnish Wood Research 2015, s. 20–21)

Hyväksymiskriteerien määrittäminen toiminnallisessa palomitoituksessa on hieman haastavaa, sillä tulokset saadaan simuloimalla palotapahtumia ja muuttujia eri rakennusten välillä on paljon. Hyväksymiskriteerit kuitenkin johdetaan aina paloturvallisuuden olennaisista teknisistä vaatimuksista. Yleensä tulosten hyväksymiseen käytetään vertailuperiaatetta, missä saatuja tuloksia verrataan taulukkomitoituksella tehtyyn vastaavanlaiseen rakennukseen. (Puuinfo 2020d, s. 15)

Mitoittavien palojen avulla määritetään esimerkiksi poistumisturvallisuus ja rakenteiden palonkestävyys palotilanteessa. Kantavien rakenteiden palonkestävyyden määrittämisessä voidaan toiminnallisessakin mitoituksessa nojautua standardipalokäyrään. Toiminnallisessa suunnittelussa voidaan käyttää standardipalokäyrää, jos mitoittava palotilanne on rakenteiden kannalta palorasituksiltaan lähellä standardipalokäyrää, tai mahdollisista poikkeamista huolimatta pystytään toteamaan kokonaisrasitusten vastaavat käytettyä palonkestävyyssaikaa. Standardipalokäyrää ei kuitenkaan voida käyttää rakenteen palonkestävyyden määrittämisessä, jos suojaamatonta puupintaa on paljon. Tällöin rakenteiden käyttäytymistä palotilanteessa tulee tarkastella laajemmin ja on otettava huomioon esimerkiksi puun palamisesta aiheutuva lisäys palokuormaan ja hiiltymisnopeuteen. (Mikkola & Holopainen 2017, s. 40–41)

Toiminnallista suunnittelua voidaan hyödyntää, vaikka puukerrostalo voitaisiinkin suunnitella myös taulukkomitoituksella. Pääasiassa toiminnallista suunnittelua käytetään kuitenkin tapauksissa, joissa taulukkomitoitus ei ole mahdollista tai toiminnallinen tarkastelu on taloudellisempi suunnitteluvaihtoehto kuin taulukkomitoitus. (Mikkola & Holopainen 2017, s. 37) Suunnittelutapa mahdollistaa taulukkomitoituksesta poikkeavia ratkaisuja ja siten mahdollistaa esimerkiksi suojaamattoman puun vapaamman käytön. Taulukkomitoituksella ei kuitenkaan voida osoittaa luokan D pintoja yhtä turvallisiksi kuin luokan B pintoja, ellei käytetä tarkoituksenmukaista automaattista sammutusjärjestelmää. (Mikkola & Holopainen 2017, s. 40) Tämä on otettava huomioon, jos esimerkiksi taulukkomitoituksessa on luokkavaatimus B ja pinta halutaan toiminnallisella mitoituksella toteuttaa luokassa D.

6. SUOJAAMATTOMAN PUUN KÄYTTÖ

Puuta halutaan käyttää näkyvissä pinnoissa sen estetiikan lisäksi myös siksi, että näkyvillä puupinnoilla voidaan vaikuttaa positiivisesti muun muassa sisäilman laatuun ja akustiikkaan. Tutkimusten perusteella paljaat puupinnat toimivat sekä lämmön- että kosteuden tasaajina, minkä vuoksi ilmanvaihdon tarve pienenee ja energiatehokkuus paranee. Näiden positiivisten ominaisuuksien lisäksi paljaat puupinnat vaikuttavat myönteisesti viihtyvyyteen ja ne saavat tilan tuntuman kotoisalta, viihtyisältä, rauhoittavalta sekä lämpimältä. (Puuinfo 2021b)

Jyväskylässä sijaitsevassa vuonna 2018 valmistuneessa KOAS Seminaarimäessä puun tunnelma on läsnä koko rakennuksessa. Asunnoissa CLT-kattoelementtien kuultokäsittelyt pinnat on jätetty kokonaan näkyviin. Myös yleisissä tiloissa puuta on jätetty näkyviin siellä, missä se on mahdollista. Porraskäytävissä käytävien lattiat, pääportaiden seinät sekä porrasaskelmat ovat näkyvää CLT-pintaa. Julkisivussa käytetty puuverhous on käsitelty kohteessa palosuoja-aineella. Vuonna 2019 valmistuneessa Rovaniemellä sijaitsevassa DAS Kelossa CLT-pinta on jätetty näkyviin käytävissä sekä portaikoissa. Kuten myös KOAS:sin kohteessa, DAS Kelossa asuntojen katoissa on käytetty suojaamatonta puupintaa. (Puuinfo 2021c) Joulukuussa 2019 valmistuneessa As. Oy Turun Linnanfältin Lyhdynkantajassa asuntojen ulkoseinien CLT-elementtien pinnat on jätetty suojaamattomaksi. Kohteessa on käytetty paljon suojaamatonta puupintaa ja paloturvallisuus on varmistettu automaattisella sammutusjärjestelmällä ja paksulla massiivipuurakenteella. (Bonava) Myös Porissa sijaitsevassa As. Oy Trekolissa CLT-pintaa on jätetty näkyviin kaikkien asuntojen ulkoseinillä (Puuinfo 2021c).

CLT-levyissä puupintaa voidaan jättää helposti näkyviin silloin, kun palomääräykset sen sallivat. Tällöin tulee kuitenkin käyttää näkyvän pintalaadun CLT-levyä. Tässä tapauksessa täytyy kääntyä CLT-levyn valmistajan puoleen, sillä jokaisella valmistajalla on omat kriteerit näkyvän pinnan laadulle. Näkyvät pinnat voidaan myös käsitellä palosuoja-aineilla, kun halutaan saavuttaa parempi pintaluokka. LVL-levyä ei voida tavallisesti jättää sellaisenaan näkyviin, vaan se on yleensä verhoiltava. Jos tilaan halutaan näkyvää puupintaa, verhoilu voidaan tehdä kaikilla puuverhoustuotteilla. (Puuinfo 2021a)

7. YHTEENVETO

Suomessa puukerrostalojen rakentaminen on kasvussa niiden ympäristöystävällisyyden, korkean laadun, nopean rakennusvaiheen ja esteettisyyden vuoksi. Suojaamattomat puupinnat vaikuttavat positiivisesti esimerkiksi sisäilman laatuun, akustiikkaan sekä viihtyvyyteen. Ne toimivat lämmön- sekä kosteuden tasaajina ja tekevät siten sisäilmasta miellyttävän. Puupinnoilla on siis monia positiivisia vaikutuksia, joiden vuoksi niitä halutaan jättää rakennuksessa näkyviin. Paloturvallisuuden vuoksi suojaamattomia puupintoja saa puukerrostaloissa olla kuitenkin vain rajallisesti.

Suojaamattoman puurakenteen käyttäytyminen palossa riippuu rakenteen paksuudesta, ympäristön lämpötilasta sekä puun ominaisuuksista. Monet puun ominaisuuksista ovat kytköksissä toisiinsa, minkä vuoksi yhdenkin ominaisuuden muuttaminen voi vaikuttaa puun käyttäytymiseen palotilanteessa todella paljon. Rakennustarvikkeet ja -pinnat luokitellaan sen mukaan, kuinka herkästi syttyvä materiaali on ja kuinka paljon materiaalista leviää savua ja palavia pisaroita palotilanteen aikana. Puupinnan pintaluokkaa voidaan parantaa palosuoja-aineiden avulla. Kun suojaamaton puurakenne palotilanteessa syttyy, muodostuu sen pinnalle eristävä hiilikerros. Hiilikerros toimii hidasteena palon etenemiselle ja suojaa puurakenteen sisäosaa, joka säilyttää lujuusominaisuutensa. Hiiltymisnopeus on jokaiselle puumateriaalille ominainen arvo, joka riippuu puun ominaisuuksista. Liimatuissa puutuotteissa liiman tyyppi voi aiheuttaa hiiltyneen alueen tippumista eli delaminoitumista, jolloin hiiltyminen tapahtuu useammalla eri nopeudella. Tämä on otettava huomioon, kun lasketaan puurakenteen hiiltymäsyvyyttä. CLT-levyillä hiiltymisnopeuteen vaikuttaa myös se, onko rakenne pysty- vai vaakarakenne.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, milloin puurakenteen voi jättää palosuojaamatta. Tulokseksi saatiin, että suojaamatonta puuta voidaan käyttää, kun Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) laaditut paloturvallisuuden olennaiset tekniset vaatimukset täyttyvät. Näiden olennaisten teknisten vaatimusten tähtyminen voidaan osittaa luokka- ja luokuarvoihin perustuvalla suunnittelulla, toiminnallisella suunnittelulla tai näiden yhdistelmällä. Toiminnallisessa mitoituksessa tulee olennaisten teknisten vaatimusten lisäksi huomioida YMa 848/2017 13 §:ssä esitettyjen vaatimusten tähtyminen. Siihen, kuinka paljon suojaamatonta puupintaa saadaan toteutettua rakennukseen paloturvallisesti, vaikuttaa muun muassa suunnittelumenetelmä, rakennuksen koko, puutuotteen ominaisuudet, asennustapa sekä toteessa mahdollisesti käytetty liima. Suunnittelun lopputulok-

sena saadaan rakenteille palonkestovaatimukset eli REI-luokkavaatimukset. Kun palonkestovaatimukset tiedetään, voidaan puurakenteen palonkestävyys todeta laskennallisesti EC5:n mukaan, standardinmukaisella polttokokeella tai näiden yhdistelmällä.

Taulukkomitoituksessa puukerrostaloja koskee melko vaativat pintaluokka- ja suojausvaatimukset, mikä rajoittaa suojaamattomien puurakenteiden määrää ja sijaintia. Mitoitustapa ei ota huomioon rakennuksen erityispiirteitä, mutta on kuitenkin helppo ja luotettava tapa puukerrostaloihin, joiden asunnot ovat kohtalaisen samanlaisia keskenään. Mitä enemmän suojaamatonta pintaa halutaan P2-luokan rakennuksessa jättää näkyviin, sitä suuremmat kantavuusvaatimukset rakenteisiin kohdistuu. Kantavuusvaatimusten pidentyminen vaikuttaa merkittävästi rakenteiden dimensioihin ja siten myös rakennuskustannuksiin. Tämän vuoksi rakenteiden kantavuusvaatimusten pidentäminen suojaamattomien puurakenteiden vuoksi ei välttämättä ole järkevä ratkaisu. Jos suojaamatonta pintaa ei jätetä ollenkaan näkyviin, lieventää se huomattavasti 3–4-kerroksisen rakennuksen suojaverhousluokan vaatimuksia. P1-paloluokassa asuntojen seinissä ja katoissa voidaan käyttää puupintaa, sillä pintaluokkavaatimuksena on D-s2, d2, eikä suojaverhousvaatimuksia ole. Taulukkomitoituksessa puurakenteen voi jättää suojaamatta uloskäytävillä, asunnoissa ja parvekkeilla vain Ympäristöministeriön asetuksessa (848/2017) esitetyin ehdoin. Pienet poikkeukset voidaan osoittaa turvallisiksi toiminnallisella mitoituksella.

Toiminnallinen suunnittelu perustuu realistisempaan palotilanteeseen kuin taulukkomitoituksella tehty suunnittelu, mahdollistaa suojaamattomien pintojen vapaamman käytön ja on joissain tapauksessa edullisempi suunnittelumenetelmä. Toiminnallisen suunnittelun avulla voidaan esimerkiksi välttyä tarpeettomien suojausten asentamiselta. Suunnittelussa automaattisella sammutusjärjestelmällä on suuri vaikutusta siihen, kuinka paljon suojaamatonta puupintaa kohteeseen voidaan toiminnallisella mitoituksella jättää niin, että rakennus on paloturvallinen. Automaattista sammutuslaitteistoa käytettäessä voidaan B- ja C-luokan pinnat todeta toiminnallisella suunnittelulla yhtä turvallisiksi kuin D-luokan pinnat, mutta A-luokkaa puupinnalla ei voida saavuttaa. Suojaamattoman puupinnan määrää ei toiminnallisella mitoituksellakaan voida kasvattaa rajatta, sillä yli 2-kerroksisen tai henkilöturvallisuuden kannalta vaativan 2-kerroksisen rakennuksen on kestettävä palo- ja jäähtymisvaihe riittävällä varmuudella sortumatta. Suojaamattomien puupintojen syttyminen tai delaminoituminen voi aiheuttaa rakenteiden loppuun palamisen, mikä on otettava suunnittelussa huomioon. Toiminnallisella mitoituksella suojaama-

tonta puuta voidaan käyttää silloin, kun suunnittelutavalla voidaan todeta paloturvallisuuden olennaisten teknisten vaatimusten ja YMa 848/2017 13 §:ssä esitettyjen vaatimusten täyttyminen.

Työssä tarkasteltiin myös sitä, missä suojaamatonta puuta on jo toteutuneissa puukerrostalohankkeissa käytetty. Asunnoissa suojaamattomien puupintojen määrä on melko vähäistä, sillä rakenteiden palonkestovaatimuksia täytyisi suurentaa, jos puuta haluttaisiin jättää näkyviin enemmän. Useassa jo rakennetussa puukerrostalossa rappukäytävän porrastasanteet on toteutettu siten, että puun pinta on onnistuttu jättämään näkyviin. Osassa kohteista myös rappusten askelmat ja jopa osa seinistä on jätetty paljaaksi puupinnaksi. Kohteita vertaillen on huomattavissa, että asunnoissa paljasta puupintaa lattioiden lisäksi oli joko ulkoseinissä tai katossa. Näkyvät puupinnat on toteutettu kohteissa pääosin CLT-levyillä, sillä ne mahdollistavat helposti puupinnan näkyville jättämisen.

LÄHTEET

Bonava. Ekologinen puukoti vetää nyt puoleensa – Lyhdynkantajan uudiskohteessa kun-
nioitetaan perinteitä modernilla otteella. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.4.2021):
[https://www.bonava.fi/asunnot/turku/lansiranta/linnanfaltin-kotikortteli#ekologinen-puu-
koti](https://www.bonava.fi/asunnot/turku/lansiranta/linnanfaltin-kotikortteli#ekologinen-puu-koti)

Brandon, D. & Dagenais, C (2018). Fire safety challenges of tall wood buildings–Phase
2: Task 5-Experimental Study of Delamination of Cross Laminated Timber (CLT) in
Fire. *National Fire Protection Association. NFPA raportti: FPRF-2018-05*. Saatavissa
(viitattu 3.4.2021): <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/RFTallWoodBuildingsTask5.pdf>

Brandon, D. (2018a). Engineering methods for structural fire design of wood buildings:
Structural integrity during a full natural fire. Saatavissa (viitattu 3.4.2021):
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1244825/FULLTEXT01.pdf>

Brandon, D. (2018b). Fire safety challenges of tall wood buildings–Phase 2: Task 4-En-
gineering Methods. *National Fire Protection Association. NFPA raportti: FPRF-2018-04*.
Saatavissa (viitattu 3.4.2021): <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/RFTallWoodBuildingsTask4.pdf>

Finnish Wood Research (2015). Puukerrostalon palosuunnitteluohje – Toiminnallinen
suunnittelu.

Hakkarainen, T., Mikkola, E., Östman, B., Tsantaridis, L., Brumer, H. & Piispanen, P.
(2005). InnoFireWood, Innovative eco-efficient high fire performance wood products for
demanding applications. VTT, verkkodokumentti. Saatavissa (viitattu 17.3.2021):
<http://virtual.vtt.fi/virtual/innofirewood/stateofheart/ifw-stateofheart.pdf>

Hakkarainen, T. & Mikkola, E. (2005). Palosuojattujen puutuotteiden palokäyttäytymisen
arviointi. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Saatavissa (viitattu 8.3.2021):
[https://docplayer.fi/7898294-Palosuojattujen-puutuotteiden-palokayttaytymisen-arvi-
ointi.html](https://docplayer.fi/7898294-Palosuojattujen-puutuotteiden-palokayttaytymisen-arviointi.html)

Hirvonen, V. (2010). Toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu ja EML-arvio. Saatavissa (viitattu 9.4.2021): https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/7247/Hirvonen_Ville.pdf?sequence=1

Holm, C. & Kallioniemi, P. (1980). Kantavien puurakenteiden palonkestävyys. VTT, Espoo. VTT Palotekninen laboratorio, Tiedonanto 21.

Kevarinmäki, A. & Oksanen, T. (2019). Puurakenteiden palomitoitus. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Kokkala, M (2000). Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu – Toiminnallinen lähestymistapa. VTT, Espoo. Verkkodokumentti. Saatavissa (viitattu 20.4.2021): <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2000/T2028.pdf>

Mikkola, E. & Holopainen, S. (2017). Puukerrostalon palotekniikka. Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisuja C, Raportteja: 46. Saatavilla (viitattu 8.3.2021): https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/133111/C46_20170829.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Mikkola, E. (1989). Puupinnan syttyminen. VTT, Espoo. VTT Tiedotteita 1057.

MRL 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki. Saatavissa (viitattu 9.4.2021): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Peltonen, M. (2018). Ristiinliimatun puuelementin valmistuksen, liittämisen ja kestävyysden tutkiminen. Saatavissa (viitattu 26.3.2021): https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/157767/Peltonen_Mikko.pdf?sequence=1

Puuinfo (2017). Puurakenteet – paloturvallisuus. Puulehti. Saatavissa (viitattu 27.3.2021): https://www.woodproducts.fi/sites/default/files/puulehti_1_2017_low.pdf

Puuinfo (2018). Puurakenteiden palomitoitus – Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018. Moduuli 4, Lahtela, Tero. Verkkodokumentti. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/30_Puurakenteiden-palomitoitus.pdf

Puuinfo (2020a). Puurakenteiden paloturvallisuus. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2021): <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/paloturvallisuus/>

Puuinfo (2020b). Paloteknisiä ominaisuuksia. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2021): <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/paloteknisia-ominaisuuksia/>

Puuinfo (2020c). Rakenteet, puukerrostalot, suunnittelu. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2020): <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/>

Puuinfo (2020d). Paloturvallinen puutalo – Asuin- ja toimitilarakentaminen. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2021): https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Palo-kirja_LOW_p%C3%A4ivitetty-21.2.20.pdf

Puuinfo (2020e). Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, 5. painos. Eurokoodi 5. Puuinfo.fi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.3.2021): <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje/>

Puuinfo (2021a). ePuu, järjestelmät – massiivipuulevyrakenteet – puupinnat sisällä. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 26.4.2021): <https://epuu.fi/jarjestelmat>

Puuinfo (2021b). Puutieto – Puun käytön sisäilma- ja terveysvaikutukset. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.4.2021): <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/>

Puuinfo (2021c). Puuinfo – Arkkitehtuuri – Puukerrostalot. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.4.2021): <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/>

Puuinfo (2021d). ePuu, määritelmiä. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.3.2021): <https://epuu.fi/maaritelmaa/>

Puuinfo. Rakenteet – Puukerrostalot – Suunnittelu. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.4.2021): <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/>

Rissanen, H. (2017). Tammiriman palosuojamenetelmien kokeellinen ja laskennallinen arviointi. Saatavissa (viitattu 22.3.2021): https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28440/master_Rissanen_Henri_2017.pdf?sequence=1

SFS-EN 1995-1-2 + AC (2004). Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1–2. Suomen standarditoimistoliitto SFS ry. Helsinki, 129 s.

SFS-EN 13501-1 (2019). Rakennustuotteiden ja rakennusosien paloluokitus, Osa 1. Suomen standarditoimistoliitto SFS ry. Helsinki, 53 s.

Stora Enso (2013). CLT – Cross Laminated Timber, Fire protection. Versio 04/2013 AG.

Teollisuusliitto (2020). Tehdään talot taas puusta – kansantalous, työllisyys ja kamppailu ilmastomuutosta vastaan kiittävät. Tekijälehti.fi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu

8.3.2021): <https://tekijalehti.fi/2020/02/12/tehdaan-talot-taas-puusta-kansantalous-tyolli-syys-ja-kamppailu-ilmastonmuutosta-vastaan-kiittavat/>

Teräsrakenneyhdistys (2020). Teräsrakenteiden oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu. Verkkodokumentti. Saatavissa (viitattu 14.5.2021): https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/916/9b5793f/Terasrakenteiden_oletettuun_palonkehitykseen_perustuva.pdf

Wood Joensuu (2021). Puurakentaminen. Woodjoensuu.fi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2021): <https://woodjoensuu.fi/teemat/puurakentaminen/>

YMa 848/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Saatavissa (viitattu 9.4.2021): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>

Östman, Birgit (2016). Fire Protection for Tall Wood Buildings. NFP Symposium on Fire Protection for a Changing World, verkkodokumentti. Saatavissa (viitattu 8.3.2021): <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Proceedings/Fire-Protection-for-a-Changing-World/RF%C3%96stman.ashx?la=en>

LIITE 1

Rakennesahatavara

KOMISSIION PÄÄTÖS 2003/43/EY. Euroopan unionin virallinen lehti. 8.8.2003. L 201/25

	Tuotekohtaiset tiedot	Keskitiheys ⁽¹⁾ vähintään (kg/m ³)	Kokonais- paksuus vähintään (mm)	Luokka ⁽²⁾ (lukuun otta- matta lattianpäälly- steitä)
Rakennesahatavara	Visuaalisesti tai koneellisesti lajiteltu poikki-leikkaukseltaan suorakaiteen muotoinen sahatavara, joka on valmistettu sahaamalla, höyläämällä tai muulla tavalla, tai pyöreä sahatavara	350	22	D-s2, d0

⁽¹⁾ Sovelletaan kaikkiin tuotestandardien puulajeihin.

⁽²⁾ Luokat on annettu päätöksen 2000/147/EY liitteen taulukossa 1.

⁽³⁾ Määritely standardin EN 13238 mukaisesti.”

Puiset lattiapäällysteet

KOMISSIION PÄÄTÖS 2006/213/EY. Euroopan unionin virallinen lehti. 16.3.2006. L 79/27.

Materiaali ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Tuotetiedot ⁽⁴⁾	Keskimääräinen tiheys vähin- tään ⁽³⁾ (kg/m ³)	Kokonais- paksuus vähintään (mm)	Loppukäytön olosuhteet	Lattiapäälly- steen luokka ⁽⁵⁾
Puiset lattiapäällysteet ja parketit	Tammesta ja pyökistä val- mistetut pinnoitetut lat- tiapäällysteet	Pyökki: 680 Tammi: 650	8	Liimataan alus- talle ⁽⁶⁾	C _{fl} - s1
	Tammesta, pyökistä tai kuusesta valmistetut pin- noitetut lattiapäällysteet	Pyökki: 680 Tammi: 650 Kuusi: 450	20	Alle jätetään ilma- rako tai alle ei jätetä ilmarakoa	
	Pinnoitetut puiset lattia- päällysteet, muut kuin edellä mainitut	390	8	Alle ei jätetä ilma- rako	D _{fl} - s1
			20	Alle jätetään ilma- rako tai alle ei jätetä ilmarakoa	
Puuparketit	Pinnoitettu monikerros- parketti, jonka päällysker- ros on tammesta ja vähin- tään 5 mm:n paksuinen	650 (päällyskerros)	10	Liimataan alus- talle ⁽⁶⁾	C _{fl} - s1
			14 ⁽²⁾	Alle jätetään ilma- rako tai alle ei jätetä ilmarakoa	
	Pinnoitettu monikerros- parketti, muu kuin edellä mainittu	500	8	Liimataan alustalle	D _{fl} - s1
			10	Alle ei jätetä ilma- rako	
			14 ⁽²⁾	Alle jätetään ilma- rako tai alle ei jätetä ilmarakoa	
Viilutetut lattiapäälly- steet	Pinnoitetut viilutetut lat- tiapäällysteet	800	6 ⁽²⁾	Alle ei jätetä ilma- rako	D _{fl} - s1

⁽¹⁾ Asennus standardin EN ISO 9239-1 mukaisesti vähintään luokan D - s2, d0 alustalle, jonka vähimmäistiheys on 400 kg/m³ tai joka asennetaan siten, että alle jätetään ilmarako.

⁽²⁾ Vähintään 14 mm:n paksuisissa parkettituotteissa tai viilutetuissa lattiapäällysteissä voi olla vähintään E-luokan välikerros, jonka pak-
suus on enintään 3 mm, silloin kun alle ei jätetä ilmarakoa.

⁽³⁾ Luokista säädetään päätöksen 2000/147/EY liitteen taulukossa 2.

⁽⁴⁾ Pinnoitteiden tyypit ja määrät: akryyli, polyuretaani tai saippua, 50–100 g/m², sekä öljy, 20–60 g/m².

⁽⁵⁾ Vakioitu standardin EN 13238 mukaisesti (50 % RH 23 °C).

⁽⁶⁾ Alustan on kuuluttava vähintään luokkaan A2 - s1, d0.

⁽⁷⁾ Koskee myös porrasaskelmia.

Puupaneloinnit ja -verhoukset

KOMISSION PÄÄTÖS 2006/213/EY. Euroopan unionin virallinen lehti. 16.3.2006.
L 79/27.

Materiaali ⁽¹⁾	Tuotetiedot ⁽²⁾	Keskimääräinen tiheys vähin- tään ⁽³⁾ (kg/m ³)	Vähimmäis- paksuudet, kokonais/vä- hintään ⁽⁴⁾ (mm)	Loppukäyttö ⁽⁵⁾	Luokka ⁽⁶⁾
Paneloinnit ja ver- houkset ⁽¹⁾	Laudat pontin ja uran kanssa tai ilman, profi- loituu tai profiloimaton pinta	390	9/6	Taakse ei jätetä il- marakoa tai taakse jätetään suljettu il- marako	D - s2, d2
			12/8		D - s2, d0
Paneloinnit ja ver- houkset ⁽²⁾	Laudat pontin ja uran kanssa tai ilman, profi- loituu tai profiloimaton pinta	390	9/6	Taakse jätetään avoin ilmarako ≤ 20 mm	D - s2, d0
			18/12	Taakse ei jätetä il- marakoa tai taakse jätetään avoin ilma- rako	
Puuritiläelementit ⁽³⁾	Tukikehikolle asennetut laudat ⁽⁴⁾	390	18	Jätetään kaikilta si- vulta avoimeksi ⁽¹⁰⁾	D - s2, d0

⁽¹⁾ Asennetaan mekaanisesti puukoolaukselle siten, että ontelo suljetaan tai täytetään vähintään luokkaan A2 - s1, d0 kuuluvalla materiaalilla, jonka vähimmäistiheys on 10 kg/m³, tai se tiivistetään vähintään E-luokan puukuitueristemateriaalilla, jonka takana on höyrysulku tai ei ole höyrysulku. Puutuote on suunniteltu asennettavaksi ilman avosauvoja.

⁽²⁾ Asennetaan mekaanisesti puukoolaukselle siten, että taakse jätetään avoin ilmarako tai ei jätetä avointa ilmarakoa. Puutuote on suunniteltu asennettavaksi ilman avosauvoja.

⁽³⁾ Luokista säädetään päätöksen 2000/147/EY liitteen taulukossa 1.

⁽⁴⁾ Tuotteen takapinnan tuulettuminen on mahdollista jos ilmarako on avoin, kun taas tällainen tuulettuminen ei ole mahdollista jos ilmarako on suljettu. Ilmarakon takana olevan alustan on kuuluttava vähintään luokkaan A2 - s1, d0, ja sen vähimmäistiheyden on oltava 10 kg/m³. Jos vaakalaudoituksen takana oleva suljettu ilmarako on enintään 20 mm, alusta voi kuulua vähintään luokkaan D - s2, d0.

⁽⁵⁾ Saumat voivat olla minkätyyppisiä tahansa, ts. puskusauvoja tai ponttisauvoja.

⁽⁶⁾ Vakioitu standardin EN 13238 mukaisesti.

⁽⁷⁾ Jäljempänä olevan kuvan a mukaisesti. Paneelin ulkopinnan profilointi voi olla enintään 20 % tasaisesta alasta tai 25 % silloin, kun sekä paneelin ulkopinta että takapinta mitataan. Puskusauvojen saumapintoihin sovelletaan suurempaa vähimmäispaksuutta.

⁽⁸⁾ Suorakaiteen muotoiset laudat, joiden särmät ovat pyöristetyt tai pyöristämättömät ja jotka on asennettu tukikehikolle vaak- tai pystysuoraan ja jätetty kaikilta sivuilta avoimiksi ja joita käytetään yleensä muiden rakennuselementtien läheisyydessä sisällä ja ulkona.

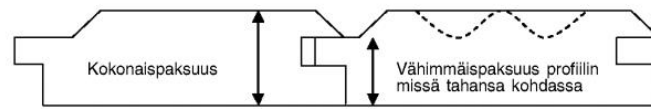
⁽⁹⁾ Ulkopintojen ala (suorakaiteen muotoisten lautojen ja puisen tukikehikon kaikki sivut yhteensä) saa olla enintään 110 % tasopinnan kokonaisalasta, ks. jäljempänä oleva kuva b.

⁽¹⁰⁾ Muiden rakennuselementtien, jotka sijaitsevat alle 100 mm:n etäisyydellä puuritiläelementistä (lukuun ottamatta tukikehikkoa), on kuuluttava vähintään luokkaan A2 - s1, d0, ja silloin kun ne sijaitsevat 100–300 mm:n etäisyydellä, niiden on kuuluttava vähintään luokkaan B - s1, d0, ja kun ne sijaitsevat yli 300 mm:n etäisyydellä, niiden on kuuluttava vähintään luokkaan D - s2, d0.

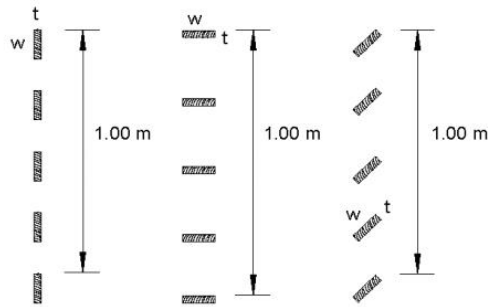
⁽¹¹⁾ Koskee myös portaita.

Kuva a

Puupanelointien ja -verhouksien profiilit



Kuva b

Puuritiäelementin ulkopintojen suurin sallittu ala $2n(t + w) + a \leq 1,10$ 

n = lautojen lukumäärä / metri

t = kunkin laudan paksuus metreinä

w = kunkin laudan leveys metreinä

a = puisen tukikehikon (jos käytetään) altistuvan ulkopinnan ala m^2 :ä / puuritiäelementti- m^2

Puupohjaiset levytuotteet

KOMISSION PÄÄTÖS 2007/348/EY. Euroopan unionin virallinen lehti. 23.5.2007.
L 131/21

Tuote	EN-tuotestandardi	Loppukäytön olosuhteet ⁽¹⁾	Vähimmäistiheys (kg/m ³)	Vähimmäispaksuus (mm)	Luokka ⁽²⁾ (lukuun ottamatta lattianpäällysteitä)	Luokka ⁽³⁾ (lattianpäällysteet)
Sementtilastulevy ⁽¹⁾	EN 634-2	levyn taakse ei jätetä ilmarakoa	1 000	10	B-s1, d0	B _{fl} -s1
Kuitulevy, kova ⁽¹⁾	EN 622-2	puupohjaisen levyn taakse ei jätetä ilmarakoa	900	6	D-s2, d0	D _{fl} -s1
Kuitulevy, kova ⁽³⁾	EN 622-2	puupohjaisen levyn taakse jätetään suljettu ilmarako, joka on enintään 22 mm	900	6	D-s2, d2	—
Lastulevy ⁽¹⁾ , ⁽²⁾ , ⁽³⁾	EN 312	puupohjaisen levyn taakse ei jätetä ilmarakoa	600	9	D-s2, d0	D _{fl} -s1
Kuitulevy, kova ja puolikova ⁽¹⁾ , ⁽²⁾ , ⁽³⁾	EN 622-2 EN 622-3					
MDF-levy ⁽¹⁾ , ⁽²⁾ , ⁽³⁾	EN 622-5					
OSB-levy ⁽¹⁾ , ⁽²⁾ , ⁽³⁾	EN 300					
Vaneri ⁽¹⁾ , ⁽²⁾ , ⁽³⁾	EN 636	-"	400	9	D-s2, d0	D _{fl} -s1
Liimapuulevy ⁽¹⁾ , ⁽²⁾ , ⁽³⁾	EN 13353			12		
Pellavakuitulevy ⁽¹⁾ , ⁽²⁾ , ⁽³⁾	EN 15197	-"	450	15	D-s2, d0	D _{fl} -s1
Lastulevy ⁽³⁾ , ⁽⁵⁾	EN 312	puupohjaisen levyn taakse jätetään suljettu tai avoin ilmarako, joka on enintään 22 mm	600	9	D-s2, d2	—
Kuitulevy, kova ja puolikova ⁽³⁾ , ⁽⁵⁾	EN 622-2 EN 622-3					
MDF-levy ⁽³⁾ , ⁽⁵⁾	EN 622-5					
OSB-levy ⁽³⁾ , ⁽⁵⁾	EN 300					
Vaneri ⁽³⁾ , ⁽⁵⁾	EN 636	-"	400	9	D-s2, d2	—
Liimapuulevy ⁽³⁾ , ⁽⁵⁾	EN 13353			12		
Lastulevy ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 312	puupohjaisen levyn taakse jätetään suljettu ilmarako	600	15	D-s2, d0	D _{fl} -s1
Kuitulevy, puolikova ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 622-3					
MDF-levy ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 622-5					
OSB-levy ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 300					
Vaneri ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 636	-"	400	15	D-s2, d1	D _{fl} -s1
Liimapuulevy ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 13353				D-s2, d0	
Pellavakuitulevy ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 15197	-"	450	15	D-s2, d0	D _{fl} -s1

Tuote	EN-tuotestandardi	Loppukäytön olosuhteet ⁽⁶⁾	Vähimmäistiheys (kg/m ³)	Vähimmäispaksuus (mm)	Luokka ⁽⁷⁾ (lukuun ottamatta lattianpäällysteitä)	Luokka ⁽⁸⁾ (lattianpäällysteet)
Lastulevy ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 312	puupohjaisen levyn taakse jätetään avoin ilmarako	600	18	D-s2, d0	D _{fl} -s1
Kuitulevy, puolikova ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 622-3					
MDF-levy ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 622-5					
OSB-levy ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 300					
Vaneri ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 636	"-"	400	18	D-s2, d0	D _{fl} -s1
Liimapuulevy ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 13353					
Pellavakuitulevy ⁽⁴⁾ , ⁽⁵⁾	EN 15197	"-"	450	18	D-s2, d0	D _{fl} -s1
Lastulevy ⁽⁵⁾	EN 312	kaikki	600	3	E	E _{fl}
OSB-levy ⁽⁵⁾	EN 300					
MDF-levy ⁽⁵⁾	EN 622-5	"-"	400	3	E	E _{fl}
			250	9	E	E _{fl}
Vaneri ⁽⁵⁾	EN 636	"-"	400	3	E	E _{fl}
Kuitulevy, kova ⁽⁵⁾	EN 622-2	"-"	900	3	E	E _{fl}
Kuitulevy, puolikova ⁽⁵⁾	EN 622-3	"-"	400	9	E	E _{fl}
Kuitulevy, huokoinen	EN 622-4	"-"	250	9	E	E _{fl}

⁽¹⁾ Asennetaan ilman ilmarakoa suoraan vasten luokan A1 tai A2-s1, d0 tuotteita, joiden minimitiheys on 10 kg/m³, tai vasten vähintään luokan D-s2, d2 tuotteita, joiden minimitiheys on 400 kg/m³.

⁽²⁾ Jos asennetaan suoraan vasten puupohjaista levyä, alustana voi olla vähintään E-luokan puukuitueristemateriaali, lattianpäällysteitä lukuun ottamatta.

⁽³⁾ Asennetaan siten, että taakse jää ilmarako. Ontelon vastaosan on oltava vähintään luokan A2-s1, d0 tuote, jonka vähimmäistiheys on 10 kg/m³.

⁽⁴⁾ Asennetaan siten, että taakse jää ilmarako. Ontelon vastaosan on oltava vähintään luokan D-s2, d2 tuote, jonka vähimmäistiheys on 400 kg/m³.

⁽⁵⁾ Vaneroidut, fenoli- ja melamiini-pinnoitetut levyt kuuluvat luokkaan, lattianpäällysteitä lukuun ottamatta.

⁽⁶⁾ Puupohjaisen levyn ja alustan väliin voidaan asentaa höyrysulku, jonka paksuus on enintään 0,4 mm ja paino enintään 200 g/m², silloin kun niiden välissä ei ole ilmarakoa.

⁽⁷⁾ Luokat on annettu päätöksen 2000/147/EY liitteessä olevassa taulukossa 1.

⁽⁸⁾ Luokat on annettu päätöksen 2000/147/EY liitteessä olevassa taulukossa 2."

Pinnoittamattomat puiset lattiapäällysteet

KOISSION DELEGOITU ASETUS (EU) N:o 1292/2014. Euroopan unionin virallinen lehti. 5.12.2014. L 349/27.

Tuote ⁽¹⁾ ⁽⁷⁾	Tuotetiedot ⁽⁴⁾	Keskittiheys vähintään ⁽²⁾ (kg/m ³)	Kokonaispaksuus vähintään (mm)	Loppukäytön olosuhteet	Lattiapäällysteen luokka ⁽³⁾
Puinen lattiapäällyste	Puinen lattiapäällyste, mäntyä tai kuusta	Mänty: 480 Kuusi: 400	14	Alle ei jätetä ilmarakoa	D _{fl} -s1
Puinen lattiapäällyste	Puinen lattiapäällyste, pyökkiiä, tammea, mäntyä tai kuusta	Pyökki: 700 Tammi: 700 Mänty: 430 Kuusi: 400	20	Alle jätetään ilmarako tai alle ei jätetä ilmarakoa	D _{fl} -s1
Puuparketit	Puinen (yksikerroksinen) parketti, pähkinäpuuta	650	8	Liimataan alustalle ⁽⁶⁾	D _{fl} -s1
Puuparketit	Puinen (yksikerroksinen) parketti, tammea, vaahteraa tai saarnea	Saarni: 650 Vaahtera: 650 Tammi: 720	8	Liimataan alustalle ⁽⁶⁾	D _{fl} -s1
Puuparketit	Monikerroksinen parketti, jonka ylin kerros tammea, vähintään 3,5 mm	550	15 ⁽²⁾	Alle ei jätetä ilmarakoa	D _{fl} -s1
Puiset lattiapäällysteet ja parketit	Puiset lattiapäällysteet ja parketit, joita ei ole täsmennetty edellä	400	6	Kaikki	E _{fl}

⁽¹⁾ Asennus standardin EN ISO 9239-1 mukaisesti vähintään luokan D-s2, d0 alustalle, jonka vähimmäistiheys on 400 kg/m³ tai joka asennetaan siten, että alle jätetään ilmarako (vähimmäiskorkeus 30 mm).

⁽²⁾ Mukaan voidaan lukea vähintään E_{fl}-luokan välikerros, jonka enimmäispaksuus on 3 mm ja vähimmäistiheys 280 kg/m³.

⁽³⁾ Luokat on annettu päätöksen 2000/147/EY liitteen taulukossa 2.

⁽⁴⁾ Ilman pinnoitetta.

⁽⁵⁾ Vakioitu standardin EN 13238 mukaisesti (suhteellinen kosteus 50 %, 23 °C).

⁽⁶⁾ Alustan on kuuluttava vähintään luokkaan D-s2, d0.

⁽⁷⁾ Koskee myös porrasaskelmia.

Liimapuu

KOMISSIION DELEGOITU ASETUS (EU) 2017/1227. Euroopan unionin virallinen lehti 8.7.2017. L 177/1

Tuotteet ⁽¹⁾	Keskittiheys vähintään ⁽²⁾ (kg/m ³)	Kokonaispaksuus vähintään (mm)	Luokka ⁽³⁾
Yhdenmukaistetun standardin EN 14080 mukaiset liimapuutuotteet ja yhdenmukaistetun standardin EN 15497 mukainen sormijatkettu rakennesahatavara	380	22	D-s2, d0

⁽¹⁾ Sovelletaan kaikkiin tuotestandardien kattamiin puulajeihin ja liimoihin.

⁽²⁾ Käsittely standardin EN 13238 mukaisesti.

⁽³⁾ Delegoidun asetuksen (EU) 2016/364 liitteen taulukon 1 mukainen luokka.

Seiniin ja sisäkattoihin tarkoitetut ristiinliimatut massiivipuutuotteet ja viilupuutuotteet

KOMISSION DELEGOITU ASETUS (EU) 2017/2293. Euroopan unionin virallinen lehti.
13.12.2017. L 329/1

Tuote ⁽¹⁾	Tuotekohtaiset tiedot	Keskitiheys vähintään ⁽²⁾ (kg/m ³)	Kokonaispaksuus vähintään (mm)	Luokka ⁽³⁾
Yhdenmukaistetun standardin EN 16351 mukaiset ristiinliimatut massiivipuutuotteet	Kerroksen vähimmäispaksuus 18 mm	350	54	D-s2, d0 ⁽⁴⁾
Yhdenmukaistetun standardin EN 14374 mukaiset viilupuutuotteet	Viilun vähimmäispaksuus 3 mm	400	18	D-s2, d0 ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Sovelletaan kaikkiin tuotestandardien kattamiin puulajeihin ja liimoihin.

⁽²⁾ Käsittely standardin EN 13238 mukaisesti.

⁽³⁾ Delegoidun asetuksen (EU) 2016/364 liitteen taulukon 1 mukainen luokka.

⁽⁴⁾ Luokka voimassa riippumatta rungosta ja takana olevasta ilmaraosta.

Lattianpäällysteisiin tarkoitetut ristiinliimatut massiivipuutuotteet ja viilupuutuotteet

KOMISSION DELEGOITU ASETUS (EU) 2017/2293. Euroopan unionin virallinen lehti.
13.12.2017. L 329/1

Tuote ⁽¹⁾	Tuotekohtaiset tiedot	Keskitiheys vähintään ⁽²⁾ (kg/m ³)	Kokonaispaksuus vähintään (mm)	Lattianpäällysteiden luokka ⁽³⁾
Yhdenmukaistetun standardin EN 16351 mukaiset ristiinliimatut massiivipuutuotteet	Kerroksen vähimmäispaksuus 18 mm ja pintakerros mäntyä	430	54	D _{FL} -s1 ⁽⁴⁾
Yhdenmukaistetun standardin EN 16351 mukaiset ristiinliimatut massiivipuutuotteet	Kerroksen vähimmäispaksuus 18 mm ja pintakerros kuusta	400	54	D _{FL} -s1 ⁽⁴⁾
Yhdenmukaistetun standardin EN 14374 mukaiset viilupuutuotteet	Viilun vähimmäispaksuus 3 mm ja pintakerros mäntyä	480	15	D _{FL} -s1 ⁽⁴⁾
Yhdenmukaistetun standardin EN 14374 mukaiset viilupuutuotteet	Viilun vähimmäispaksuus 3 mm ja pintakerros mäntyä	430	20	D _{FL} -s1 ⁽⁴⁾
Yhdenmukaistetun standardin EN 14374 mukaiset viilupuutuotteet	Viilun vähimmäispaksuus 3 mm ja pintakerros kuusta	400	15	D _{FL} -s1 ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Koskee myös porrasaskelmia.

⁽²⁾ Käsittely standardin EN 13238 mukaisesti.

⁽³⁾ Delegoidun asetuksen (EU) 2016/364 liitteen taulukon 2 mukainen luokka.

⁽⁴⁾ Luokka voimassa riippumatta rungosta ja takana olevasta ilmaraosta.