

Kare Kosonen

PUURAKENTEIDEN PALOTEKNISET ERITYISKYSYMYKSET RAKENNE- SUUNNITTELUSSA

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Teollinen puurakentaminen

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Kare Kosonen
Työn nimi	Puurakenteiden palotekniset erityiskysymykset rakennesuunnittelussa
Toimeksiantaja	Ideastructura Oy
Vuosi	2022
Sivut	70 sivua
Työn ohjaaja(t)	Petteri Härkönen ja Marko Voutilainen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, mitä kaikkia puurakenteiden rakennesuunnitteluun liittyviä paloteknisiä erityiskysymyksiä on huomioitava rakennusten suunnittelussa. Myös se, miten Suomen lainsäädäntö ohjaa puurakentamista, kuuluu osaksi opinnäytetyötä. Opinnäytetyössä tutkittiin Suomen lainsäädännön antamia mahdollisuuksia siihen, miten puurakentamista ja puun käyttöä rakentamisessa voidaan lisätä entisestään.

Tutkimus on muodoltaan kirjallisuustutkimus, jossa on tutkittu lakien ja määräysten vaikutusta puurakenteiden suunnitteluun. Tutkimus käsittelee, mitä huomioitavia muutoksia Suomen lainsäädännössä on tapahtunut, esimerkiksi rakennuksen puupintojen näkyvyyden kannalta ja puisen rakennuksen korkeuden paloluokan määrittelyn osalta.

Tutkimus käsittelee Pohjoismaissa olevia eroja rakentamisen kustannuksissa eri materiaalien välillä. Tutkimuksessa tutkittiin materiaalien hinnoista johtuvia tekijöitä, jotka ohjaavat rakennusmateriaalin valintaa rakennuksen rakentamisessa. Hinnoista johtuvat erot ohjaavat suunnittelijoita valitsemaan halvempia perinteisempiä rakennusmateriaaleja, mutta tähän on Suomessa kiinnitetty huomiota ja kannustettu valitsemaan rakennusten rakentamismateriaaliksi puu.

Puun palokäyttäytyminen on riippuvainen siitä, onko puu suojattu paloa vastaan vai onko puinen rakenne jo valmiiksi massiivinen. Mitä massiivisempi rakenne on, sitä vähemmän tulipalo vaikuttaa sen rakenteelliseen kestävyYTEEN. Puiset pinnat pitää suojata erilaisilla palosuoja-aineilla sekä erilaisilla levytyksillä, joilla estetään puisen pinnan hiiltymisen ja hiiltymisen aiheuttama rakenteen kestävyYDEN heikkeneminen. Palosuojaus hidastaa rakenteen palamisen vaikutuksia, mutta palosuojaus ei tuo rakenteelle lisää rakenteellista kestävyYTTÄ. Rakennuksen eri osien liittymät sekä ontelotiloissa olevat talotekniikan vaatimat läpiviennit pitää myös palosuojata. Läpivientien palosuojaukseen on olemassa eri valmistajilla tähän käyttöön suunniteltuja tuotteita, jotka estävät palon leviämisen ontelotilasta toiseen. Mahdollisen tulipalon vaikutukset rakennuksen stabiliteetin säilymiseen pitää ottaa myös huomioon rakennusta suunnitellessa.

Asiasanat: puurakentaminen, rakennesuunnittelu, palaminen, palosuunnittelu

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Kare Kosonen
Thesis title	Specific fire technical issues for wooden structures in structural design
Commissioned by	Ideastructura Oy
Time	April 2022
Pages	70 pages
Supervisor	Petteri Härkönen, Marko Voutilainen

ABSTRACT

The purpose of the thesis was to find out what special fire technical issues related to the structural design of wooden structures must be taken into account the design of buildings. How Finnish legislation governs wood construction is also part of the thesis. The thesis examined the possibilities provided by the Finnish legislation on how wood construction and the use of wood in construction can be further increased.

The study is in the form of a literature review where the effect of laws and regulations on the design of wooden structures has been studied. The study is addressed with changes that have taken place in the Finnish legislation, for example in terms of the visibility of the wooden surfaces of a building and the definition of the fire class of a wooden building.

The study examines the differences in construction costs between different materials in the Nordic countries. The study also examines the factors resulting from the prices of materials that guide the choice of building material in the construction of a building. Differences in prices lead designers to choose cheaper, more traditional building materials, but Finland has paid attention to this and encouraged to choose wood as building material.

The flammability behaviour of wood depends on whether the wood is protected against fire or whether the wooden structure is already massive. The more massive the structure, the less fire affects its structural durability. Wooden surfaces must be protected with various flame retardants and different coatings to prevent the charring of the wooden surface and deterioration of the durability of the structure caused by charring. Fire protection slows down the burning of the structure, but fire protection does not increase the structural strength of the structure itself. The connections of the different parts of the building and the penetrations required by the house technology in the cavities must also be fire-protected. For the fire protection of bushings, there are products designed by various manufacturers that prevent the spread of fire from one cavity to another. The effects of a possible fire on maintaining the stability of the building must also be taken into account when designing the building.

Keywords: wood construction, structural design, burning, fire design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	PUUN OMINAISUUDET	9
3	PUURAKENTAMINEN SUOMESSA	9
3.1	Puurakentamisen terveysvaikutukset	13
3.2	Hiilijalan- ja hiilikädenjälki	14
3.3	Puurakentamisen kustannukset.....	15
3.4	Rakennuskustannushintojen vertailu	16
3.5	Hybridirakentaminen.....	18
4	PALOTURVALLISUUS	19
4.1	Palaminen.....	19
4.2	Tulipalo	22
4.3	Sammutusmenetelmät.....	23
5	PALOTEKNINEN SUUNNITTELU	25
5.1	Onteloiden palokatkot	25
5.2	Puisen julkisivun palokatkot.....	27
5.3	Palosuoja-aineet	29
5.4	Paloluokat.....	29
5.5	Kantavuus ja osastointi.....	33
5.6	Rakennuksesta poistuminen tulipalossa.....	34
5.7	Palokuorma	36
5.8	Palosuojaus	37
5.9	Puurakenteen kantavuuden mitoituksen periaatteet tulipalotilanteessa.....	39
5.10	Rakennustarvikkeet	42
6	LIITOSTEN PALOMITOITTAMINEN	43
6.1	Kiinnitysratkaisut.....	45
6.2	Metalliset kiinnitysratkaisut	48
6.3	Puiset kiinnitysratkaisut	50

6.4	Palamisen vaikutukset rakenteiden kiinnitykseen	52
7	TOIMINNALLINEN PALOMITOITUS	53
8	PALOTURVALLISUUDEN PARANTAMINEN	56
9	POHDINTA	58
	LÄHTEET.....	62

KUVALUETTELO

KÄSITTEET

Hiilijalanjälki	Hiilijalanjälki on jonkin tuotteen tai prosessin tuottama ilmastokuorma, jota ei syntyisi ilman kyseisen tuotteen taikka prosessin suorittamista.
Hiilikädenjälki	Hiilikädenjälki on jonkin tuotteen tai prosessin ilmastohyöty, jota ei syntyisi ilman kyseisen tuotteen tai prosessin suorittamista.
Hybridirakennus	Rakennus, jossa yhdistetään eri rakennusmateriaaleja ja niiden käyttötarkoituksia rakennuksen rakentamisessa.
Palamisreaktio	Palamisreaktio on kemiallinen reaktio, jossa lämpö, palava materiaali ja happi reagoivat keskenään ja tuottavat vettä ja hiilidioksidia. Kemikaalinen kaava $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.
Palokatko	Palokatko on yleisnimitys osastoivien rakennusosien osastoivien rakennusosien läpivientien tiivistämiselle palo-osastointia vastaavaksi kokonaisuudeksi, jotka rajoittavat palon ja savun leviämistä osastoivien rakennusosien läpivientien kautta.
Palokuorma	Palokuorma on kaikki palotilassa oleva palava materiaali ja siitä vapautuva lämpöenergian määrä materiaalin palaessa täydellisesti. Palokuormaan luetaan kantavat runkoa jäykistävät, osastoivat ja muut rakennusosat sekä irtaimisto.
Paloluokka	Rakennusten paloluokkia ovat Suomessa P0, P1, P2 ja P3.

Palonkestävyys	Palonkestävyys on rakennusosan kyky täyttää määrätyn ajan kantavuusvaatimus (R) ja/tai osastoivuusvaatimus (EI) määritellyn kuormituksen ja paloaltituksen vallitessa.
Palo-osasto	Palo-osasto on rakennuksen sisäpuolinen tila, josta palon leviäminen on määrätyn ajan estetty osastoviin rakennusosiin tai muulla tehokkaalla tavalla.
Pelastaja	Pelastajalla tarkoitetaan sammutushenkilöä, joka toimii paloviranomaisen määräämissä tehtävissä, esimerkiksi rakennuspalon sammutuksessa.
Sääsuojaus	Sääsuojaus on rakennuksen ympärille rakennettava säänsuoja, joka ehkäisee veden ja lumen, sekä tuulen pääsemisen rakennustyömaalle.

1 JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten erilaiset rakennetekniset ratkaisut puisissa rakennuksissa vaikuttavat rakennuksen rakenteiden palamiin ja miten rakenteita voidaan suojata palamiselta. Myös se, miten rakenteiden suojaus parantaa rakennuksen palonkestävyyttä tulipalotilanteessa, on yksi tutkimuksessa käsiteltävä asia. Tutkimuksessa selvitetään olemassa olevia rakenneratkaisuja sekä ratkaisuja, mitä maailmalla on käytössä. Suomessa puurakennusten rakenteiden (seinät, katto, ala-, väli- ja yläpohjat) suojaamiseen tulee käyttää lain määäämiä suojausmenetelmiä. Suojausmenetelmien avulla estetään tulipalosta aiheutuva rakenteellisen lujuuden menetys sekä tulipalon leviäminen rakennuksen eri osasta toiseen. Suojauksen toteutus riippuu aina kohteesta, ja kohde pitää olla myös suunniteltu niin, että pelastuslaitoksen on helppoa ja turvallista toimia omissa tehtävissään kohteessa.

Tutkimuksen tilaajana toimii Ideastructura Oy, joka on Suomessa tällä hetkellä viidellä paikkakunnalla toimiva rakennesuunnitteluun erikoistunut yritys. Työkentelen tällä hetkellä yrityksessä, ja työ suunnataan suoraan yrityksen käyttöön tulevissa projekteissa. Tulevissa projekteissa työn esille tuoma ajantasainen lainsäädäntö tulee helpottamaan suunnittelijan tehtäviä, etenkin puisten rakennusten suunnittelussa.

Tutkimuksen tuloksena on kattava selvitys siitä, mitä kaikkia puurakentamiseen liittyviä paloteknisiä erityiskysymyksiä rakennesuunnittelussa pitää huomioida. Rakentamista ohjaa Suomen laki, ja työssä on etsitty laaja-alaisesti tietoa lainsäädännön vaikutuksesta liittyen puurakentamiseen. Tutkimuksessa tuodaan esille, miten lainsäädäntö vaikuttaa rakennesuunnittelun osalta paloteknisiin erityiskysymyksiin. Paloteknisiä erityiskysymyksiä ovat esimerkiksi rakennuksen eri rakenneosien palo-osastointiin, rakennuksen palomitoitukseen ja rakenteiden kantavuuteen tulipalotilanteessa liittyvät kysymykset. Kun rakennusta käydään suunnittelemaan, pitää suunnittelijan tai organisaation tietää palotekniset erityiskysymykset, jotka vaikuttavat rakennuksen paloturvallisuuteen. Paloturvallisuuden kannalta on oleellista tietää, miten rakenteet pystytään suojaamaan tulipalolta ja palon aiheuttamalta lämpösäteilyltä. Nämä

tekijät vaikuttavat rakenteen kestävyYTEEN, kun huomioidaan rakenteen hiilittymisen vaikutus rakenteen kestävyYTEEN.

2 PUUN OMINAISUUDET

Suomi sijaitsee lumi- ja metsäilmastossa, jossa sataa tasaisesti ympäri vuoden ja jossa pakkastalvi ja lämmin kesä vaihtelevat. Ilmaston olosuhteiden takia Suomi on parhaimpia puun kasvualueita maailmassa. Suomen ilmaston lyhyen kasvukauden ansiosta, puut ovat Suomessa kovia, sitkeitä, tiiviitä ja suorasyisiä, joissa jännitys ja puun sisäiset halkeamat ovat vähäisiä. Puuta kasvaa Suomessa vuosittain 103 miljoonaa kuutiometriä, ja puuta hakataan teollisuuden käyttöön vähemmän kuin mitä puuta kasvaa vuosittain lisää. Suomen vuosittainen puun tuotto antaa hyvän mahdollisuuden siihen, miten puurakentamista voidaan edistää Suomessa. (Puuinfo 2020d; Luke 2021.)

Puu on myös ainoa luonnossa kasvava rakennusmateriaali, jolta löytyy lämpöä eristäviä ominaisuuksia ja kyky toimia kantavissa rakenteissa. Puiset pinnat ovat myös esteettisesti näyttäviä. Puun etuja, muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna, ovat keveys, ominaislujuus sekä helppo työstettävyys. Puuta käytetään rakentamisessa eri käyttötarkoituksiin, ja 1.1.2021 voimaan tullut ympäristöministeriön laki 927/2020 mahdollistaa puisen huoneiston sisäpinnassa olevan puun jäävän näkyviin aiempaa ympäristöministeriön lakia 848/2017 enemmän. Puuta käytetään rakennusten runkorakenteissa, ala-, väli- ja yläpohjissa, sisäseinien rungon tuentaan ja erilaisiin pintojen verhouksiin rakennuksen sisä- sekä ulkopuolella. Puinen pinta on myös visuaalisesti näyttävä ja puisen pinnan terveysvaikutuksia on tutkittu monessa tutkimuksessa. Tutkimusten perusteella pystyy havaitsemaan, miten puun rauhoittavat sekä kosketusteknisesti hyvät ominaisuudet luovat viihtyisiä ympäristöjä sekä rakennuksia. (Builderspace s.a.; Puuinfo 2021a; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 927/2020, 24 §.)

3 PUURAKENTAMINEN SUOMESSA

Suomessa on vahva perinne puurakentamisesta erityisesti pientalojen ja hirsi-rakentamisen parissa sekä puun käytölle rakentamisessa. Suomessa on käynnissä ympäristöministeriön johtama Puurakentamisen ohjelma (2016–2022), jonka tarkoituksena on edistää puun käyttöä rakentamisessa

vahvistamalla alan osaamista, kehittää puurakentamisen rakennusmääräyksiä ja tarjoamalla tietoa puurakentamisen hyvistä puolista. Puurakentamisen ohjelman myötä Suomessa on rakennettu enemmän julkisia rakennuksia puusta sekä kehitetty lainsäädäntöä, joka mahdollistaisi puun käyttöä enemmän rakennuksissa ja rakennusten sisäpinnoissa. Puurakentamisen ohjelman tavoitteena on nostaa puun käyttöä julkisessa rakentamisessa niin, että vuonna 2022 puun osuus kaikesta julkisesta rakentamisesta olisi 31 % ja vuonna 2025 puun osuus kaikesta julkisesta rakentamisesta olisi 45 %. Puun käyttäminen rakentamisessa on myös ilmastoteko johtuen puun kyvystä varastoida hiiltä koko rakennuksen elinkaaren ajan. Tämä on tärkeää ajatellen puurakentamisen ohjelman asettamien ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. (Ympäristöministeriö 2021, 5–20.)

Puuhun varastoitu hiili vapautuu ilmakehään vasta rakennuksesta muodostuvan rakennusjätteen polttamisen yhteydessä, jos rakennuksen eri osia ei pystytä käyttämään uudestaan toisaalla. Kiertotalouden kannalta puutuotteiden uudelleenkäyttö mahdollistaa tuotteiden jatkokäytön jossain muussa kohteessa kuin mihin ne on alun perin suunniteltu. Esimerkiksi moduulirakenteisen puisen koulun pystyy purkamaan ja siirtämään toisaalle, tai sen käyttötarcoitusta pystyy muuttamaan halutuksi suhteellisen helposti. Nykyisin rakennukset suunnitellaan muuntojoustaviksi, ja tämä mahdollistaa tilojen laajemmän käytön eri tarkoituksissa kuin mihin rakennus on alun perin suunniteltu. (Ympäristöministeriö 2020, 5–20.)

Puutuote- ja huonekaluteollisuus työllistää Suomessa noin 30 000 henkilöä sekä rakentamisen parissa työskentelee tuhansia henkilöitä. Suurimpia työllistäjiä puutuotesektorilla ovat isot yritykset, kuten Metsä Group, UPM, Stora Enso ja Verso Wood. Nämä yritykset toimittavat tuotteitaan rakennusteollisuuden käyttöön Suomessa ja vievät tuotteitaan ulkomaille rakennusteollisuuden sekä puuelementtiteollisuuden käyttöön. Suomen vahva osaaminen puutuoteollisuudessa on myös tunnettu ympäri maailman, minkä ansiosta Suomesta viedään erilaisia puutuotteita vuosittain merkittävä määrä ulkomaisille toimijoille. Tämä osoittaa sen, miten maailmalla arvostetaan suomalaista puutuoteollisuutta ja sen kykyä tehdä tuotteistaan monikäyttöisiä rakentamisessa tarvittavia tuotteita. Suomalaisesta puusta valmistettujen tuotteiden laatu on tunnettua ympäri maailman, ja Suomessa kasvaneen puun hyvät ominaisuudet,

kuten lujuus ja pitkäkasvukausi, auttavat puutuotteiden jatkojalostuksessa. Eri-
laisia Suomessa valmistettavia puutuotteita ovat esimerkiksi sahatavara, va-
neri, lastulevy, puukuitulevy, insinööripuutuotteet, kuten LVL sekä CLT (kuva
1) ja massiivipuulevyt (kuva 2). (Puuinfo 2020d; Maa- ja metsätalousministeriö
s.a.)



Kuva 1. Erilaisia insinööripuutuotteita, LVL, CLT ja sahatavara (Puuinfo 2020a)

Tuotteiden tekoprosessi insinööripuutuotteissa painottuu ohuiden viilumattojen
liimaamiseen päällekkäin kuumapuristuksella (LVL) tai puristamalla ristiin lii-
matut lautakerrokset toisiinsa vakuumiliimauksen avulla (CLT). Tuotteiden mo-
nikerroksisuus tuo tuotteille hyvän palonkeston, jota pystytään hyödyntämään
myös vaativissa rakennuskohteissa pienen hiililymissyvyyden ansiosta ja ma-
teriaalin hiiltyminen pystytään laskemaan tarkasti. (Puuinfo 2020d.)



Kuva 2. Levytuotteet (Puuinfo 2020b)

Korkea jatkojalostusaste, mikä on insinööripuutuotteille ominaista, tuo tuot-
teille korkeamman hinnan. Korkea hinta kompensoituu rakentamisen

aikataulujen lyhentymisessä, nopeampana, helpompana sekä mittatarkempana rakentamisena. Insinööripuutuotteille ominaista ovat myös tiukat vaatimukset sekä kotimaisissa että ulkomaisissa SFS- ja EN-standardeissa. Metsäteollisuuden osuus koko Suomen tavaraviennistä oli vuonna 2021 18 %. Rahallisesti viennin arvo oli yli 10 miljardia euroa. Suomessa sahatavarasta ja muista puutuotteista menee vientiin 76–83 %. Suomi on onnistunut luomaan itselleen merkittävän aseman puutuotteiden tuottajana, ja markkinoinnin ansiosta tuotteita menee ympäri maailman rakennusteollisuuden käyttöön. Naapurimaista Ruotsissa metsäteollisuuden vienti kasvoi vuonna 2021 15 %:iin ja on arvoltaan 15,5 miljardia euroa. Metsäteollisuus Ruotsissa kattaa yli 10 % Ruotsin kaikesta viennistä. Rahallisesti Suomi on Ruotsia jäljessä, kun verrataan viennin arvoa kokonaisuutena, mutta kun keskitytään metsäteollisuuden tuotteiden osuuteen viennistä, Suomi vie puutuotteita maailmalle Ruotsia enemmän. (Maa- ja metsätalousministeriö s.a.; Maaseudun tulevaisuus 2022; Metsäteollisuus 2021.)

Puutuotteiden markkinoiden ennustetaan kasvavan Suomessa ja maailmalla, koska ilmastotavoitteet ohjaavat yhä enemmän energiatehokkaampaan rakentamiseen. Koska rakentaminen puutuotteista on painottunut teollisiin puurakennustuotteisiin, on tämän toiminnan jatkojalostamisen ympärille Suomessa rakentunut vuosien saatossa vahva osaaminen. Esimerkkinä puurakentamisen puutuoteosaamisesta ovat Metsä Woodin kertopuutuotteet (LVL), jotka ovat mittatarkkoja ja valmistetaan asiakkaan haluamien mittojen mukaisesti. Myös CLT:n käyttö julkisessa rakentamisessa on yleistynyt ja hyvänä esimerkkinä tuotteiden käytöstä on Wood City Jätkäsaarella Helsingissä (kuva 3).



Kuva 3. Wood City Helsingin Jätkäsaarella (SRV:n toimitilat s.a.)

Lainsäädännön avustaessa Suomessa pystytään käyttämään puuta myös rakennusten sisäpintojen verhoukseen pelkillä puutuotteilla, kuten esimerkiksi CLT-elementeillä. Teollinen valmistustapa moduulirakentamisessa tuottaa tuotteille kosteusteknisesti hyvän toimivuuden, kun tuotteet valmistetaan teollisessa ympäristössä alusta loppuun. Valmistustavasta johtuen tuotteet ovat tasalaatuisempia ja tuotteiden kosteuskäyttäytyminen on helpommin hallittavissa kuin rakentaessa rakennustyömaalla. Puusta tehdään myös eri valmistajien toimesta erilaisia moduuliratkaisuja rakennusteollisuuteen. Valmiiden moduuliratkaisujen avulla pystytään nopeuttamaan rakennuksen rakentamista mikä muuttaa rakentamista kustannustehokkaammaksi ja nopeammaksi. Mitä valmiimpana rakennuksen eri osat saadaan tehtailta tuotua rakennustyömaalle, sitä vähemmän rakentamiseen menee aikaa ja tämä alentaa rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia.

Rakennusajan nopeuttaminen on myös tärkeä tapa saada tehostettua työmaan aikaista toimintaa ja tässä moduulirakentaminen tuo lisäarvoa rakentamiseen. Moduulirakentaminen on yleistynyt Suomessa huomattavasti ja eri valmistajilta löytyy paljon erilaisia vaihtoehtoisia rakennusratkaisuja erilaisiin kohteisiin ja rakennuskokonaisuuksiin. Näitä rakennusratkaisuja voidaan hyödyntää rakennuksen seinien, kattojen ja ala- sekä välipohjien teossa. Työmaalla pystytään myös rakentamaan kosteuskäyttäytymiseltään helpommin hallittavia rakennuksia, kunhan muistetaan kiinnittää huomiota rakennuksen ympäristön suojaamiseen ja huputtamiseen. Huputtaminen, eli säänsuojaus, on helppo ja toimiva ratkaisu erilaisten sääilmiöiden pitämiseksi rakennustyömaan ulkopuolella. (Rakentamisen kosteudenhallinta s.a.)

3.1 Puurakentamisen terveysvaikutukset

Puurakentaminen ohjelma 2016–2022 pyrkii monipuolistamaan ja kasvattamaan puun käyttöä sekä puun jalostusarvoa. Puurakentamisen ohjelma on hyvä osoitus siitä, miten Suomen hallitus sitoutuu kasvattamaan puurakentamisen määrää Suomessa tulevien vuosien aikana. Puurakentamisen lisääminen on tärkeää myös ympäristön kannalta, ja puurakentamisen lisääminen tuottaa pidemmällä aikavälillä viihtyisämpiä asumisympäristöjä. Suomessa on tehty tutkimuksia siitä, miten puurakenteiset ympäristöt ovat hiljaisempia ja rauhallisempia verrattuna vastaaviin betonista rakennettuihin rakennuksiin.

Kuhmon puukoulun tutkimuksessa huomattiin, miten puukoulun oppilaiden stressitaso on alhaisempi kuin betonikouluissa. Tutkimuksesta pystyy havaitsemaan, miten puun rauhoittava vaikutus sopii hyvin julkiseen rakentamiseen. Kuhmoon rakennetusta Tuupalan puukoulusta on saatavilla tarkempaa tutkimustietoa, jota voidaan hyödyntää tutkiessa puun terveysvaikutuksia julkisten tilojen rakentamisessa. Tutkimuksen pohjalta on helppo havaita, miten puun käyttäminen rakennuksissa ja rakennusmateriaalina tuottaa ihmisen terveydelle hyviä vaikutuksia. Puulla on myös muita hyviä ominaisuuksia kuten ilmastokosteuden ja lämpötilan vaihteluiden tasaisuus sekä akustiset ominaisuudet. Kuhmossa sijaitsevassa Tuupalan koulussa tehdyssä tutkimuksessa on korostettu, miten luokkahuoneiden melu on puisessa koulussa pienempi johon puupintojen hyvästä akustiikasta sekä vaimentavista lattiamatoista, kun verrataan puista koulua vastaavaan betonikouluun. (Biotalous s.a.; Builderspace s.a.; Jokinen ym. 2021; Kuhmo s.a.; Ympäristöministeriö 2020, 4–8.)

3.2 Hiilijalan- ja hiilikädenjälki

Käsitteenä hiilijalan- ja hiilikädenjälki eroavat toisistaan. Hiilijalanjälki käsite on suunniteltu mittariksi, jolla voidaan arvioida ilmaston lämpenemistä, sekä tästä aiheutuvia negatiivisia ympäristövaikutuksia. Hiilijalanjälki vaikuttaa myös rakennuksen energiatehokkuuden paranemiseen. Energiatehokkuus paranee käytettäessä tehokkaampia lämmöneristeitä, mikä vaikuttaa rakennuksen lämmitykseen kuluvan energian pienenemiseen. Energian kulutuksen aleneminen pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä. Hiilikädenjälki on käsitteenä uudempi, ja tällä käsitteellä tarkoitetaan päästövähennysvaikutuksia, joilla voidaan edesauttaa ilmastonmuutoksen torjumista. Esimerkiksi energiatehokkuuden parantaminen rakennuksessa on osa positiivisia ilmastovaikutuksista joita hiilikädenjälki pyrkii mittaamaan. Hiilijalan- ja hiilikädenjälkeä ymmärtää parhaiten ajatteleamalla sen siten, että jalanjäljessä otetaan velkaa ja kädenjäljessä maksetaan velkaa. Velalla tässä tapauksessa tarkoitetaan ilmastolle aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Rakennusten hiilijalan- ja kädenjäljen vertailua on käyty ottamaan huomioon vuoden 2017 lain uudistuksessa. (Behm ym. 2021, 6; Erävuoma 2019; Mölsä 2020; Yle 2022.)

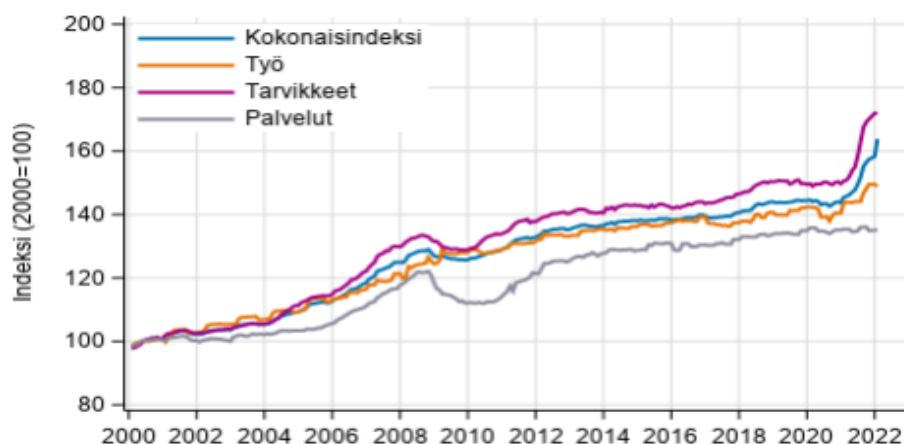
Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2017 vähähiilisen tiekartan, jonka mukaan rakennusten elinkaaren vähähiilisyys tulee osaksi rakennusmääräyksiä 2020-

luvun puoliväliin mennessä. Vähähiilinen tiekartta ohjaa rakentamista Suomessa vähähiilisempään suuntaan ja tämä tarkoittaa puurakentamisen lisääntymistä tulevaisuudessa, kuten Ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelma vuosille 2016–2022 tuo asian esille. Rakentamiseen käytettyjen materiaalien hiilipäästöjä laskee jo se, että rakennetaan tehokkaampia tiloja. Tehokkaampi tilankäyttö tarkoittaa sitä, että vähemmän neliötä ja kuutioita on hukka-käytössä. Tehokkaampaa tilankäyttöä on myös ottaa käyttöön tyhjillään olevia tiloja joko tilojen käyttötarkoitusta muuttamalla tai purkavalla täydennysrakentamisella. Puun toimiessa hiilivarastona saadaan päästöjä, joita syntyy rakentamisen yhteydessä pienennettyä, koska puu sitoo hiiltä koko elinkaarensa ajan ja vapauttaa siihen kertyneen hiilivaraston vasta puuta poltettaessa. (Mölsä 2020; Ympäristöministeriö 2021, 5.)

3.3 Puurakentamisen kustannukset

Suomessa ja maailmalla tutkitaan, kuinka paljon puurakentamisen hinta verrattuna perinteisistä materiaaleista rakentamiseen eroaa kustannuksiltaan. Perinteisiä rakennusmateriaaleja ovat betoni, teräs ja luonnonkivi. Perinteisiin rakennusmateriaaleihin verrattuna kalleus on edelleen puurakentamisen isoin ongelma. Tilastokeskuksen mukaan rakennuskustannukset nousivat vuoden 2022 tammikuussa 6,9 % vuodentakaisista rakennuskustannuksista. Kuvassa 4 näkyy, miten hintojen kehitys on ollut nousujohteista rakennuskustannuksia vertailevilla indekseillä ja miten vuoden 2021 aikana on tapahtunut todella suurta hintojen nousua kaikilla materiaaleilla.

Rakennuskustannusindeksin pitkän aikavälin kehitys



Kuva 4. Rakennusmateriaalien hintojen nousu jatkui heinäkuussa nopeana (Suomen virallinen tilasto (SVT) 2022)

Kustannusten nousun johdosta joutuvat yritykset miettimään rakentamisen kannattavuutta, mikä heijastuu suoraan rakennusmateriaalien valintaan. Vaikkakin betonista rakentaminen on suomalaisille tuttu tapa rakentaa ja betonia sekä sen toimintaa eri rakennusosissa ja rakennusolosuhteissa on tutkittu vuosikymmeniä, on puun osuus rakentamisessa lisääntymässä. Tutkimustiedon lisääntyminen puurakentamisessa auttaa myös puun käytön yleistymiseen rakentamisessa. Vaikkakin puu ei rakennuskustannusten hinnalla pärjää muille perinteisemmille rakennusmateriaaleille kuten betonille, on puurakentaminen nopeampaa ja ympäristöystävällisempää, kun puuta vertaa perinteisistä rakennusmateriaaleista rakentamiseen. (Mölsä 2021; Suomen virallinen tilasto (SVT) 2022.)

Hintojen noususta johtuvat kustannukset vaikuttavat myös suomalaisten rakentajien päätöksiin. Korkeat hinnat saattavat hillitä puun valintaa rakennusmateriaaliksi ja rajoittaa rakentamisen aloittamista. Hintojen kehityksen vaikutukset heijastuvat rakentamisessa myös muidenkin materiaalien kuin puun osalta. Tilastokeskuksen mukaan kustannusten nousua on tapahtunut myös tarvikkeiden osalta 10,8 %. Tarvikkeiden hinnannousun vaikutus on ollut suurinta rakennustyömailla erilaisten komponenttien, kuten kiinnikkeiden ja puutuotteiden osalta. Puurakenteisten rakennusten tarvitsemien materiaalien hintojen nousu vaikuttaa negatiivisesti rakentamisen kannattavuuteen, minkä takia rakentamisen ennakoidaan vähenevän huippuvuosien tasolta. (Maaseudun tulevaisuus 2021; Suomen virallinen tilasto (SVT) 2022.)

3.4 Rakennuskustannushintojen vertailu

Ulkomailla on vertailtu rakentamisen kustannuksia puu- ja betonitalojen välillä. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan vuonna 2017 puutalon rakennuskustannus oli keskimäärin 2 960 euroa kerrosneliömetriltä ja vastaavasti betonirakennuksen neliökustannus oli 3 640 euroa. Metsälehdessä artikkelista huomaa, miten puurakenteisen talon rakennuskustannukset ovat Ruotsissa yli 20 % vähemmän kuin betonitalon. Ulkomailla kustannuksia tutkiessa on myös huomioitu, miten rakennusmateriaalin valinta vaikuttaa rakennuksen vakuutusarvoon. Suomessa vastaavasti tehtyjen tutkimusten perusteella rakentamiskustannukset ovat puun kannalta epäedullisempia. (Aatsalo, 2022; Builderspace s.a.; Kamk 2020, 11; Metsälehti 2020.)

Suomessa betonikerrostalon rakennuskustannukset olivat 3 123 euroa asuntoneliöltä ja vastaavasti puukerrostalon 3 376 euroa asuntoneliöltä. Turkuun vuonna 2021 valmistuneiden ulkomuodoltaan identtisten, puisen ja betonisen kerrostalon hintojen vertailua on suoritettu rakennuttajan Mangroven toimesta. Puisen talon rakennuskustannukset ovat olleet noin 10–15 % enemmän, kun verrataan rakennuskustannuksia vastaavaan betonitaloon. Kustannusten erot ovat huomattavia, mikä omalta osaltaan lisää rakennuttajien päätöksiä rakentaa kustannushinnaltaan edullisemmasta materiaalista rakennuksia. Hintaeroa naapurimaiden välillä pelkästään rakennuskustannuksia vertailtaessa huomaa hyvin, miten Suomessa puurakentamista pidetään kalliimpana vaihtoehtona verrattaessa puista rakennusta vastaavaan betoniseen rakennukseen. Puiset rakennukset eivät pysty kilpailemaan hinnalla, mutta ne pystyvät kilpailemaan nopeammalla valmistumisajalla, kun verrataan puisen ja betonisen rakennuksen valmistumisaikoja. (Aatsalo, 2022; Berglund, 2021; Builderspace s.a.; Kamk 2020, 11; Metsälehti 2020.)

Kustannuksia vertaillessa tulee kiinnittää huomiota myös materiaalin hintaan. Puu on yleisesti ottaen halpaa, mutta puun jatkojalostaminen nostaa puun hintaa. Perinteinen sahatavara on yleensä vähemmän jatkojalostettua, mutta eri insinööripuutuotteet puolestaan ovat korkeasti jalostettuja, mikä taas vaikuttaa niiden hintaan. Myös betonin raaka-aineiden hinta on kasvanut ja mitä pidemmälle betonia jalostaa lisäämällä siihen erilaisia lisäaineita, jotka vaikuttavat betonin ominaisuuksiin, kuten kestävyYTEEN ja kovettumiseen, sitä pidemmälle jatkojalostetulle betonille lisää kustannuksia. Mitä pidemmälle tuote on jatkojalostettu, sitä paremmat ominaisuudet sillä on. Paremmat ominaisuudet vaikuttavat sitten kustannuksiin. Mitä tehokkaammin pystytään yhdistelemään eri materiaalien ja eri valmistajien tarjoamia ratkaisuja, sitä paremmin saadaan kustannuksiltaan toimivia rakennusratkaisuja luotua sekä kehitettyä olemassa olevia ratkaisuja paremmiksi ja taloudellisesti kannattaviksi. (Giatec 2020.)

Suomessa lainsäädäntö ei ole mahdollistanut yli 56 metriä korkeiden rakennusten rakentamista puusta, mutta ulkomailla on valmistettu korkeita rakennuksia käyttäen puuta niiden pääasiallisena rakennusmateriaalina. Pohjoismaissa on rakennettu korkeita puisia rakennuksia, ja puun käyttöä ollaan lisäämässä korkeiden rakennusten rakennusmateriaalina. Hyvänä esimerkkinä korkeasta puutalosta on Mjøstårnet, joka sijaitsee Norjassa ja on 18-

kerroksinen, 85,4 metriä korkea, maailman korkein puusta rakennettu rakennus. Tämä rakennus on hyvä esimerkki siitä, miten puu sopii myös korkeidenkin rakennusten rakennusmateriaaliksi. Suomessa vastaavasti Joensuussa sijaitseva Lighthouse on Suomen korkein 14-kerroksinen ja 50 metriä korkea puukerrostalo. (Moelven s.a.; Rakennuslehti 2019.)

3.5 Hybridirakentaminen

Suomessa käytetään rakentamiseen erilaisia materiaaleja, joista yleisimpiä ovat betoni, puu, teräs, tiili ja luonnonkivi. Jokaisella materiaalilla on oma paikkansa eri rakenteissa ja rakentamisen eri vaiheissa. Yhdistelemällä eri rakennusmateriaaleja toisiinsa, käyttäen niiden parhaita ominaisuuksia, saadaan tehtyä monipuolisia hybridirakennuksia. Arkkitehtuurillisesti uudet hybridirakennukset, joissa yhdistetään kaikkien käytössä olevien materiaalien hyviä puolia, yleistyvät Suomessa, mikä tuo uusia mahdollisuuksia sekä suunnitteluun että arkkitehtoniseen näkyvyyteen. Puupintojen näkyvillä olo on ominaista hybridirakennusten sisä- ja ulkopinnoissa. Kuvassa 5 näkyvä Helsingin uusi pääkirjasto Oodi on hyvä esimerkki uudesta arkkitehtisuunnasta, jossa huomioidaan puun käyttö rakennuksen ulkopuolella ja sisätiloissa. Puun käyttäminen etenkin kaupunkiympäristössä on hieno asia, mikä on osoitus siitä, miten puustakin saadaan valmistettua näyttäviä monimuotoisia rakennuksia.



Kuva 5. Helsingin keskuskirjasto Oodi (Rakennuslehti 2021)

Puurakentamisessa käytetään betonia rakennuksen perustuksien tekemiseen ja rakennuksen jäykistämiseen, esimerkiksi hissikuilut toimivat yleisesti rakennusta jäykistävänä rakennusosana. Terästä käytetään kiinnikkeisiin ja tuomaan jäykkyyttä sekä kestävyyttä rakenteille. Puuta taas käytetään erilaisiin rakennuksen rungon rakenteisiin, sisäpuolisiin väliseiniin, ala-, -väli- ja yläpohjiin sekä sisä- tai ulkoverhoukseen. Puun käyttö julkisivuissa vaatii kosteus- sekä palosuojausta puisille rakenteille, jotta niiden palokäyttäytyminen pystytään pitämään lain vaatimissa suojaluokissa. Puun käyttö vaikuttaa myös rakennuksen hiilijalan- ja hiilikädenjälkeen. (KAMK 2020, 20; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 927/2020, 23–27 §.)

4 PALOTURVALLISUUS

Kun rakennusta käydään suunnittelemaan, on suunnittelijoiden huolehdittava tehtäviensä mukaisesti rakennuksen suunnittelusta niin, että rakennus käyttötarkoituksensa mukaisesti täyttää paloturvallisuudelle asetetut olennaiset tekniset vaatimukset. Paloturvallisuudelle asetettuja teknisiä vaatimuksia ovat rakenteiden kantavuus, rakenteiden osastoivuus ja rakenteiden palonkestävyys. Paloturvallisuuden vaatimukset täyttyvät myös jos rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät palotilanteet. Vaatimusten täyttyminen on todennettava tapauskohtaisesti ja huomioiden rakennuksen ominaisuudet sekä käyttö. Suomessa tapahtuu vuosittain keskimäärin yli 10 000 rakennuspaloa. Kaikki rakennuspaloista johtuvat tulipalot on kerätty yhteen pelastuslaitoksen hallitsemaan pronto-tietokantaan, josta pystyy esimerkiksi katsomaan rakennuspalojen osuuden kaikista tulipaloista. Tietokannassa näkyvät kaikki Suomessa tapahtuneet pelastuslaitoksen tehtävät eri vuosina. Rakennuspalot täyttävät yli puolet Suomessa rekisteröidyistä pelastuslaitoksen tehtävistä vuosittain. Tulipalojen määrän vuoksi on tärkeää kiinnittää huomiota rakennuksen suunnitteluun siten, että siitä tehdään alusta lähtien mahdollisimman paloturvallinen. (Pelastustoimi 2022a; Pelastustoimi 2022b; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 3 §.)

4.1 Palaminen

Palaminen on ilmiö, jossa aine yhtyy happeen siten, että siitä syntyy korkea lämpötila ja valoilmiö. Palamisella tarkoitetaan sitä, miten materiaali alkaa

reagoimaan lämpöön luovuttamalla palavia kaasuja, miten materiaali muuttuu palamisen vaikutuksesta ja miten materiaalin kestävyys muuttuu palon edessä. Palaminen tarvitsee neljää perusedellytystä. Nämä palamisen perusedellytykset ovat polttoaine, happi, lämpötila ja häiriintymätön kemiallinen reaktio. Kun nämä edellytykset täyttyvät, muodostuu tulipalo, kuten kuvassa 6 on esitelty. (Hyttinen ym. 2008, 32–38; Lahtela 2021, 7)



Kuva 6. Liekkipalon perusedellytykset (Hyttinen ym. 2008, 17)

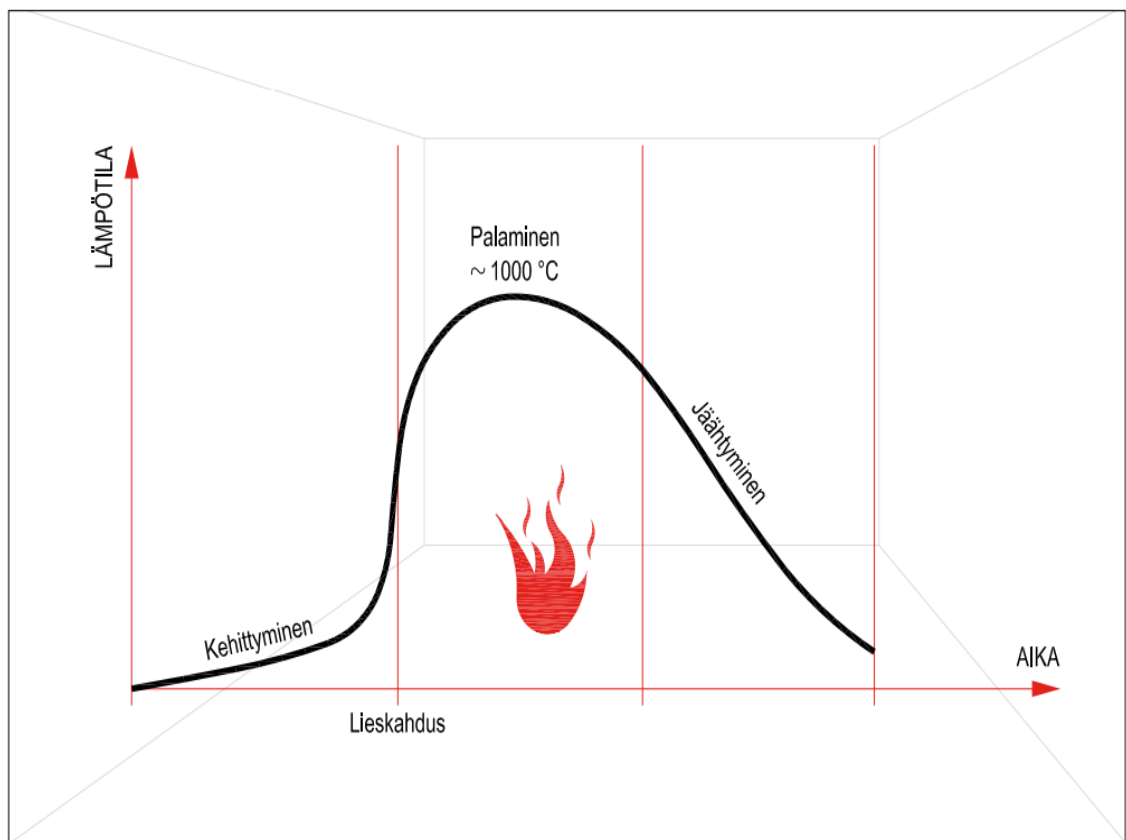
Kun poistetaan yksi palamisen vaatima perusedellytys, palaminen hiipuu. Esimerkiksi tukahduttamalla tilasta happi menettää palaminen yhden tarvitsemansa perusedellytyksensä ja hiipuu. Jos huoneistopalossa lämmön vaikutuksesta pääsee jokin rakennuksen osa, esimerkiksi ikkuna tai ovi hajoamaan, pääsee tästä lisää ilmaa huoneistoon ja palaminen kiihtyy saadessaan palamisreaktioon lisää happea. Rakennuspaloissa palaminen tukahdutetaan veden tai palon tukahdutukseen suunnitellun vaahdon avulla. Puisissa kerrostoiloissa olevat automaattiset palojärjestelmät toimivat hyvin tulipalon sammutuksessa. Automaattisen palojärjestelmän havaitessa tulipalon, automaattinen palojärjestelmä tukahduttaa palon hyvinkin aikaisessa vaiheessa. (Hyttinen ym. 2008, 32–38; Lahtela 2021, 7)

Ihmiselle vaarallisimpia palamisesta aiheutuvia terveysriskejä ovat materiaalin palaessa materiaalista vapautuvat savukaasut sekä kova lämpö, joka palosta aiheutuu. Savukaasut sisältävät myrkyllisiä yhdisteitä, jotka ovat elimistölle vaarallisia hengitettynä, mutta myös ihon kautta imeytyvät myrkylliset yhdisteet ovat elimistölle vaarallisia. Savu heikentää myös näkyvyyttä huoneistossa ja vaikeuttaa uloskäynnin löytämistä. Osa huoneistopaloissa kuolleista henkilöistä on löydetty ulko-oven edustalta, kun henkilö ei ole enää päässyt huoneistosta ulos, vaan on tuupertunut savun ja lämmön aiheuttaman hapenpuutteen vaikutuksesta uloskäynnin eteen pääsemättä asunnosta ulos. Hyvää varautumista mahdolliseen tulipaloon on hankkia huoneistoon palopeitto, jolla pystyy tukahduttamaan esimerkiksi ruuan laitton yhteydessä syntyneet pienet tulipalot helposti ja nopeasti. (Yle 2010.)

Kerrostaloissa on oltava kerroksittain merkintä sammutuskalustosta. Käsisammuttimet ovat yleisesti käytössä kerrostaloissa, erilaisten pikapalopostien ohella. Nykyisin kerrostalot suunnitellaan myös palon sammuttamista avustavien välineiden avulla, jolloin rakennukseen on suunniteltu palokunnan avuksi kerroksittain sijaitsevat valmiit kiinteät sammutusvesiputkistot. Kiinteät sammutusvesiputkistot voivat sijaita kerrostasolla, rakennuksen ulko-oven läheisyydessä tai rakennuksen katolla. Sammutusvesiputkistojen sijoittelu on kohteesta riippuvainen, miten ja mihin sammutusvesiputkistot sijoitetaan. Kaikista parhain ja pelastajan toimintaa nopeuttava tapa on sijoittaa kiinteät sammutusvesiputkistojen liittimet jokaiseen kerrokseen. Tämä auttaa pelastajia saamaan nopeasti paloletkuihin vettä, ja pelastajat säästävät korkeiden kerroksujen vaatimien pitkien sammutusvesilinjojen tekemiseltä. Aina tämä ei ole kuitenkaan mahdollista johtuen vanhemmasta rakennuskannasta Suomessa, mutta uusia rakennuksia suunnitellessa tämä tulee huomioida osaksi rakennuksen tulipaloihin varautumista. On myös tärkeää ajatella, miten investoimalla paloturvallisuuden parantamiseen ja sen vaatimiin laitteistoihin pystytään säästämään parhaimmassa tapauksessa ihmishenkiä. Pelastustoiminnan avustamiseen tarkoitetut järjestelmät ovat tärkeitä suunnitteluun liittyviä tekijöitä, jotka pitää ottaa huomioon rakennusta suunnitellessa. (Latvala 2017, 13–14; Oulu-Koillismaan pelastuslaitos 2019, 5; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 927/2020, 43 §)

4.2 Tulipalo

Tulipalo on yleisesti kolmivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa, jota kutsutaan syttymisvaiheeksi, lämpötila kohoaa +400 °C:een. Toisessa vaiheessa huoneen kerätessä tarpeeksi lämpöä alkavat huoneistossa olevat ikkunat hajota ja palo saa lisää happea. Tämä aiheuttaa sen, että palokaasut syttyvät räjähdysmäisesti. Palon toisessa vaiheessa huoneen lämpötila kohoaa +1100–1200 °C:een. Tämän vaiheen seurauksena, kun kaikki palava materiaali on palanut, tapahtuu palon kolmas vaihe eli jäähtymisvaihe. Jäähtymisvaiheessa lämpötila laskee nopeasti. Pelastuslaitoksen toiminnan kannalta, mitä aikaisemmassa vaiheessa pelastusyksikkö pääsee kohteeseen ja pääsee aloittamaan kohteen sammutusta, vaikuttaa tämä siihen, miten tulipalossa aiheutuvien vahinkojen määrä saadaan minimoitua. Rakennusten palamista ennalta ehkäisevät menetelmät, kuten puisten rakennusten sprinkeleröinti, auttavat siinä, miten palaminen saadaan tukahdutettua rakennuksessa olevien paloteknisten järjestelmien avulla. Kuvassa 7 on esitelty, miten palamisen eri vaiheet tapahtuvat, kun huoneistoa ei ole varustettu sprinklauslaitteistolla. (Latvala 2017, 13; Siikanen s.a, 659)



Kuva 7. Palon kehittymisen yleiskuvaus sprinklaamattomassa asuinhuoneistossa (Lahtela 2021, 8)

Aina spinkleröinti ei ole ainoa mahdollinen paloa hillitsevä tekijä, ja tämä joh-
tuu Suomessa olevasta rakennuskannan iän vaihtelusta ja rakennusten val-
mistumisen ajankohtaisesta lainsäädännöstä. Myös rakennuksen rakentami-
seen käytetty materiaali vaikuttaa siihen, miten tulipalo käyttäytyy sen sisällä.
Betonisen ja puisen rakennuksen palokäyttäytyminen on täysin erilaista joh-
tuen rakenteiden materiaalien reagoimisesta tulipaloon. (Latvala 2017, 13;
Siikanen s.a. 659.)

4.3 Sammutusmenetelmät

Käyttämällä oikeaoppisia sammutusmenetelmiä pystytään paloa rajoittamaan
ja sammuttamaan nopeasti. Tavanomaisessa sammutuksessa huoneistopalon
sammutus aloitetaan suuntaamalla jatkuva sumusuihku palavan tilan kattoon
huoneiston oviaukon läheltä. Sammutettaessa sammutusputken avulla tehty
sumusuihku suunnataan huoneiston ovelta ensin huoneiston oikeaan yläkul-
maan ja sitten huoneiston vasempaan yläkulmaan. Näin toimiessa jäähdyte-
tään huoneistossa olevia palokaasuja. Tämän jälkeen ovi suljetaan ja tarkkail-
laan tilannetta. Tätä vaihetta toistetaan niin pitkää kunnes huoneiston lämpö-
tila on laskenut ja huoneistoon on pelastajien turvallista mennä aloittamaan ti-
lan savutuuletus ja sammutus. Savutuuletus voidaan tehdä ikkunasta ulos
suunnattavalla vesisuihkulla, jossa käytetään mahdollisimman leveää suihku-
kulmaa, jonka avulla tilaan luodaan alipaine. Alipaineen seurauksena tilassa
olevat savukaasut pakenevat ikkunan kautta pois huoneistosta. Vaihtoehtoi-
sesti voidaan käyttää erilaisia savutuulettimia pelastuslaitoksen yksiköiden au-
toista. Tilaa voidaan myös tuulettaa avaamalla huoneiston ikkuna sekä huo-
neiston ovi raolleen. (Grönberg ym. 2011, 11; Hyttinen ym. 2008, 165–173.)

Tilan alipaineistus tuo myös esille mahdolliset palopesäkkeet, jotka pelastaja-
pari sammuttaa vedellä. Palon alkamisesta palon hiipumiseen syntyy sisäpin-
tojen materiaaleista myrkyllisiä savukaasuja sekä lämpöä, joihin pelastajien pi-
tää varautua käyttämällä oikeaoppisia suojarusteita mennessään sammut-
tamaan tulipaloa. Oikeaoppisiin suojarusteisiin kuuluvat esimerkiksi väliasu
sammutusasun alle, sammutusasun, palosaappaat, palohanskat, kypärän alus-
huppu, sammutuskypärä, paineilmalaitteisto sekä käytettävissä oleva sammu-
tusvälineistö. Sammutusvälineistö pitää sisällään sammutusletkut,

raivausvälineet, suihkuputket sekä lämpökameran. (Grönberg ym. 2011, 11; Hyttinen ym. 2008, 165–173.)

Palon sammutuksessa on huomioitavaa myös se, miten kohteet, joissa palamista esiintyy, eivät ole samanlaisia. Samanlaiset rakennukset, jotka ovat eri vuosikymmenen rakennusmääräysten mukaan rakennettuja, ovat erilaisia sammuttaa pelastajan näkökulmasta. Vanhemmissa taloissa on käytetty erilaisia materiaaleja, jotka voivat aiheuttaa vielä oman vaaratekijänsä sammutuksen jälkeen tapahtuvan raivauksen yhteydessä. Asbestin käyttö on ollut yleistä vanhemmissa rakennuksissa. Asbesti on terveydelle erittäin vaarallinen aine, etenkin kun asbestipitoinen materiaali pääsee hajoamaan. Tähän on aina varauduttava käyttämällä oikeaoppisia sammutusvälineitä, vaikka tulipalo on jo saatu sammutettua. Myös se, missä vaiheessa tulipalopaikalle ensimmäinen pelastusyksikkö saapuu, vaikuttaa palon sammutukseen ja siihen, miten palopaikalla toimitaan. Mitä aikaisemmassa vaiheessa pelastusyksikkö pääsee kohteeseen ja pääsee aloittamaan sammutuksen, sitä nopeammin saadaan palo hallituksi ja päästään sammuttamaan tulipalo. Myös tulipalon sijainti rakennuksessa vaikuttaa siihen, miten pelastustoimintaa suunnitellaan ja päästään toteuttamaan käytännössä. Rakennuksen korkeus on yksi haaste pelastustoiminnalle ja tähän on syytä varautua hälytyspaikalla. (Latvala 2017, 9–12.)

Kerrostaloissa ylemmissä kerroksissa sijaitseva palo vaikuttaa siihen, miten pelastajan pitää huomioida tulipalon sammutuksesta aiheutuvat riskit. Tämä tarkoittaa sitä, jos rakennus on korkea kerrostalo, on siinä paljon enemmän asioita mitä, pitää huomioida sammutustehtävän yhteydessä kuin rakennuksessa, joka sijaitsee maantasossa. Maantasolla sammutus voidaan huoneistopalossa tehdä myös ulkokautta. Ulkokautta huoneistopalon sammutus voidaan suorittaa poraamalla rakennuksen huoneiston ikkunankarmiin reikä ja rajoittaa paloa tähän käyttöön erikseen suunnitellulla pistosuihkuputkella. Tähän käyttöön suunniteltu pistosuihkuputki voidaan liittää myös jauhesammuttimeen ja sammuttaa tulipaloa jauhesammuttimen avulla. Ulkokautta tulipalon rajoittaminen ei poista rakennuksen sisälle menemistä ja sisätiloissa tehtävää sammuttamista, mutta tämä toimii hyvänä apukeinona palon eri vaiheiden minimoimisessa. Tämä mahdollistaa myös pelastajille turvallisemman

toimintaympäristön, missä suorittaa sammutushyökkäys maantasolla sijaitsevaan rakennukseen, jonka sisäpuolella on tulipalo. (Latvala 2017, 22–27.)

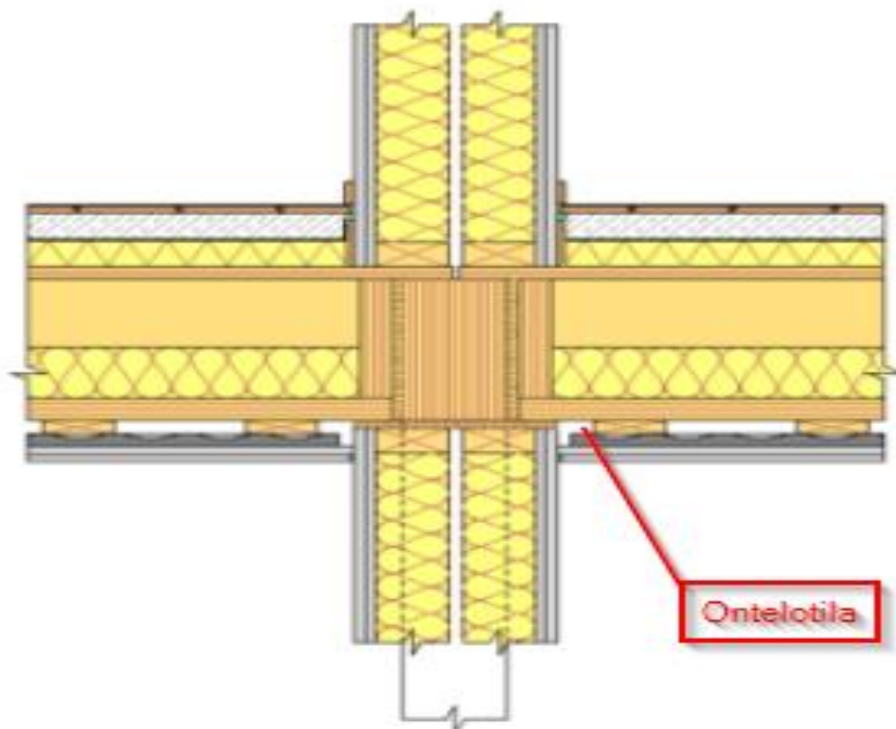
5 PALOTEKNINEN SUUNNITTELU

Paloteknisen suunnittelun lähtökohtana on Ympäristöministeriön asetus 848/2017 rakennusten paloturvallisuudesta. Palotekninen suunnittelu ottaa kantaa rakennusten kantavuuden säilyttämiseen, palon rajoittamiseen palo-osastoihin, palon kehittymisen rajoittamiseen, palon leviämisen estämiseen naapurirakennuksiin, poistumiseen palon sattuessa, paloteknisiin laitteistoihin sekä sammutus- ja pelastustehtävien järjestelyyn. Palotekninen suunnittelu on tärkeä osa rakennusten suunnittelua ja suunnittelijan täytyy tietää, miten palomääräysten mukaisesti pystytään rakentamaan rakennuksia lain vaatimalla tavalla. Pelastuslain 9 momentissa säädetään asetuksia, jotka vaikuttavat rakennuksen palo- ja poistumisturvallisuuteen. Pelastuslain 29.4.20211/379 momentit 9–21 ja Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 momentit 2–43 ohjaavat rakennuksen suunnittelua turvallisuusnäkökohdat huomioiden. Paloturvallisuutta parantavien, kuten automaattisten sammutuslaitteistojen, kunnossapito on myös tärkeä asia paloteknisiä erityiskysymyksiä huomioidessa. Paloteknisiä erityiskysymyksiä ovat ontelotiloissa olevat palokatkot, puujulkisivun palokatkot, palosuojakäsittelyt ja sprinklaus. (Puuinfo 2020a; Pelastuslaki 29.4.2011/379, 9–21 §; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 2–43 §.)

5.1 Onteloiden palokatkot

Onteloilla tarkoitetaan rakennuksen seinien väliin jääviä tyhjiä tiloja joita, muodostuu rakentamisen yhteydessä. Ontelot ovat yleensä rankarakenteiden ja levytyksen väliin jääviä tyhjiä tiloja. Onteloilla tarkoitetaan myös alas laskettujen kattojen tai nostettujen lattioiden sekä niiden ala- tai yläpuolella olevien rakenteiden väliin jääviä tiloja. Ontelotiloissa olevien palokattojen tehtävänä on myös estää palon leviäminen rakennuksen sisällä viereisiin palo-osastoihin. Yleisimmin rankarakenteissa rakennuksissa osastoivuus toteutetaan rakennuksen rungon molemmilla puolilla olevin paloa kestävin levytyksin sekä villoittamalla rungossa olevat ontelot paloa kestävällä villalla. Onteloita käytetään rakentamisessa hyödyksi tuomalla niiden kautta rakennuksen tarvitseman putkitukset ja kaapeloinnit. Koska ontelotilassa kulkee erilaisia putkistoja

ja kaapelointeja, on niiden palosuojaus tärkeää huomioida kun käydään suunnittelemaan palokatkoja. Palokatkojen tulisi olla ontelotiloissa sellaisia, että ne estävät palon leviämisen palo-osastosta toiseen. Talotekniikan osalta putket, kaapelit ja muut läpiviennissä käytettävät tuotteet tulee varustaa palokatkoilla. Tyypillisiä palokatkotuotteita, joita käytetään palokatkojen luomiseen, ovat erilaiset tiivistysmassat, palokatkovaahdot, palossa laajenevat nauhat sekä palokatkotulpat. (Hakkarainen ym. 2004, 45–54; Lahtela 2021, 41–42; Suomen palokatko yhdistys, 2019.)



Kuva 8. Puuinfo 2020 rakennedetaljeja (Puuinfo 2020)

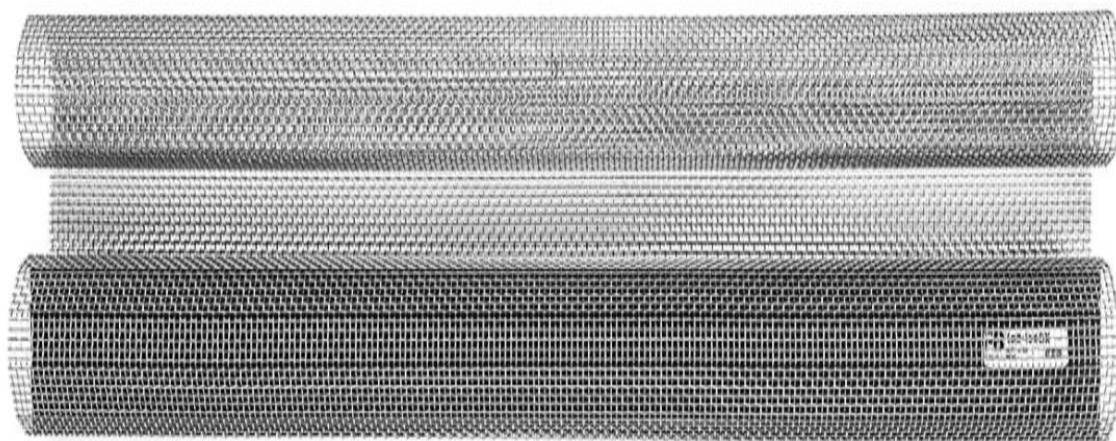
Palokatkojen käyttöön liittyy myös se, mitä materiaalia tuote on johon palokatko suunnitellaan. Muovisissa putkissa käytetään yleisesti tulipalon lämmön vaikutuksesta laajenevaa palomansettia, joka sulkee putken läpiviennin estäen palon etenemisen putken sisä- tai ulkokautta seuraavaan rakennusosaan. Metallisissa tuotteissa tulee huomioida se, että metalliputken seinämä saattaa palaa puhki lämmön vaikutuksesta. Metallin johtaa myös lämpöä eteenpäin, ja tämä saattaa sytyttää palon osastoivan rakenteen toisella puolella minne putki johtaa. Metalliputkien läpiviennin palokatkot toteutetaan putkien ulkopuolelle laitettavalla palamattomalla kivivillalla tai läpiviennin paloteknisen tiivistyksen yhdistelmällä, esimerkiksi palokatkovaahdoilla tai lämmön vaikutuksesta laajenevilla palonauhoilla. Ilmanvaihtokanavissa on yleisesti

käytössä EI-luokiteltuja palopeltejä, jotka estävät palon etenemisen ilmanvaihtokanavassa eteenpäin sulkemalla ilmanvaihtokanavassa olevan läpiviennin. Palokatkotuotteet on tyypillisesti suunniteltu betonirakentamiseen, mutta palokatkotuotteita voidaan käyttää myös puurakentamisessa, jos tuotteelta löytyy hyväksyntä myös puurakenteille. Puurakenteisiin asennettavissa palokatkotuotteissa tulee ottaa huomioon puun hiiltymisen palon vaikutuksesta ja hiiltymisen vaikutus palokatkotuotteen sijoittamiseen rakenteessa. On myös huomioitava, ettei puun hiiltymisen mahdollista palokatkotuotteen vuotamista, minkä ansiosta palo pääsisi kiertämään palokatkon. Kuvan 15 mukaan ottamalla puun hiiltymisen laskenta mukaan, pystytään mitoittamaan puisen rakenteen ympärille tulevan palokatkotuotteen toimivuus kyseisessä kohteessa. (Hakkarainen ym. 2004, 45–54; Lahtela 2021, 41–42; Suomen palokatkoysty, 2019.)

5.2 Puisen julkisivun palokatkot

Ulkoseinässä olevat pinnat voivat olla päällystettyjä luokittelemattomilla taasoite-, siloite- ja maalikerroksin, jotka eivät vaikuta pinnalta edellytetyin luokan ominaisuuksiin. Ulkoseinien ja tuuletusvälien pintojen on oltava yli 56 metriä korkeissa rakennuksissa pintojen luokkavaatimuksiltaan luokkaa A2–s1, d0. Tämä tarkoittaa palamatonta materiaalia, mikä taas tarkoittaa sitä, ettei puun käyttäminen ole mahdollista yli 56 metriä korkean rakennuksen ulkoseinien pintamateriaalina. P1-paloluokan rakennukselle, joka on yli 28 metriä korkea ja enintään 56 metriä korkea, on pintojen vaatimuksena palamatonta pintamateriaalia A2-s1, d0. Tästä poikkeuksena on tuuletusvälin sisäpinta, jonka on oltava luokkaa B-s1, d0. Palo ei yleensä syty rakennuksen ulkopuolta, vaan leviää rakennuksen ulkopuolelle rakennuksen sisäpuolelta. Yleisesti huoneistopalon aikana ikkuna hajoaa lämmön vaikutuksesta, ja tulipalo pääsee leviämään ikkunan hajottua myös huoneiston ulkopuolelle. Ikkunan ympäristöstä tulipalo pääsee leviämään ulkovuorauksessa olevien tuuletusrakojen kautta ylöspäin. Ulkovuorauksen alla olevan lämmöneristeen on oltava palamista kestävä, vähintään A2-s1, d0-luokkaa olevaa palamatonta kivivillaa. Tämä ehkäisee sen, ettei palaminen pääse leviämään rakennuksen rungossa olevaa lämmöneristettä pitkin seuraavaan kerrokseen tai leviämään ulkokautta muualle rakennukseen. (Lahtela 2021, 42; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 927/2020, 25–26 §.)

Ulkoverhouksen alle voidaan toteuttaa palokatkoja pysty- sekä vaakarakenteisina. Vaakasuuntaisia palokatkoja asennetaan yksi kappale kerrosta kohden niin, että vaakasuuntainen palokatko sijoittuu rakennuksen kerroksen sauman kohdalle. Pystysuunnassa olevat palokatkot voidaan toteuttaa ulkoverhouksen koolauspuidella, jotka tekevät tuuletusraosta automaattisesti 600 millimetrin kais-toja. Jos käytetään ristiin koolausta ulkoverhouksen alla, on huomioitava pystysuuntaisten koolauspuiden päiden välien tukkiminen. Tukkiminen ehkäisee savukaasujen leviämistä sivusuunnassa viereiseen tuuletusonteloon ulkoverhouksen alla. Ulkoverhouksen alle laitetaan esimerkiksi kuvassa 9 näkyvä palokatkotuote, joka ehkäisee savukaasujen leviämistä tuuletusraoissa (kuva 9).



Kuva 9. Renotech FB onteloventtiili (Renotech s.a.)

Kuvassa 9 oleva tiheäreikäisestä metalliverkosta valmistettu palokatkotuote pakkaa savua tuuletusraossa. Savun kerääntyminen tuuletusrakoon hidastaa palon vaatimaa hapensaantia, mikä edesauttaa palotehon alenemista ulkoverhouksen alla. Onteloventtiili mahdollistaa myös riittävän tuuletuksen ulkoverhouksen alla. Hyvä tuuletus mahdollistaa seinän kosteusteknisen toiminnan, jossa ilma kiertää ja kosteutta ei pääse kerääntymään ulkoverhouksen alle. Tätä metallireikäistä palokatkotuotetta on myös mahdollista käyttää räystäsrakenteiden palokatkotuotteena. Myös onteloihin asennettavat ontelopalokatkotuotteet, kuten Tenmat Vent Firestop, toimivat samalla tavalla kuin metalliverkkoinen palokatkotuote. Firestop-palokatkonauha turpoaa lämmön vaikutuksesta estäen savun ja palon leviämisen tuuletusraossa. Tämänkin tuotteen toiminta takaa rakenteen hyvän tuulettavuuden sekä kosteusteknisen toiminnan ulkoverhouksen alla. Tenmat Vent Firestopper-tuotteita voidaan käyttää

myös räystäsrakenteissa, jolloin tuote rajoittaa palon leviämistä julkisivusta yläpohjaan ja kattorakenteisiin. Firestopper-tuotteella on myös joko 30 tai 60 minuutin eristävyys- sekä tiiveysvaatimus (EI30 tai EI60). Tämä on riippuvainen palokatkon ympärillä olevien rakenteiden palonkestävyydestä. Myös Hilti valmistaa erilaisia palokatkoihin suunniteltuja tuotteita. Hiltin tuotteiden etuna ovat helppo asennettavuus sekä valmiiksi valmistajan toimesta suunnitellut erilaiset rakennedetaljit. Näitä valmistajan omia rakennedetaljeja pystytään hyödyntämään valmistajan ohjeiden mukaisesti, ja tämä helpottaa palokatkojen suunnittelua rakennuksessa. (Lahtela 2021, 42; Puuinfo 2021b.)

5.3 Palosuoja-aineet

Palosuoja-aineilla ja maaleilla pystytään suojaamaan rakennuksen osia sekä liitoksia tulipalolta. Palon aikana palosuojapinnoitteet turpoavat moninkertaiseksi ja muodostavat puun pinnalle suojaavan hiilivaahokerroksen, jonka tehtävänä on suojata puuta palamiselta sekä palamisen aiheuttamalta lämpörasitukselta. Altistuessaan kuumuudelle esimerkiksi Fontefire WF -tuotteet laajenevat lämmön vaikutuksesta ja muodostavan eristävän vaahtokerroksen puun pinnalle. Burnblock-palosuoja-aine on suunniteltu suojaamaan puisia rakenteita palamisen aiheuttamalta lämpörasitukselta. Burnblock-palosuoja-aine on ekologinen, huokoisten materiaalien, kuten puun ja vanerin, kanssa toimiva kustannustehokas aine palosuojaukseen. Muita palosuojaukseen soveltuvia pintakäsittelytuotteita on Fontefire WF-palosuojamaali puupinnoille. Burnblockille ja Fontefire-tuotteille yhteistä on helppo levitettävyyden puun pinnalle ja niiden soveltuvuus erityisesti puun suojaamiseen palamiselta. Kaikki palosuojamaalit tuovat hyvän palonkeston puupinnoille, vaikkakin näiden toimintaperiaate on hieman erilainen toisiinsa verrattuna. Palosuojausmaalaus ei paranna rakennuksen maalatun osan kestävyttä eli R-luokkaa, mutta toimii pidentäen palosuojamaalilla käsiteltyjen rakennusosien kestävyttä tulipalotilanteessa. (Puuinfo 2020b; Puuinfo 2020c; Teknos s.a.; Tikkurila s.a.)

5.4 Paloluokat

Rakennus kuuluu yleensä yhteen ja samaan paloluokkaan. Paloluokat Suomessa jaetaan neljään eri paloluokkaan. Jokaisella paloluokalla on omia rajoituksia rakennuksen kokoon, tyyppiin ja rakennuksessa sallittuihin henkilömääriin. Paloluokkia ovat P0, P1, P2 ja P3 (kuva 10). Rakennusten eri osat voivat

kuulua eri paloluokkiin. Tämä edellyttää sitä, että palon leviäminen osasta toiseen on estetty palomuurilla. Palomuurilla tarkoitetaan seinää, jonka tehtävänä on estää palon leviäminen seinän toiselle puolelle. Palomuurin on myös kestettävä siihen liittyvän rakennuksen tai sen osan sortuminen sekä sortumisesta rakennukselle aiheutuvat iskut. Palomuri tulee olla rakennettu A1-luokan rakennustarvikkeista P0- sekä P1-luokan rakennuksissa ja P2-luokan rakennuksissa, jotka ovat yli 14-metriä korkeita. Palomuurissa olevat ovet tulee olla palamattomista rakennustarvikkeista tehtyjä, ja rakennustarvikkeiden luokkana tulee olla vähintään A2-s1, d0. (Jantunen 2020, 2; Lahtela 2021, 9, 41; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 4 §.)

Paloluokka	Kuvaus	Tyypillisiä rakennuskohteita
P0	<ul style="list-style-type: none"> Toiminnallisen palomitoituksen mukaan (henkilömäärää ja palokuormaa koskevat tiedot ilmoitettava) 	<ul style="list-style-type: none"> Yli 28 m korkea asuinrakennus Yli 28 m korkea työpaikkarakennus
P1	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan kestävän sortumatta palon ja jäähtymisvaiheen aikana ilman, että paloa sammutetaan (yleensä yli 2-kerroksisessa rakennuksessa) Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää ei ole rajoitettu 	<ul style="list-style-type: none"> Rakennukset, jotka eivät ole sallittuja paloluokissa P2 ja P3
P2	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset voivat olla P1-paloluokkaa lievemmat Riittävä turvallisuustaso saavutetaan asettamalla vaatimuksia erityisesti pintaosien ominaisuuksille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää on rajoitettu käyttötarkoituksesta riippuen 	<ul style="list-style-type: none"> Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea asuinrakennus Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea hoitolaitos (pois lukien suljettu rangaistuslaitos) Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea majoitusrakennus Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea työpaikkarakennus Enintään 4-kerroksinen 14 m kokoontumis- ja liikerakennus 1-kerroksinen tuotanto- ja varastorakennus ¹⁾
P3	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen kantavilta rakenteilta ei yleisesti vaadita palonkestävyyttä, joitakin tapauksia lukuun ottamatta (esimerkiksi osastoivilla rakenteilla myös R-vaatimus) Riittävä turvallisuustaso saavutetaan rajoittamalla rakennuksen kokoa ja henkilömäärää käyttötarkoituksesta riippuen 	<ul style="list-style-type: none"> Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea asuinrakennus (kerrokset samaa palo-osastoa) Enintään 1-kerroksinen 9 m korkea hoitolaitos Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea majoitusrakennus Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea työpaikkarakennus Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea kokoontumis- ja liikerakennus 1-kerroksinen 14 m korkea tuotanto- ja varastorakennus ¹⁾

Kuva 10. Paloluokat (Lahtela 2021, 11)

Paloluokkaa P0 käytetään, kun rakennus suunnitellaan osin tai kokonaan perustuen oletettuun palonkehitykseen. Oletettu palonkehitys kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät palotilanteet, mikä tarkoittaa toiminnallista palomitoitusta. Rakennus kuuluu P0-paloluokkaan esimerkiksi silloin, kun poistumisturvallisuus tai rakenteiden palonkestävyys perustuu toiminnalliseen palomitoitukseen. Rakennus ei taas kuulu P0-paloluokkaan, jos kokonaisuuden kannalta vähäisiä poikkeamia taulukkomitoituksen luokista ja lukuarvoista voidaan perustella toiminnallisella palomitoituksella. Rakennuksen

henkilömäärää ja palokuormaa koskevat tiedot ovat myös ilmoitettava, kun rakennusta käydään suunnittelemaan. (Lahtela 2021, 9–10; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 927/2020, 4 §.)

P1-paloluokassa rakennuksen ja kantavien rakenteiden voidaan yli 2-kerroksissa rakennuksissa olettaa kestävän tietyllä varmuudella sortumatta tulipalossa. Rakennuksen kokoa tai käyttäjämäärää ei ole rajoitettu. Paloluokkaan P1 kuuluvat pääsääntöisesti rakennukset, jotka eivät ole sallittuja paloluokissa P2 ja P3. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 10.; Lahtela 2021, 10.; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 4–8 §.)

P2-luokkaan kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset ovat matalampia kuin P1-luokassa. Riittävä turvallisuustaso saavutetaan asettamalla vaatimuksia erityisesti pintaosien ominaisuuksille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille. Rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen rakennuksen kokoa ja henkilömäärää on rajoitettu. Tyypillisiä P2-paloluokan rakennuksia ovat enintään 8-kerroksiset asuinrakennukset, hoitolaitokset, majoitusrakennukset, työpaikkarakennukset sekä enintään 4-kerroksiset kokoontumis- ja liikerakennukset. Myös 1-kerroksiset tuotanto- ja varistorakennukset kuuluvat paloluokkaan P2. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 10; Lahtela 2021, 10; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 4–8 §.)

P3-paloluokan rakennusten kantavilta rakenteilta ei yleisesti vaadita palonkestävyyttä, lukuun ottamatta joitain tapauksia. Näitä tapauksia ovat esimerkiksi, jos osastoivilla rakenteilla on R-vaatimus, mikä tarkoittaa kantavuuden säilymistä vaaditun palonkeston ajan. Paloluokassa P3 riittävä turvallisuustaso saavutetaan riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta, tyypillisesti rajoittamalla rakennuksen kokoa ja henkilömäärää. Tyypillisiä P3-luokan rakennuksia ovat enintään 2-kerroksiset asuinrakennukset, majoitusrakennukset, työpaikkarakennukset, kokoontumis- ja liikerakennukset sekä enintään 1-kerroksiset majoitus-, tuotanto- ja varistorakennukset. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 10; Lahtela 2021, 10; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 4–8 §.)

Rakennusten paloturvallisuuden kannalta olennaiset vaatimukset on esitetty kuvassa 11. Olennaisten vaatimusten, kuten kantavien rakenteiden palonkestävyyden, palon ja savun kehittymisen sekä palon leviämisen estämisen, katsotaan täyttyvän aina kun rakennus suunnitellaan palomääräysten taulukkomitoituksella. Toiminnallista palomitoitusta käytettäessä, olennaisten vaatimusten täytyminen osoitetaan tapauskohtaisesti ottamalla huomioon rakennuksen ominaisuudet ja rakennuksen käyttötarkoitus. (Lahtela 2021, 10.)

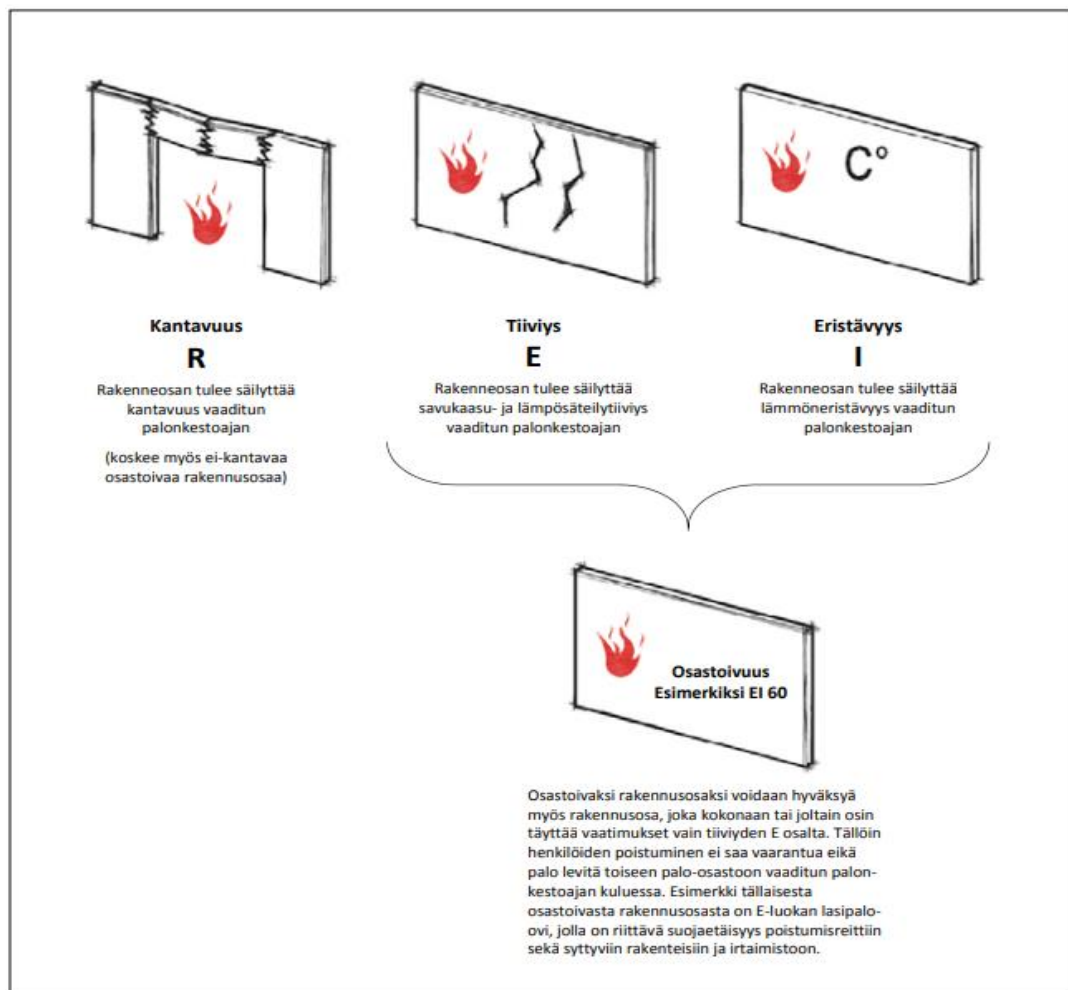
Olennainen vaatimus	Pääasiallisia tekijöitä paloturvallisuuden suunnittelussa
Kantavilla rakenteilla tulee olla vaadittu palonkestävyys	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen paloluokka Palokuormaryhmä Rakennusosien kantavuus R
Palon ja savun kehittyminen ja leviäminen tulee olla rajoitettua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

Kuva 11. Olennaiset vaatimukset paloturvallisuuden suunnittelussa (Lahtela 2021, 10)

Rakennuksen rungon paloteknisessä suunnittelussa tärkeimpiä tekijöitä ovat osastoivien rakennusosien sekä rakennuksen kantavan rungon palonkestävyys. Nämä kaksi tekijää määrittelevät, millaisia liittymädetaljeja ja rakennetyyppejä pystytään rakennuksen suunnittelussa käyttämään sekä, mitä on järkevää käyttää. Liittymädetaljeissa pitää huomioida liittymien suojaus, esimerkiksi erilaisin levytyksin tai palamattomalla kivivillalla sekä, miten liittymien suojaaminen on suunniteltavan kohteen mukaisesti järkevästi toteutettavissa. Jokainen kohde on kuitenkin erilainen, ja erilaisuus tuo suunnitteluun haasteita, koska silloin ei voida käyttää mitään vakioitua rakennustyyppiä tai liittymädetaljeja. Suunniteltava kohde määrittelee sen, miten käytettävät liittymädetaljit ja rakennetyypit valitaan kyseiseen rakennukseen. Lähtökohtaisesti liittymädetaljit ja rakennetyypit pitää olla suunniteltu niin, ettei tulipalo pääse vaikuttamaan niihin ja ne kestävät tulipalossa aiheutuvan lämpörasituksen. (Lahtela 2021, 10.)

5.5 Kantavuus ja osastointi

Rakennuksen kantavat ja osastoivat rakennusosat tulee suunnitella REI-luokkavaatimusten mukaisesti hyödyntämällä standardipalokäyrän esittämää palotilannetta. Rakennusosan palotilanteen kantavuus voidaan osoittaa laskennallisesti eurokoodi 5:ssä esitetyillä laskentamenetelmillä. Palorasitusten ollessa standardoidun lämpötilakäyrän mukaisia tulee rakennusosan täyttää palonkestävyysvaatimukset R, E, I. Kirjaimien merkitykset on esitetty kuvassa 12. Ainoastaan kantavilla rakenteilla vaatimus on (R). Ainoastaan osastoivilla rakenteet vaatimuksina ovat tiiveyden vaatimus (E) ja vaadittaessa eristävyys, jonka vaatimus on (I). Osastoivilla ja kantavilla rakenteilla vaatimus on (R, E, I). Palolle alttiina olevalta rakenteelta vaadittava toimintakyky osoitetaan joko käyttämällä kokonaistarkastelua, rakenteen osien tai rakenneosien tarkastelua, taulukkomitoitusta tai koetuloksia. (Eurokoodi 5 2020, 43; Jantunen 2017, 6; Kevärimäki ym. 2019, 15; Lahtela 2021, 9; Tikanoja ym. 2017, 35.)



Kuva 12. Kantavan ja osastoivan rakennusosan palonkestävyyden perusvaatimukset (Lahtela 2021, 11)

Rakennusosat merkitään ensin kirjaimilla R, E, I, ja tämän jälkeen ilmoitetaan palonkestävyysaika minuutteina. Esimerkiksi seinä, jonka merkintä on REI 90, tarkoittaa kantavan ja osastoivan seinän kestävän paloa 90 minuutin ajan. Tästä kirjaimien ja numeroiden yhdistelmästä muodostuva merkintä kertoo rakennusosan luokan. Palonkestävyysaikoja on välillä 15–240 minuuttia. Palonkestävyysaikojen minuuttimäärä on riippuvainen materiaalin ominaisuuksista sekä siitä, onko materiaali palosuojattu. (Eurokoodi 5 2020, 43; Jantunen 2017, 6; Kevärinmäki ym. 2019, 15; Lahtela 2021, 9; Tikanoja ym. 2017, 35.)

5.6 Rakennuksesta poistuminen tulipalossa

Palomääräysten mukaisesti rakennuksesta on voitava poistua nopeasti ja turvallisesti tulipalotilanteessa. Rakennuksessa on oltava riittävästi sopivasti sijoitettuja tarpeeksi väljiä ja helppokulkuisia uloskäytäviä. Uloskäytävien tulee olla sellaisia, että poistumisaika rakennuksesta ei ole vaaraa aiheuttavan pitkä. Uloskäytävän on johdettava ulos maan pinnalle tai muualle palon sattuessa sijaitsevalle turvalliselle paikalle. Uloskäytävää tai palosulkua ei saa rakentaa sellaisista tarvikkeista tai rakennusosista, jotka savunmuodostuksen ja palokuorman takia vaarantavat henkilöturvallisuutta. Uloskäytävään tai palosulkuun ei myöskään saa sijoittaa laitteita tai asennuksia, jotka lisäävät palokuormaa. Kulkureitin pituus lähimpään uloskäytävään ei saa olla vaaraa aiheuttavan pitkä. (Lahtela 2021, 59; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 31–37 §.)

Yleisesti kulkureitin enimmäispituus vaihtelee 30–70 metrin välillä rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen. Rakennuksen koko määrittelee myös sen, miten monta uloskäytävää siinä on oltava. Enintään 24 metriä korkeissa rakennuksissa tulee yleensä olla kaksi osastoitua ulos johtavaa käytävää tai uloskäyntiä turvalliselle paikalle. Uloskäytävien tulee olla toisistaan riippumattomia. Yli 24 metriä ja enintään 38 metriä korkeissa rakennuksissa uloskäyntejä on yleisesti kaksi. Nämä uloskäynnit tulee olla palolta suojattuja ja suunniteltu tulipaloa kestäväksi. Yli 52 metriä korkeissa rakennuksissa tulee olla yksi palolta suojattu uloskäytävä sekä yksi palolta ja savulta suojattu uloskäytävä. P2-luokan rakennusten parvekkeet ja uloskäytävät tulee varustaa automaattisella palonsammutuslaitteistolla. (Lahtela 2021, 59; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 31–37 §.)

Rakennus tulee suunnitella siten, että uloskäytävien tulee olla osastoituja ja jotka täyttävät rakenteiden kantavuudelta sekä palonkestoajalta vaaditut kestävyysvaatimukset (R60). Nämä vaatimukset estävät palon leviämisen huoneistosta uloskäytävään. Porraskäytävä tulee myös aina muodostaa omaksi palo-osastokseen. Rakennuksesta poistuminen riippuu siitä, onko rakennus maantasossa oleva 1-kerroksinen vai useampi kerroksinen rakennus. Maantasolla olevien rakennusten rakennuksesta poistuminen on järjestettävä käytäviä pitkin tai rakennuksessa olevien ikkunoiden ja ovien kautta. Poistumiseen tarkoitettujen ikkunoiden koko tulee olla vähintään 600 mm x 500 mm ja ikkunan tulee olla helposti avattavissa. Pientaloissa poistumiseen käytettävän ikkunan tulee sijaita makuuhuoneessa tai muussa poistumisen helposti mahdollistavassa huoneessa. Ikkunan ulkopuolelle pitää pientaloissa sijoittaa myös poistumiseen käytettävät tikkaat, jos rakennus on yli 1-kerroksinen. Ovien on myös auettava kohti uloskäytävää. Poistumiseen käytettävien ikkunoiden ja ovien tulee olla vähintään EI15-luokan rakennusosista valmistettuja. Jos varatieltä pudottautumiskorkeus maan pinnalle tai muulle turvalliselle paikalle on yli 3,5 metriä, tulee P2- ja P3-paloluokan rakennuksessa varatie varustaa kiinteillä tikkailla. (Lahtela 2021, 59–67; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 31–37 §.)

Yli 2-kerroksisissa rakennuksissa poistuminen tapahtuu osastoitua porraskäytävää pitkin tai asuntojen parvekkeiden kautta. Parvekkeet suunnitellaan lähes aina varateiksi. Luhtikäytävä, joka on yleinen pientaloissa, voi toimia myös uloskäytävänä. Luhtikäytävän on oltava sellainen, ettei siihen muodostu alueita joista tulipalossa esiintyvä savu ei pääse poistumaan. Luhtikäytävän osastoivat rakennusosat tulee olla EI30-luokkaa, ja kantavien rakenteiden on oltava R30-luokkaa P2-luokan rakennuksessa. P1-luokan enintään 2-kerroksisessa luhtitalossa vaatimukset ovat EI60 ja R60. Yli 2-kerroksisten rakennusten tulipalotilanteessa on huomioitava, ettei hissiä määritellä uloskäytäväksi. (Lahtela 2021, 59; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 31–41 §.)

Parvekkeelta poistuminen järjestetään niin, että parvekkeen lattiaan on integroitu vähintään 600 mm x 600 mm tikasluukku jonka kautta ihmiset voivat laskeutua omatoimisesti alemmalle parvekkeelle tulipalotilanteessa. Tikasluukujen sijoitus kannattaa suunnitella niin, että tikasluukut ovat limittäin

parvekkeiden reunoissa. Esimerkiksi 3-kerroksen tikasluukku on sijoitettu parvekkeen oikean reunan läheisyyteen ja 2-kerroksen tikasluukku on sijoitettu parvekkeen vasemman reunan läheisyyteen. Tämä ehkäisee sitä vaaraa, että tulipalotilanteessa korkeasta rakennuksesta poistuminen parvekkeella olevan tikasluukun kautta tapahtuisi vain yhtä saman suuntaista reittiä pitkin. Tämä limittäin suunnittelu ehkäisee myös sen, että ihmiset jäisivät vain yhteen kohtaan parvekkeelta toiselle poistuessaan. (Lahtela 2021, 59; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 31–41 §.)

Jos omatoiminen parvekkeelta poistuminen ei ole mahdollista, pitää odottaa pelastuslaitoksen yksiköitä paikalle, jotka sammuttavat huoneistossa olevan palon tai avustavat henkilöt parvekkeelta pois nostolava-autolla. Rakennusten suunnittelussa on myös huomioitava se, että palo- ja pelastuskalustolla on oltava mahdollisuus päästä riittävän lähelle rakennusta. Mitä lähemmäksi pelastusyksikkö pääsee rakennusta, jonka parvekkeella henkilöitä on odottamassa pelastamista, sitä helpompaa pelastustehtävän suorittaminen ja henkilöiden pelastaminen parvekkeelta on. Tiivis kaupunkirakentaminen asettaa kuitenkin haasteita pelastusteiden käyttöön ja pelastuslaitoksen yksiköiden sijoittamismahdollisuuksiin rakennusten lähelle. (Lahtela 2021, 59; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 31–41 §.)

5.7 Palokuorma

Palokuorma on vapautuva kokonaislämpömäärä, kun tilassa oleva palava aine palaa täydellisesti. Palokuormaksi luetaan kantavat, runkoa jäykistävät, osastoivat ja muut rakennusosat sekä rakennuksessa oleva irtaimisto. Palokuorman tiheys ilmaistaan megajouleina lattia-m² kohden (MJ/m²). Rakennuksen palokuorma määritellään sen pääkäyttötarkoituksen mukaan. Jokaisen palo-osaston palokuorma voidaan määrittää erikseen ja kunkin palo-osaston rakenteet voidaan mitoittaa tämän määrittämisen mukaisesti. Palokuorma voidaan määrittää laskennallisesti standardeissa esitettyjen ohjeiden mukaisesti. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 8; Lahtela 2021, 12; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 7 §.)

Palokuorman kannalta myös tavaroiden oikeaoppinen säilytys, esimerkiksi kellaritiloissa ja huoneistojen varastoissa, on tärkeä ottaa huomioon.

Kellaritilat muodostetaan yleisesti omiksi palo-osastoikseen kellarin pinta-alan mukaisesti. Kellaritiloissa on yleisesti rakennuksen asuntojen häkkivarastoja, joissa asukkaat säilyttävät tavaroita. Tavaroiden säilytyksessä on huomioitava se, ettei varastoihin säilötä mitään, mikä voisi lisätä kellaritilan palokuormaa. Esimerkiksi polttoaineiden ja renkaiden säilytys on yleisesti kiellettyä kerrostalojen kellaritiloissa sijaitsevilla häkkivarastoissa niiden aiheuttaman turhan palokuorman vuoksi. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 8; Lahtela 2021, 12; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 7 §.)

yli 1200 MJ/m²;	<ul style="list-style-type: none"> - Varastot, jotka ovat erillisiä palo-osastoja. <p>Tuotanto- ja varastotilojen palokuorma määritellään tai arvioidaan kohdekohtaisesti.</p>
vähintään 600 MJ/m² ja enintään 1200 MJ/m²;	<ul style="list-style-type: none"> - Osa kokoontumis- ja liiketiloista kuten myymälät, näyttelyhallit ja kirjastot; - asuinrakennusten kellariosastot, jotka sisältävät irtaimistovarastoja; - moottoriajoneuvojen korjaus- ja huoltotilat.
alle 600 MJ/m²;	<ul style="list-style-type: none"> - Asunnot, majoitustilat ja hoitolaitokset; - osa kokoontumis- ja liiketiloista kuten ravintolat, enintään 300 h-m²:n myymälät, toimistot, koulut, urheiluhallit, teatterit, kirkot ja päivähoitolaitokset; - autosuojat. <p>Yleensä tähän ryhmään saa sijoittaa myös muihin palokuormaryhmiin kuuluvia tiloja, mikäli nämä tilat varustetaan tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Tämä ei koske 3–8-kerroksisia P2-luokan rakennuksia.</p>

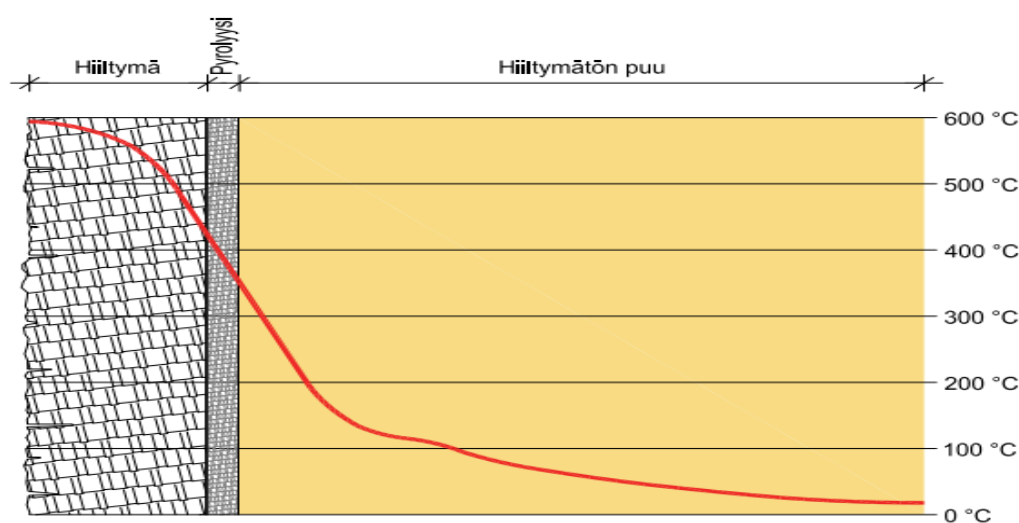
Kuva 13. Palokuormaryhmät (E1 rakentamismääräyskokoelma 2011, 10)

Kuvassa 13 on esitelty eri palokuormaryhmät. Palokuormaryhmä määrittelee palo-osaston käyttötavan. Kantavien ja osastoivien rakennusosien palonkestävyysvaatimukset perustuvat yllä esitettyyn palokuormaryhmytykseen. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 8; Lahtela 2021, 12; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 7 §.)

5.8 Palosuojaus

Vaikka puu on palava materiaali, on puu silti paloturvallinen rakennusmateriaali. Puun hyvä kuormankestävyys sekä sortuminen tulipalotilanteessa on ennakoitavissa tulipalotilanteessa. Tulipalotilanteessa puun hiiltyminen tapahtuu

tasaisesti. Puu syttyy, kun sen lämpötila on 250–350 °C. Puun syttymiseen vaikuttaa puukappaleen koko, sytytyslähteen teho ja se, kuinka kauan puu on alttiina palolle. Tulitikulla massiivisen puukappaleen sytyttäminen ei ole mahdollista. Tämä johtuu siitä, ettei lämpöä ei voida tulitikun tuottaa avulla niin paljoa, mikä vaikuttaisi puukappaleen lämpötilan nousuun siltä vaadittuun syttymislämpötilaan. Toisaalta huoneistopalossa, joissa lämpötila on korkea, syttyy massiivipuinenkin puurakenne palamaan hyvinkin nopeasti. Puun pintaan muodostuu palamisen yhteydessä hiilikerros, joka hidastaa puun sisäosien lämpenemistä ja samalla puun palamista (kuva 14). (Lahtela 2021, 84)



Kuva 14. Puun palaminen (Lahtela 2021, 84)

Puurakenteiden paloteknisen suunnittelun kannalta on tärkeää, että puun hiiltymisnopeus erilaisissa tapauksissa tunnetaan tarkasti (kuva 15). Liimapuu, LVL, CLT ja sahatavara omaavat erilaiset hiiltymisnopeudet. Muita tekijöitä, jotka vaikuttavat hiiltymiseen, ovat tuotteessa käytetty liimatyyppi sekä mahdollinen puurakenteen palosuojausten tyyppi. (Lahtela 2021, 83)

Palomitoitusperiaate	Paksuus	Ominaisihteys	Yksidimensionaalinen hiiltymisnopeus β_0	Nimellinen hiiltymisnopeus β_n
Sahatavara EN 14081-1 (havupuu)		$\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65 mm/min	0,8 mm/min
Liimapuu EN 14080 (havupuu)		$\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65 mm/min	0,7 mm/min
LVL EN 14374 (havupuu)		$\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65 mm/min	0,7 mm/min
LVL EN 14374 (havupuu)		$\geq 410 \text{ kg/m}^3$	0,7 mm/min	0,75 mm/min
Vanerilevy EN 313-1	20 mm	450 kg/m^3	1,0 mm/min	-
Lastulevy EN 309	20 mm	450 kg/m^3	0,9 mm/min	-
Puukuitulevy EN 316	20 mm	450 kg/m^3	0,9 mm/min	-
OSB-levy EN 300	20 mm	450 kg/m^3	0,9 mm/min	-
Laudoitus	20 mm	450 kg/m^3	0,9 mm/min	-

Kuva 15. Puutuotteiden hiiltymisnopeuksia (Lahtela 2021, 91)

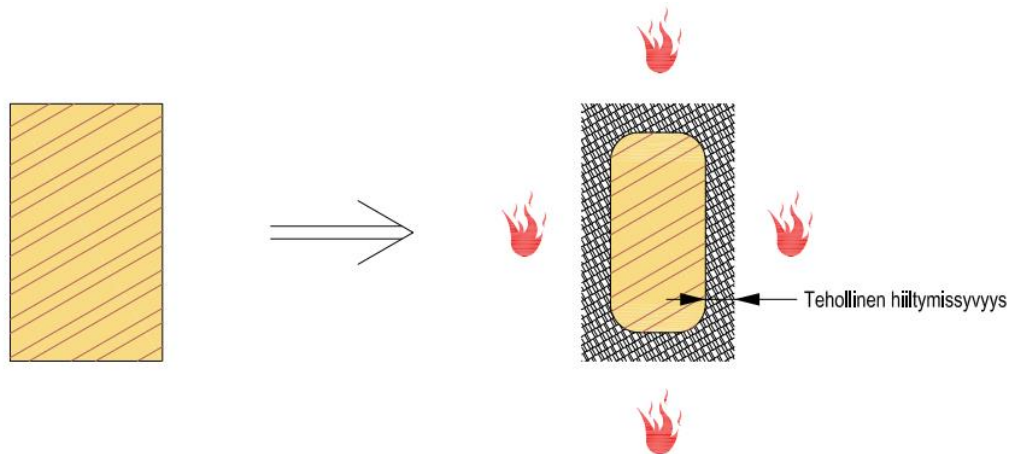
Ennen puurakenteiden varsinaisen palomitoituksen aloittamista, tulee selvittää rakenneosien ja koko rakennuksen rungon toiminta stabiliteetin näkökulmasta. Palotilanteessa stabiliteettituenta tulisi suunnitella siten, että tuenta toimii koko vaaditun palonkestoajan. Suunnittelun kriittisin näkökohta palotilanteen stabiliteettituennan kannalta ovat rakennuksen sekä rakenteiden liitokset. Liitosten tulee olla palosuojattuja, koska palolta suojaamattomien liitosten palonkestävyys on yleensä alhainen. Liitosten suunnittelu asettaa myös vaatimuksia liitosten reunaetäisyyksille. Tämä tarkoittaa sitä, että liitintä ympäröivä puuosa hiiltyy ja sitä, miten hiiltymisen vaikuttaa reunaetäisyyden pienemiseen. Puurakenteet kannattaisi suunnitella paloteknisesti siten, että ne palosuojataan koko vaaditulle palonkestoajalle. Tällöin kantavat ja jäykistävät rakenteet eivät hiilly tulipalon vaikutuksesta. Rakenteiden palosuojauksen voi toteuttaa erilaisilla rakenteiden levytyksillä, paloa kestävillä kivivilla suojauksilla sekä erilaisilla palosuojajaineilla. Palosuojaaminen tekee rakennesuunnittelusta yksinkertaisempaa. Yksin puolestaan tekee rakenteiden palokäyttäytymisen paremmin ennakoitavammaksi. (Eurokoodi 5 2020, 46; Lahtela 2021, 88.)

Puurakenteen kantavuus palotilanteessa voidaan mitoittaa kolmella erilaisella periaatteella. Näitä periaatteita ovat palosuojaaamaton puurakenne, puurakenne palosuojattu koko vaaditun palonkestoajan ja puurakenne palosuojattu osaksi vaaditusta palonkestoajasta. Palomitoituksessa käytettävän periaatteen valinta vaikuttaa merkittävästi rakenteiden kustannuksiin. Jos rakenne on jo valmiiksi massiivinen, olisi palosuojaus tässä tapauksessa turha kuluerä. Tämä johtuu rakenteen hiiltymämitoituksen perusteella tulevasta rakenteen kantokyvystä. Rakenneosien palomitoituksessa tulee ottaa huomioon eurokoodi 5:n sisältämät erilaiset laskentamenetelmät palosuojatuille palkeille ja pilareille. Eurokoodi 5 sisältää omat laskentamenetelmät paloruojatuille rakenteille, joissa ontelotila on eristeen täyttämä ja ontelotilalle joka on eristeetön, eli tyhjä. (Eurokoodi 5 2020, 43–47; Lahtela 2021, 83.)

5.9 Puurakenteen kantavuuden mitoituksen periaatteet tulipalotilanteessa

Palosuojaaamaton puurakenne hiiltyy palon alusta lähtien. Esimerkiksi palosuojaaamaton liimapuupalkki hiiltyy palolle altistuvilta sivuilta, jolloin liimapuupalkin dimensiot muuttuvat palon aiheuttaman hiiltymisen seurauksena.

Palonkestoajan lopussa hiiltyneestä puurakenteesta on jäljellä enää tehollinen poikkileikkaus, joka mitoitetaan palotilanteen aiheuttamille rasituksille. Tarvittaessa puurakenteen kokoa voidaan suurentaa, jolloin puurakenteen tehollinen poikkileikkaus jää suuremmaksi. Tämän seurauksena rakenteen kantokyky palotilanteen aiheuttamille rasituksille saadaan paremmaksi. Hiiltymisnopeus rakenteelle valitaan sen mukaan hiiltyykö puurakenne yhdestä suunnasta vai useammalta suunnalta samanaikaisesti. (Lahtela 2021, 83.)



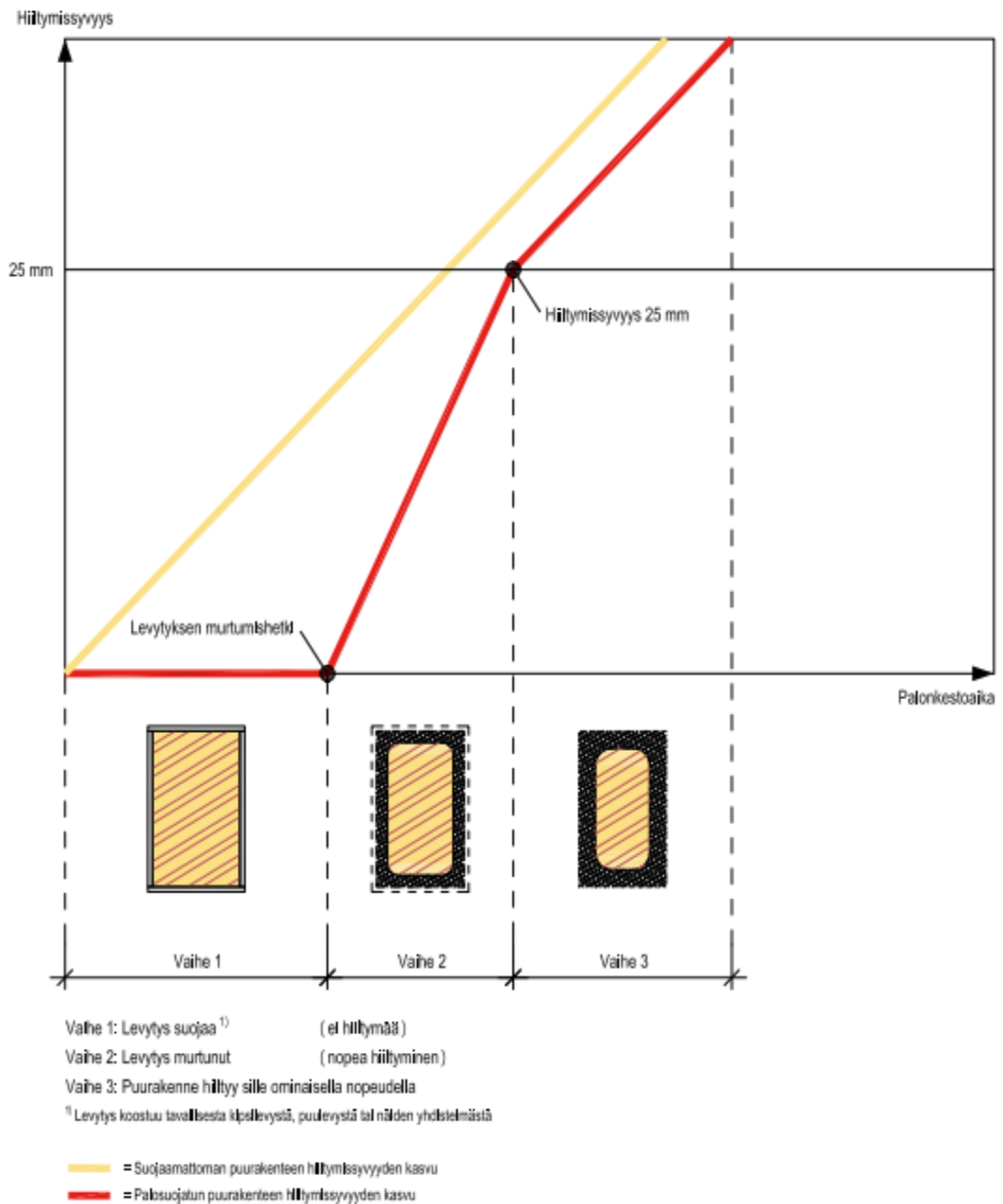
Kuva 16. Palosuojaamattoman rakenteen hiiltyminen (Lahtela 2021, 90)

Kuvassa 16 on esitetty, miten useammalta suunnalta palolle altistuneen palkin tehollinen hiiltymissyvyys vaikuttaa palkin kestävyyteen. Hiiltymissyvyys pitää huomioida kun käydään mitoittamaan rakenteita. Hiiltyminen on myös erilaista erilaisilla puutuotteilla, ja tämä pitää huomioida myös rakenteen suunnittelussa. (Lahtela 2021, 83.)

Toisena tapana on puurakenteen suunnittelu paloteknisesti siten, että se palosuojataan kokonaan vaaditulle palonkestoajalle. Tässä tapauksessa puurakenteen palosuojaus toteutetaan esimerkiksi puupaneloinnilla, kipsi- tai puulevyillä, palosuojaukseen suunniteltujen lämmöneristelevyillä tai näiden yhdistelmien avulla. Palosuojauksessa käytettävä tuote suojaa puurakennetta tulipalon lämmön aiheuttamalta hiiltymiseltä. Tuotteet myös ehkäisevät puurakenteen hiiltymistä niin, ettei puun dimensiot muutu tulipalon vaikutuksesta. Palosuojattu puu lämpenee kuitenkin palon aikana, ja tämä tulee huomioida palomitoitusmenetelmissä. (Lahtela 2021, 83–84.)

Kolmantena tapana on suunnitella puurakenne paloteknisesti siten, että se palosuojataan osaksi vaaditusta palonkestoajasta ja loppuajan puurakenteen

annetaan hiiltä. Esimerkiksi R60-luokan rakenteessa palosuojaukseen käytettävä tuote suojaa puurakennetta 30 minuutin ajan ja 30 minuuttia rakenteen annetaan hiiltä (kuva 17). Osaksi vaaditusta palokestoajasta suojatun puurakenteen mitoituksessa tulee tietää palosuojaukseen käytettävän tuotteen hiiltymisen alkamishetki sekä suojauksen murtumishetki. (Lahtela 2021, 84.)



Kuva 17. Hiiltymissyvyyden kasvu ajan funktiona, kun puurakenteen hiiltymisen alkaa palosuojauksen murtumisen jälkeen ja hiiltymisnopeus palautuu suojaamattoman puun hiiltymisnopeuteen puurakenteen saavutettua 25 mm:n hiiltymissyvyyden (Lahtela 2021, 85)

Tässä suunnittelutavassa tulee huomioida se, että rakenteen suojaamiseen käytetyn materiaalin takana tapahtuu tulipalon vaikutuksen aikaista hiiltymistä

jo ennen materiaalin palamista Kuvassa 17 on esitelty, miten rakenteen hiltyminen alkaa nopeutumaan, kun puurakennetta suojaava palosuojaus on murtunut. Puurakenteiden suojauksessa on tärkeää huomioida, ettei rakenteen suojauksessa käytettävä levytys pääse murtumaan liian aikaisessa vaiheessa. (Lahtela 2021, 84.)

5.10 Rakennustarvikkeet

Rakennuksessa käytettävät tarvikkeet eivät saa edesauttaa palon kehittymistä vaaraa osoittavalla tavalla. Rakennustarvikkeet jaetaan eri luokkiin sen perusteella, miten ne osallistuvat tulipaloon. Euroopassa on käytössä yhtenäinen kirjaimiin A–F ja numeroihin 0–3 sekä näiden yhdistelmiin perustuva rakennustarvikkeiden luokitus. Luokitus kertoo materiaalin syttymisherkkyden, palon leviämiseen liittyviä ominaisuuksia sekä savun ja palavien pisaroiden tuottoa tulipalon aikana. Luokituksia rakennustarvikkeille on yhteensä seitsemän kappaletta, jotka ovat esitelty alla olevassa kuvassa 18.

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

Kuva 18. Rakennustarvikkeen luokkamerkinnän muodostuminen yleisesti (Lahtela 2021, 23)

A1-luokan rakennustarvikkeet ovat yksiaineisia palamattomia tuotteita. Näitä tuotteita ovat kivi, betoni tiili, lasi ja teräs. Rakennustarvikkeiden luokitus perustuu tarvikkeen käyttäytymiseen tulipalon alussa. Vain luokkia A1-s1, d0 ja A2-s1, d0 voidaan pitää rakennustarvikkeen palokäyttäytymistä kuvaavana luokkana, koska palamattomina tuotteina nämä käyttäytyvät samoin tulipalon alussa ja tulipalon myöhäisemmässä vaiheessa. Rakennustarvikkeen luokka määritellään standardien mukaisilla polttokokeilla. Rakennustarvikkeen luokka

tulee aina selvittää valmistajalta löytyvästä suoritustasoilmoituksesta. (Lahtela 2021, 23; Ympäristöministeriö 848/2017, 22–28 §.)

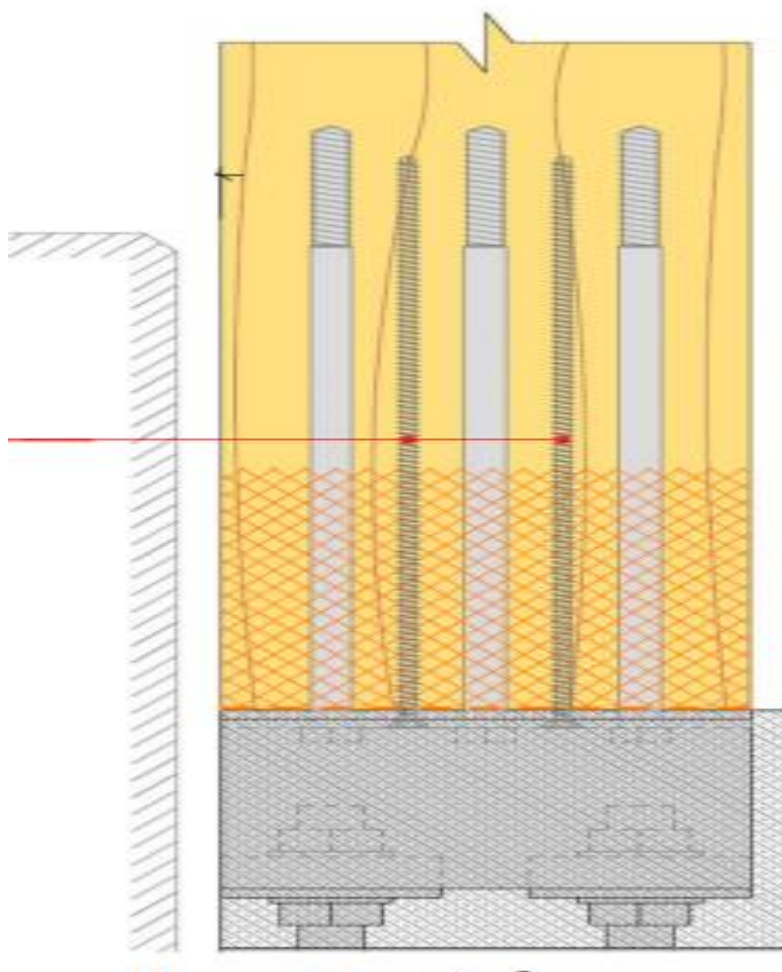
Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 22–28 § käsittelee lain vaatimuksia, joita eri rakennusmateriaaleille on säädetty. Lain mukaisesti kaikissa paloluokissa asuntojen seinien ja kattojen sisäpuolisten pintojen luokkavaatimus on D-s2, d2. Tämä tarkoittaa sitä, että seinät ja katto voivat olla puutuotteita (D), tuottaa savua vähäisesti (s2) ja palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä vaatimuksia (d2). Rakennuksen suojaverhouksella tarkoitetaan esimerkiksi rakennusosan pinnan muodostamaa osaa, joka suojaa alustaansa määrätyn ajan syttymiseltä, hiiltymiseltä tai muulta vaurioitumiselta tulipalon yhteydessä. Eurooppalaisia suojaverhouksluokkia ovat K₁ 10, K₂ 10, K₂ 30 ja K₂ 60. Suomessa palomääräysten taulukkomituksen mukaisessa suunnittelussa ovat käytössä suojaverhouksluokat K₂ 10 (suojausaika 10 minuuttia) ja K₂ 30 (suojausaika 30 minuuttia) Luokkamerkinässä alaindeksi viittaa suojaverhouksen takana olevaan alustaan. Alaindeksi 2 tarkoittaa sitä, että kyseistä suojaverhousta voidaan käyttää kaikilla alustoilla riippumatta alustan tiheydestä ja tyypistä. (Lahtela 2021, 23–34; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 22–28 §.)

6 LIITOSTEN PALOMITOITTAMINEN

Puurakenteiden liitosten palomitoittaminen on kokonaisvaltainen suunnittelu-tehtävä, joka alkaa valitsemalla oikeanlaisen liitostyyppi suunniteltavaan kohteeseen. Liitoksissa käytetään tavallisesti teräsosia ja puikkoliitimiä, joiden palonkesto suojaamattomana on rajallinen. Suunnitteleamalla liitokset niin, että liitososat jäävät liitettävien puurakenteiden sisään tai palosuojalevytyksen taakse, saadaan liitos helpoiten palosuojattua. Puukerrostalossa liitososat ovat tavallisesti palosuojalevytyksen takana jo ulkonäkösyistä, joten liitosten palosuojaus ei ole puukerrostalossa samanlainen haaste kuten esimerkiksi hallirakentamisessa. Mikäli liitososia suojataan, kannattaa ne suojata koko palonkestoajalle. (Lahtela 2021, 95.)

Hiiltyvissä puurakenteissa teräsosien kestävyys lisäksi joudutaan tarkastelemaan puikkoliitinten reuna- ja päätyetäisyyksiä. Myös liitettävien puurakenteiden paksuuksia joudutaan tarkastelemaan tarkemmin, koska puurakenteen

hiiltyessä liitinten etäisyydet pienevät palon vaikutuksesta. Suojaamattomilla puikkoliitoksilla voidaan tavallisesti saavuttaa enintään 15–20 minuutin palonkestävyys. Jos palonkestävyys halutaan suuremmaksi, joudutaan puurakenteiden dimensioita suurentamaan ja liitosten teräsosia suojaamaan. Suojaamattoman naulaliitoksen, ruuviliitoksen ja tappivaarnaliitoksen palonkestävyyttä voidaan kasvattaa enintään 30 minuuttiin. Tämä tapahtuu suurentamalla liitettävien puurakenteiden dimensioita sekä suurentamalla puikkoliittimen reuna- ja päätyetäisyyksiä. Näin toimittaessa puikkoliittimissä ei saa olla ulkonevia kantoja. Puisten mastopilarien kiinnitykset voidaan myös toteuttaa niin, että muiden mastopilarin vaatimien kiinnikkeiden lisäksi mastopilariin kiinnitetään itseporautuvia ruuveja. Nämä itseporautuvat ruuvit sijoitetaan kuvan 19 mukaisesti. (Lahtela 2021, 95; Pitkänen 2018, 12.)



Kuva 19. Mastopilarin kiinnitys (Pitkänen 2018, 12)

Kuvassa 19 punaisella viivalla merkityt itseporautuvat ruuvit estävät tulipalotilanteen aiheuttaman rakenteen hiiltymisestä tapahtuvan kiinnikkeiden pettämisen. Tulipalotilanteessa nämä ruuvit toimivat kiinnikkeinä ja varmistavat

rakenteen pystyssä pysymisen. Kiinnikkeiden sijoittelussa on otettu huomioon rakenteen hiiltymistä johtuva rakenteen dimension muutos. Kuvan 19 mukaisesti hiiltymisen alkaa rakenteen ulkolaidoilta, jolloin rakenteen reunaa lähinnä olevat kiinnikkeet menettävät hiiltymistä johtuen kiinnikkeiltä vaadittavan kestävyuden. Tällöin sisempänä rakenteessa olevat ruuvikiinnikkeet auttavat rungon pystyssä pysymistä ja turvaavat rakenteen paikallaan pysymisen myös tulipalotilanteessa. Puurakenteiden välistä liitosta ei aina tarvitse toteuttaa teräsosilla tai puikkoliittimillä. Leikkausvoimaa ja normaalivoimaa siirtävä liitos voidaan toteuttaa myös niin sanotuilla kontaktiliitoksilla (kuva 20).



Kuva 20. Massiivipuulevyn kontaktiliitos (Lahtela 2021, 95)

Kontaktiliitosten käyttäminen on yleisintä CLT-tuotteista rakennettaessa. Massiivipuurakentamisessa, jossa käytetään CNC-työstöjä, pystytään käyttämään jo tehtaalla valmiiksi työstettyjä kontaktiliitoksia rakenteiden välisissä liitoksissa. CLT-elementeistä rakentaessa pystytään soveltamaan kontaktiliitosten käyttöä rakennuksen eri osien liitoksissa toisiinsa. (Lahtela 2021, 95.)

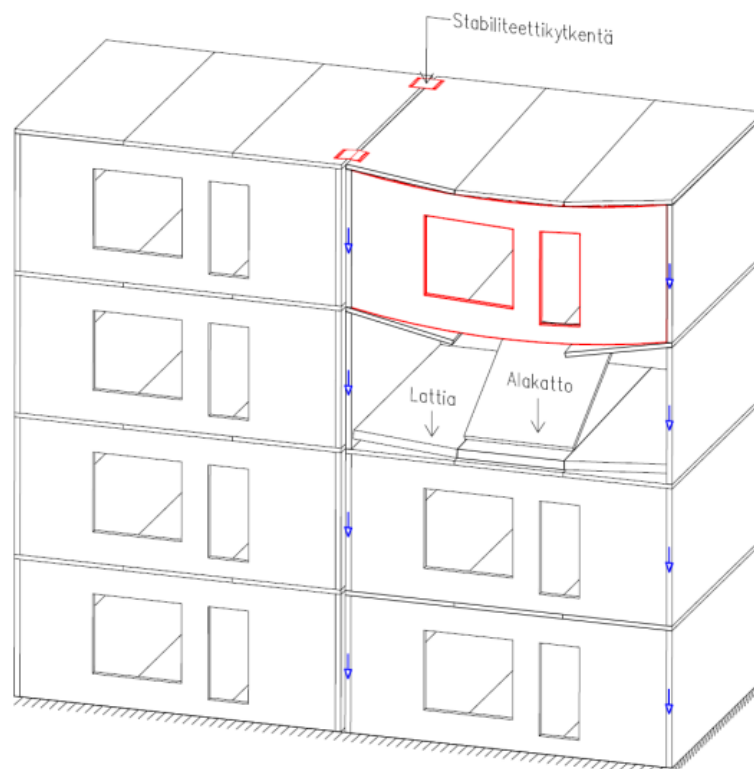
6.1 Kiinnitysratkaisut

Kiinnitysratkaisut tarkoittavat sitä, miten rakennuksen eri rakenteet liitetään toisiinsa rakentamisen yhteydessä. Kiinnitystekniikka vaihtelee sen mukaan, miten ja mitkä rakennuksen osat kiinnitetään kiinni toisiinsa. Korkeissa ja

vaativissa rakennuksissa tulee kiinnittää huomiota siihen, miten kiinnitysratkaisut toimivat kyseisessä kohteessa. Myös se, miten kiinnikkeet kestävät niiltä vaaditut rasitukset joita rakennuksen koko niille tuottaa, tulee huomioida rakennuksen suunnittelun yhteydessä. Kiinnitysratkaisuiden tehtävänä on viedä rakennuksen painosta johtuvat kuormat rakennuksen perustuksille ja varmistaa rakennuksen pystyssä pysyminen. Kiinnitysratkaisuiden tehtävänä on myös sitoa rakennuksen runko ja rungon osat kiinni toisiinsa. Kiinnikkeiden tehtävänä on myös pitää rakennuksen runko pystyssä, vaikka joku rakennuksen osa pettäisikin. Rakennuksen jonkin osan pettäminen ei saa vaikuttaa rakennuksen pystyssä pysymiseen. Puurakentamisessa on huomioitava myös, miten betonirakentamisessa yleisesti käytettävä betonin raudoituksen vaikutus rakenteen kestävyteen otetaan huomioon puista rakennusta suunniteltaessa. Puisissa rakennuksissa ei ole käytettävissä niin paljon raudoitusta, jota käytetään betonisten rakenteiden jäykistämiseen. Puisille rakennuksille pitää etsiä vaihtoehtoisia kuormansiirtoreittejä (kuva 21). (Lahtela 2019, 23; Pitkänen 2018, 35.)

Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti

Tilaelementit

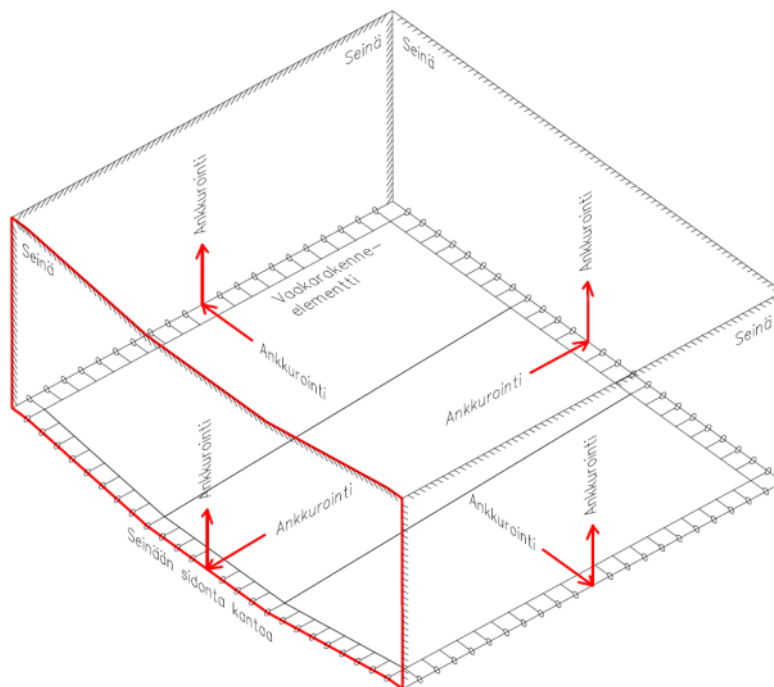


Kuva 21. Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti, tilaelementit (Pitkänen 2018, 35)

Tilaelementtirakentamisessa vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit kannattaa sijoittaa rakennuksen seiniin. Näin esimerkiksi rakennuksessa olevan alakaton romahtaminen ei vaikuta rakennuksen pystyssä pysymiseen. Vaihtoehtoinen kuormien siirtoreitti voi olla myös rakenteiden vaakasidonta. Vaakasidonta tapahtuu yleisesti ankkuroimalla rakenteet rakennuksen seiniin. Vaakasidonnan etuna on rakenteiden kantavuuden parantaminen. Lattiat seiniin kiinnittämällä, ehkäistään lattian jonkun kohdan romahtamisen aiheuttama rakenteiden keskeytyksen heikentyminen (kuva 22). (Lahtela 2019, 23; Pitkänen 2018, 27.)

Vaakasidonta

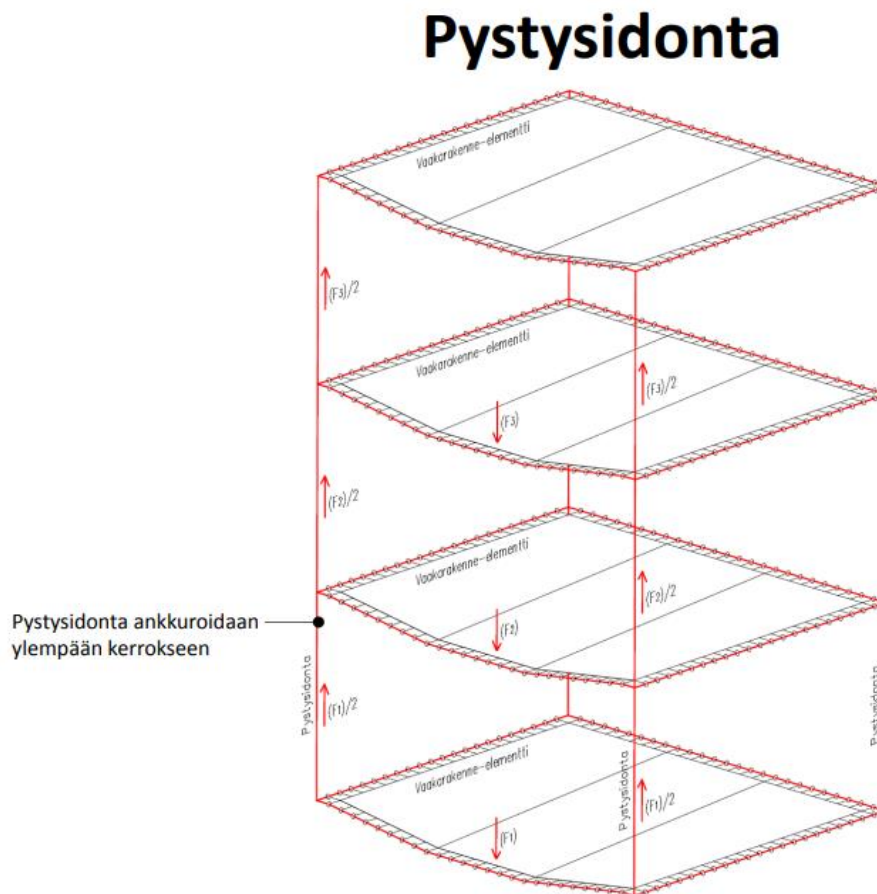
Sidonta seiniin



Kuva 22. Vaakasidonta, sidonta seiniin (Pitkänen 2018, 27)

Puurakentamisessa rakennusosien liittymät suunnitellaan tapauskohtaisesti. Liittymien suunnittelussa on otettava huomioon myös se, miten palo-, lämpö- sekä kosteustekniikka toimivat rakennuksessa. Jatkuvan sortumisen estäminen erilaisilla kiinnitys- tai sideratkaisuilla on puisten rakennusten suunnittelussa enemmän työtä tuova osuus. Jatkuvan sortumisen estäminen on puurakentamisessa haastavampaa kuin betonirakentamisessa. Tämä korostuu siinä, miten puisille rakenne- ja liitosratkaisuille pitää etsiä vaihtoehtoisia kuormansiirtoreittejä rakennuksen runkoa suunnitellessa. Puisten rakennusten jatkuvaa sortumista pystytään ehkäisemään ankkuroimalla rakennuksen seiniä ja lattiaa toisiinsa erilaisten kulmarautojen avulla. Rakennuksen rungon osat

voidaan myös kiinnittää toisiinsa erilaisilla rengas- tai pystysidonnoilla. Nämä kiinnitystavat ovat yleisesti käytössä rakennusten suunnittelussa. Pystysidontan avulla saadaan rakennuksen lattioiden painosta syntyviä kuormia siirrettyä rakennuksen seinille. Tällöin rakennuksen osat kestävät sortumista paremmin ja rakennuksen runko kestää sen yhden osan romahtamisen. Kuvassa 23 on esitelty, miten rakennuksen vaakarakenteista johtuvat painot saadaan jaettua rakennuksen seinille. (Lahtela 2019, 41; Pitkänen 2018, 29.)



Kuva 23. Pystysidonta (Pitkänen 2018, 29)

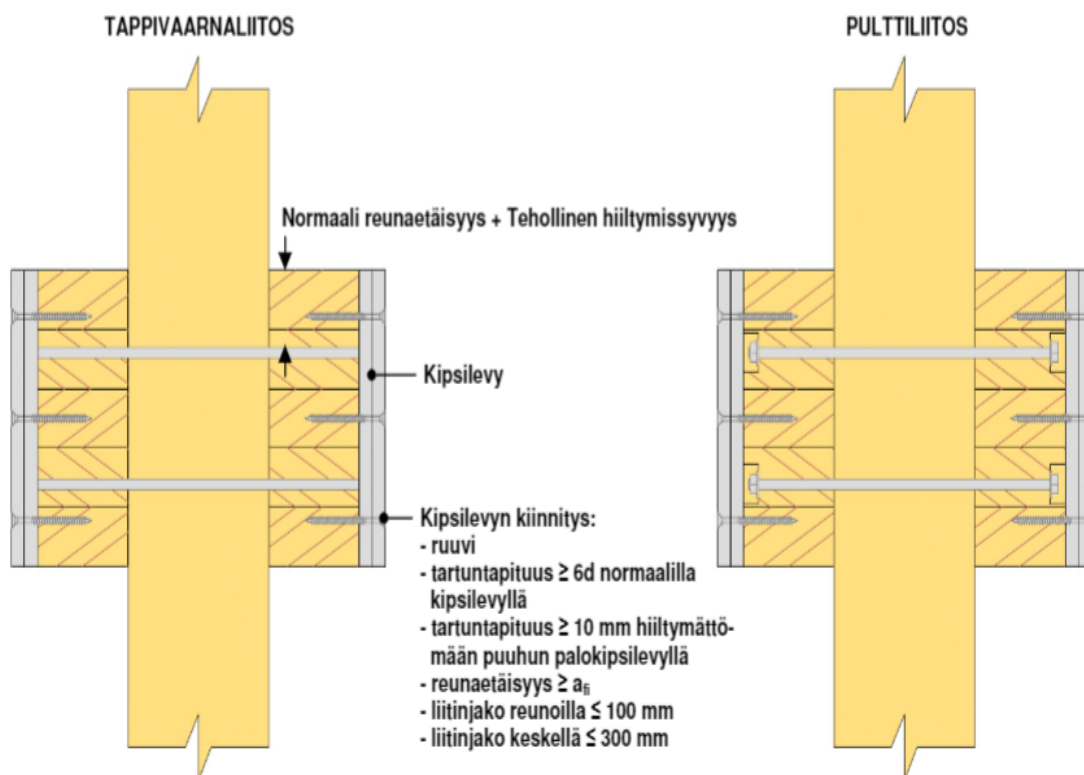
Puisissa rakennuksissa rungon sidonta on haasteellisempaa johtuen siitä, ettei terästä ole betonin tapaan liiaksi käytettävissä. Betonissa on raudoitusta valmiiksi tuomassa lisää kestävyttä betonisille rakennusosille. Puisissa rakennuksissa raudoituksen vähäisyys aiheuttaa sen, että rakenteiden liitokset toisiinsa vaativat enemmän suunnittelua. (Lahtela 2019, 41.)

6.2 Metalliset kiinnitysratkaisut

Metallisilla kiinnitysratkaisuilla tarkoitetaan erilaisia ruuvi-, naula-, pultti- ja levykiinnikejärjestelmiä. Tuotteen käytössä sekä tuotteen kiinnityksessä voi olla

eroavaisuuksia, riippuen tuotteen valmistajasta. Tuotetta valitessa suunnittelijan tulee huomioida tuotteen soveltuvuus kohteeseen jota suunnitellaan. Suunnittelijan pitää myös varmistaa, että kyseinen tuote täyttää siltä vaaditut vaatimukset kiinnityksen kestävyuden osalta. Suunnittelijan täytyy myös varmistaa, miten kiinnike kestää rakennuksen kuormat myös palotilanteessa. Yleisesti liitokset pitää palosuojata puisissa liitoksissa paremmin kuin betonisissa vastaavissa. Puisissa rakenteissa palosuojaukseen käytetään levyverhousta, paloa kestävää lämmöneristettä, kuten esimerkiksi kivivillaa, massiivipuuta tai palomassaa. (Pitkänen 2018, 4.)

Rakenteita voidaan myös suojata rakenteellisesti esimerkiksi rakesuojauksen avulla. Lämmitessään teräs menettää rakenteellista lujuuttaan, minkä takia teräsosat pitää suojata palamisen aiheuttamalta lämpösäteilyltä. Myös paloluokitus vaikuttaa liitosten suojaukseen, ja mitä korkeampi paloluokitus on, sitä paremmin liitos pitää palosuojata. Puisissa rakenteissa liitoksia voidaan suojata esimerkiksi verhoamalla ne paloa kestäville kipsi- tai puulevyillä (kuva 24). (Pitkänen 2018, 4.)

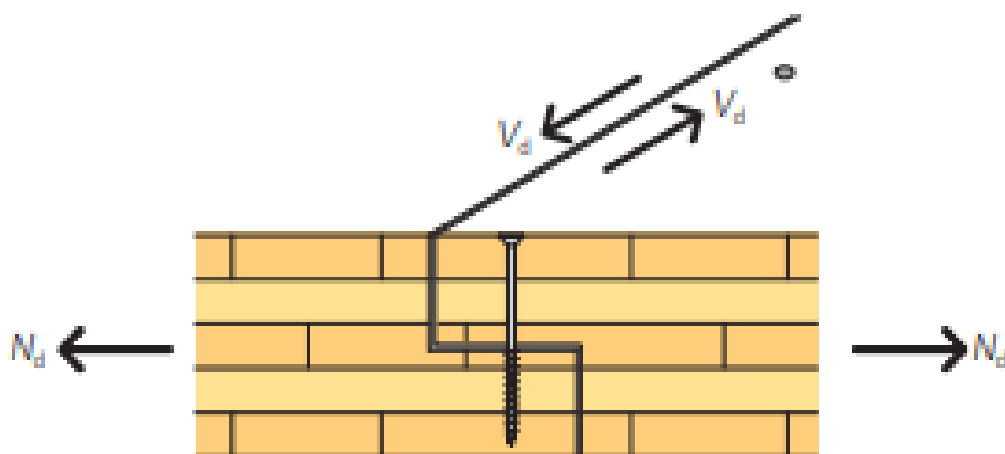


Kuva 24. Puikkoliittimen palosuojaus kipsilevyllä (Puuinfo 2013, 30)

Myös lämmöneristeellä, joka on paloa kestävä sekä sulamaton, esimerkiksi kivillaeriste, saavutetaan rakenteelle hyvä suojaavuus tulipalotilanteessa. Myös puuta voidaan käyttää rakenteen suojaukseen. Puuta voidaan käyttää liitosten päällä, jolloin palotilanteessa puu hiiltyy ja ottaa tulipalosta aiheutuva lämmön vastaan. Tämä ehkäisee liittimeen pääsevää lämpösäteilyä, mikä vaikuttaa liittimen kestävyYTEEN. Myös palosuojamaalia tai vastaavia palosuojausaineita käyttämällä pystytään suojaamaan liitoksia tulipalon aiheuttamalta lämpörasitukselta. Palomaalien ja muiden palosuoja-aineiden suojausteho on valmistajasta riippuvainen sekä siitä, mikä on haluttu tuotteen palonkesto. (Pitkänen 2018, 4.)

6.3 Puiset kiinnitysratkaisut

Vaihtoehtoisia kiinnitysratkaisuja puurakentamisessa ovat puisten elementtien käyttäminen rakentamisessa sekä näihin elementteihin tehtävät hammastus- tai ponttiliitokset. Ponttiliitokset toteutetaan CLT-elementtitehtailla CNC-koneilla jyrsimällä liitokset suoraan elementteihin. Ponttiliitos toimii hyvin seinien, nurkkien sekä ala-, väli- ja yläpohjien kiinnityksissä toisiinsa. Ponttiliitos on myös kaikista nopein ja edullisin liitosvaihtoehto toteuttaa CLT-rakentamisessa. Kuvassa 25 on esitelty ponttiliitosta CLT-elementtien välillä sekä sitä, miten ponttiliitos jakaa rakennuksessa rakenteiden painosta johtuvia voimia.



Kuva 25. Half-lap joint (Gustafsson 2019, 76)

Ponttiliitokset sekä erilaiset hammastusliitokset ovat käytössä erilaisten CLT-elementtien toisiinsa kiinnityksessä. Näiden liitosten avulla saadaan rakennuksen osat kiinnitettyä toisiinsa huomaamattomasti, mutta tämä toimintatapa

vaatii tarkkaa suunnittelua. Ponttiliitoksissa liitoksia pystytään suojaamaan erilaisilla palosuoja-aineilla tai laittamalla ponttiliitosten väliin siihen tarkoitukseen suunniteltua palokatkonauhaa. Palokatkonauha on soveltuva myös rakenteiden välisten liitosten tiivistykseen, ja normaalisti ponttiliitosten väliset puuosat pitää tiivistää erilaisilla tiivistenaupoilla. Tiivistenauhan vaihtaminen palokatkonauhaksi tuo rakenteelle myös tulipalotilanteessa palosta aiheutuvien kaasujen ja savun leviämisen estävän suojauksen liitosten ulkopuolella olevien rakennusosien välillä. Palosuojaamalla ponttiliitosten osat erilaisilla palosuoja-aineilla saadaan parempi palonkestävyys kuin käyttämällä vain pelkkää palosuoja-ainetta. Liitosten suojaaminen palokatkonauhalla ja palosuoja-aineilla tuovat rakenteille hyvän palonkestävyyden. (Lahtela 2021, 95; Rautiainen 2018, 54.)

Suunnitteluvaiheessa täytyy kiinnittää huomiota liitosten sijoitteluun. Sijoittelun avulla liitoksista saadaan mahdollisimman tiiviitä, siistejä ja huomaamattomia. Hammastusliitosta käytettäessä tarvitaan palosuojausta varmistamaan liitoksen kestävyys tulipalotilanteessa. Jos hammastusliitos on toteutettu loiveamalla elementtien väliin koloja sekä ulokkeita, pitää liitokset käsitellä palosuoja-aineilla. Tämä ehkäisee rakenteen palamista ja parantaa liitoksen kestävyttä tulipalotilanteessa. Hammastusliitos on myös hyvä tapa saada liitos piilotettua rakenteiden sisälle huomaamattomaksi. Hammastusliitokset ovat myös käytössä CLT-rakentamisessa ponttiliitosten ohella. Molemmat liitostavat ovat hyviä rakenteiden kiinnityksissä toisiinsa, mutta näiden liitostapojen käyttö vaatii enemmän suunnittelua. Kuvassa 26 on esitelty hammastusliitosta. (Lahtela 2021, 95; Rautiainen 2018, 54.)



Kuva 26. Internal spline (Douglas 2013, 192)

Liitosten palosuojaus varmistaa liitoksen kestävyuden ja tiiveyden palokaasuja vastaan. Hammastusliitoksessa on myös huomioitu puu puuta vasten tapahtuva rakenteiden toisiinsa liittyminen. Tässäkin liitostavassa tarvitaan silti metallisia kiinnikkeitä puuosien kiinnittämiseen toisiinsa. (Lahtela 2021, 95.; Rautiainen 2018, 54.)

6.4 Palamisen vaikutukset rakenteiden kiinnitykseen

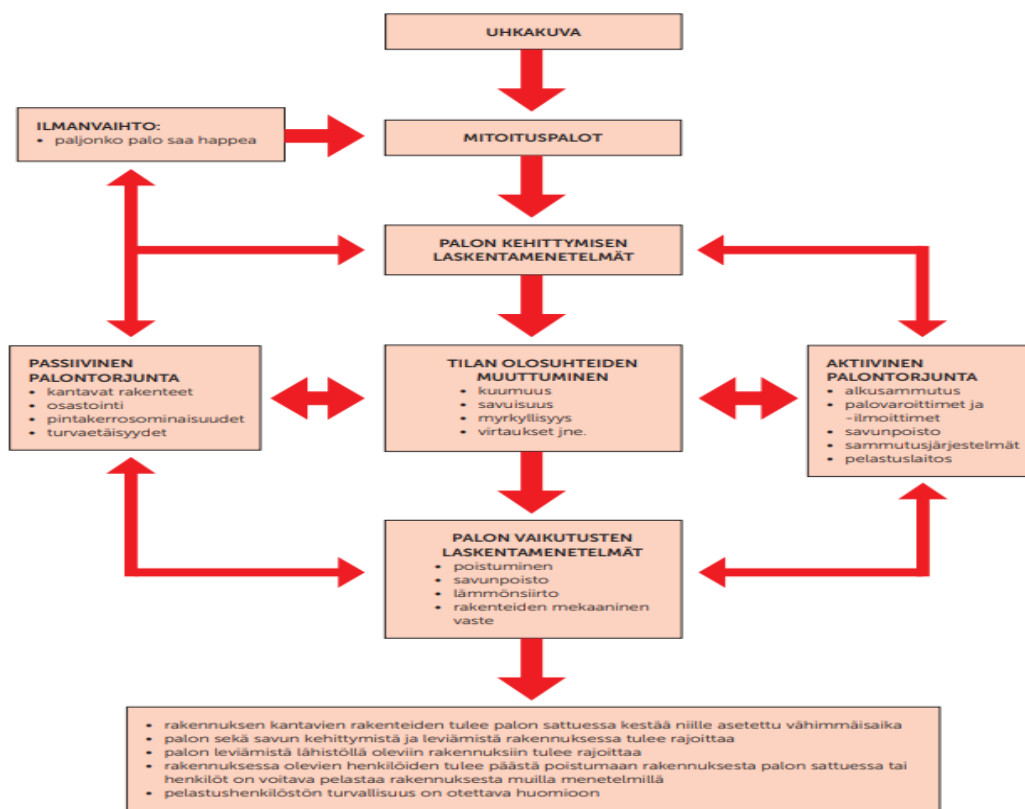
Palaminen tuottaa aina lämpöä, kun materiaali palaa. Palamisen vaikutuksesta syntyy myös haitallisia palokaasuja, jotka ovat ihmiselle ja ympäristölle vaarallisia. Lämmön vaikutuksesta rakennuksen rakenteiden kiinnitysjärjestelmät kärsivät ja heikentyvät, joten kiinnitysjärjestelmät pitää suojata tulipalolta. Suojaus tapahtuu lisäämällä kiinnikkeiden päälle levytystä, palosuoja-aineita tai palon kestävää villoitusta. Palokaasujen leviäminen rakennuksen eri osista toiseen estetään osastoimalla rakenteet omiksi palo-osastoikseen, mikä ehkäisee sen, ettei palokaasujen leviämistä pääse tapahtumaan eri palo-osastojen välillä. Kun tulipalo vaatii pelastajien avulla tapahtuvaa sammutusta, vaatii veden käyttö tulipalon sammutuksessa tarkkaavaisuutta. Käytettäessä vettä sammuttamiseen leviää sammutusvedestä vesihöyryä veden kohdatessa palavan kohteen. Jos rakenteita ei ole tiivistetty tarpeeksi, pääsee sammutuksessa vapautuva vesihöyry sekä sammutukseen käytettävä vesi leviämään eteenpäin muihin rakennuksen osiin. Tämän takia rakenteet olisi tärkeää suunnitella mahdollisimman tiiviiksi, ettei eri palo-osastojen välillä pääse tapahtumaan veden tai vesihöyryn leviämistä. Veden leviäminen rakennuksen sammutuksen yhteydessä vaikuttaa myös rakennuksen rakenteiden kestävyys-teen. Rakenteiden kostuessa pitää ne saada kuivatettua, mikä on puisissa rakennuksissa myös suunnittelussa huomioitava asia. (Lahtela 2021, 41.)

Kiinnikkeet on yleensä valmistettu metallista. Valmistusmateriaali vaikuttaa siihen, miten hyvin kiinnikkeet kestävät tulipalosta aiheutuvaa lämpöä, vettä ja veden sekä lämmön vaikutuksesta kiinnikkeille aiheutuvaa korroosiota. Korroosiolla tarkoitetaan metallien syöpymistä ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta. Korroosiota varten kiinnikkeitä suojataan sinkityksellä ja erilaisilla pinnoitteilla, jotka hidastavat korroosion vaikutusta kiinnikkeille. Myös valitsemalla ruostumatonteräs kiinnikkeen materiaaliksi pystytään ehkäisemään kiinnikkeen korroosiota. Veden ja lämmön yhteisvaikutuksesta kiinnikkeet muuttavat

muotoaan ja niiden rakenteellinen kestävyys heikkenee. Suunnittelussa kiinnikkeet kannattaa mieluummin ylimitoittaa ja valita hieman isompi kiinnikkeen koko kuin mitä kestävyuden laskennan tuloksena saadaan. Kiinnikkeen ylimitoitus on oleellinen osa liitosten palomitoittamista, ja tämä mitoitustapa varmistaa rakenteen pystyssä pysymisen. (Lahtela 2021, 41; Teräsrakenneyhdistys 2012.)

7 TOIMINNALLINEN PALOMITOITUS

Puurunkoinen rakennus voidaan toteuttaa kaikissa lain määräämissä paloluokissa. Tyypillisesti puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia on esitetty palomääräysten taulukkomitoituksessa. Taulukkomitoitukseen on koottu vaatimukset, jotka ovat esitetty helpottamaan paloluokan ja rakennusmateriaalien valintaa puurungon suunnittelun näkökulmasta. Toiminnallisessa palomitoituksessa vaatimusten täytyminen todennetaan aina tapauskohtaisesti ottamalla huomioon rakennuksen käyttö, ominaisuudet sekä passiiviset ja aktiiviset palontorjuntamenetelmät. Kuvassa 27 on esitelty toiminnallisen palomitoituksen kulku.



Kuva 27. Toiminnallisen palomitoituksen palotekniset tekijät riippuvuuksineen (Lahtela 2021, 22)

Toiminnallisen palomitoituksen kulku on riippuvainen eri tekijöistä, joita rakennuksen suunnittelu vaatii paloteknisestä näkökulmasta. Tämä aloitetaan mahdollisella uhkakuvalla, mikä voi pahimmillaan tapahtua rakennuksen palamisen yhteydessä. (Lahtela 2021, 13–22; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 12–13 §.)

Passiivisia palontorjuntamenetelmiä ovat esimerkiksi suojaetäisyydet, palokatkot, rakennusosien osastoinnit ja materiaalien palo-ominaisuudet. Aktiivisia palontorjuntamenetelmiä ovat automaattinen sammutuslaitteisto, sprinklaus ja savunpoisto. Myös palovaroitin kuuluu aktiivisiin palontorjuntamenetelmiin. Palovaroitin pitää olla huoneistokohtaisesti ja yleisissä tiloissa. Jokaista huoneiston 60 neliometriä kohden tulee olla vähintään yksi palovaroitin. Isommissa rakennuksissa palovaroittimet suositellaan kytkettäväksi sarjaan ja varustettavaksi verkkovirralla. (Lahtela 2021, 13–22; Pelastustoimi s.a.)

Savunpoisto rakennuksesta suunnitellaan niin, että sähkö- tai käsikäyttöiset paloluukut asennetaan rakennuksen kattoon. Paloluukkujen ohjauspaneeli sijaitsee rakennuksen ulko-oven läheisyydessä. Ohjauspaneelista paloluukut voidaan avata, kun tilasta pitää poistaa savukaasuja. Luukkujen avaaminen tapahtuu pelastuslaitoksen henkilöstön tai huoltoyhtiön toimesta. Vanhemmissa rakennuksissa ei ole aina suunniteltu katolle aukeavia paloluukkuja. Vanhemmissa rakennuksissa savunpoisto voidaan toteuttaa myös ylimmässä kerroksessa olevan käytävän ikkunan avulla. Kun ikkuna avataan, voidaan porraskäytävässä olevaa savua poistaa rappukäytävästä ulkoilmaan. Savunpoisto tilasta ehkäisee myös savusta aiheutuvien vahinkojen syntymistä. (Lahtela 2021, 13–22.)

Rakennuksen koko elinkaari pyritään ottamaan huomioon paloteknisessä suunnittelussa mahdollisine muutoksineen ja vaihteluineen. Palotekninen suunnitelma toteutetaan yhteistyössä paloteknisen insinööritoimiston, rakennesuunnittelijoiden, rakennuksen rakennuttajan sekä viranomaisten kanssa. Paloteknisessä suunnitelmassa tuodaan esille erilaisia uhkakuvia, joita rakennuksen palamisen mahdollisuuteen liittyy. Näitä uhkakuvia tulee käsitellä kriittisesti. Puun ominaisuudet täytyy huomioida suunnittelussa, koska puukerrostaloa ei pystytä suunnittelemaan samoilla periaatteilla, joita on käytetty betonirunkoisen talon suunnittelussa. Nämä eroavaisuudet johtuvat materiaalien

erilaisista paloteknisistä ominaisuuksista. Betoni on palamaton materiaali, ja puu taas on palava materiaali. Suunnittelussa on huomioitava erilaiset uhkakuvat, kuten missä, milloin ja miten tulipalo voi syttyä. Suunnittelussa tulee arvioida, kuinka isoksi palo voi kehittyä, miten pitkään palo voi kestää sekä miten isoksi palo voi kasvaa. Henkilömäärä rakennuksen sisällä on myös huomioitava rakennuksen suunnittelussa mahdollisen tulipalon sattuessa. Paloteknisessä suunnittelussa tulisi myös huomioida tulipalosta aiheutuvat vahingot irtaimistolle, rakennukselle ja ympäristölle. (Lahtela 2021, 13–22.)

Asiakirjat ja dokumentit, jotka toiminnallisesta palomitoituksesta saadaan, ovat tärkeitä rakennuslupakäsittelyä varten. Nämä asiakirjat ovat tarpeellisia myös rakennusta suunnittelevien, rakennusta rakennuttavan, rakennusta rakentavien sekä rakennuksen omistavien tahojen käyttöön. Näistä dokumenteista pystytään tutkimaan suunnittelun kautta esille tulleita poikkeuksia sekä se, miten näitä poikkeuksia pystytään käsittelemään. Asiakirjoista käy myös esille, miten näihin suunnittelun kautta esille tulleisiin poikkeuksiin pystytään varautumaan. Rakennusyhtiön talon asukkaalle annettavassa kiinteistötoimintaa kuvaavassa dokumentissa kerrotaan, miten heidän pitää omalla toiminnallaan edistää rakennuksen turvallisuutta sekä mitä heidän tulee huomioida esimerkiksi tavaroiden säilytyksessä. (Lahtela 2021, 13–22.)

Toiminnallisen palomitoituksen tuloksien hyväksymisessä käytetään tavallisesti niin sanottua vertailuperiaatetta. Käytännössä saatuja mittaustuloksia verrataan vastaavan käyttötavan rakennukseen, jonka paloturvallisuus on suunniteltu rakentamismääräyskokoelman taulukkomitoituksella. Vertailumitoitus ei aina ole mahdollinen käyttötapa. Etenkin silloin, jos tehdään uusia rakennusratkaisuja sisältävää rakennusta, jota ei voida verrata mihinkään aiempaan olemassa olevaan rakennukseen. Esimerkiksi arkkitehtonisesti näyttävien ja haastavien rakennusten teossa pitää huomioida, ettei vertailuperiaatetta pystytä käyttämään. Tämä johtuu siitä, ettei käytössä ole aiempia mittaustuloksia vastaavista rakennuksista. Julkisella puolella alkaa olemaan kattava vertailupohja erilaisten rakennusten suunnittelusta. Esimerkiksi koulujen, hoitokotien ja urheiluhallien olemassa olevien mallien pohjalta pystytään suorittamaan vertailua palomitoituksessa. Olemassa olevien mallien pohjalta pystytään katsomaan, miten suunnitelma toimii suunnittelussa olevaan julkisen

rakennuksen, esimerkiksi koulun tai hoivakodin rakentamiseen. (Lahtela 2021, 13–22.)

Toiminnallisen palomitoituksen tulosten hyväksymiskriteerit johdetaan aina seuraavista olennaisista vaatimuksista. Näitä oleellisia vaatimuksia ovat palon- ja savunkehittymisen sekä näiden leviämisen rajaaminen. Kantavilla rakenteilla tulee olla vaadittu palonkestävyys. Palon leviäminen viereisiin rakennuksiin tulee rajoittaa. Henkilöiden tulee voida poistua rakennuksesta palotilanteessa tai heidät tulee voida pelastaa muiden avustuksella. Myös pelastushenkilöstön turvallisuus tulee ottaa huomioon toiminnallisen palomitoituksen suunnittelussa. (Lahtela 2021, 14; Maankäyttö- ja rakennuslaki, 117 §.)

Toiminnallinen palomitoituksen avulla voidaan tehdä poikkeavia ratkaisuja palomääräysten taulukkomitoituksesta. Toiminnallinen tarkastelu voidaan kohdentaa myös yksittäisiin rakennekokonaisuuksiin, joten osa rakennuksesta voidaan tehdä taulukkomitoituksella ja osa toiminnallisella palomitoituksella. Toiminnallinen palomitoitus antaa mahdollisuuden optimoida rakenneratkaisuja. Rakenneratkaisujen optimoinnilla saavutetaan kustannussäästöjä rakentamisessa. Toiminnallista palomitoitusta voidaan käyttää myös, kun halutaan tehdä rakennus tai rakennekokonaisuus, jota ei voi toteuttaa taulukkomitoituksen avulla. Toiminnallista palomitoitusta on hyödynnetty esimerkiksi korkeiden puurakennusten suunnittelussa ja suurissa hallimaisissa rakennuksissa. Toiminnalliseen palomitoitukseen kuuluu myös jos halutaan tehdä poikkeus rakennusten väliseen minimietäisyyteen. Rakennusten välinen minimietäisyys pitää olla vähintään kahdeksan metriä ilman rakennuksessa olevaa palomuuria. Jos taas halutaan rakentaa rakennus lähemmäksi toista rakennusta, pitää rakennuksen seinien paloluokitusta muuttaa kestävämmäksi. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta määrittelee lain vaatimukset myös toiminnallisen palomitoituksen suunnitteluun. (Lahtela 2021, 14; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 22–29 §.)

8 PALOTURVALLISUUDEN PARANTAMINEN

Paloturvallisuutta voidaan parantaa rakennusta suunnitellessa asentamalla niihin sprinklerijärjestelmiä, paloilmottimia ja palovaroittimia. Suomessa kaikkiin yli kaksikerroksisiin puurakennuksiin tai puukerrostaloihin on rakennettava

automaattinen sammutusjärjestelmä. Paloturvallisuutta pystytään myös parantamaan valitsemalla rakennuksen rakennusmateriaaleiksi tulipalon kanssa mahdollisimman vähän muotoaan muuttavia materiaaleja, jotka säilyttävät kantavuutensa sekä kestävyytensä tulipalotilanteessa. Rakenteiden palosuojaus on oleellinen osa paloturvallisuuden parantamista. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 39 §.)

Palovaroitin on laite, joka tunnistaa ilmassa olevia kaasuja ja hälyttää jo siinä vaiheessa, kun mahdollinen palo ei ole vielä päässyt syttymään. Saatavilla on myös laitteita, jotka tunnistavat savukaasun lisäksi häkä- ja nestekaasun sekä laitteita, jotka on mahdollista ketjuttaa isommaksi ryhmäksi. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden varoittimen lauetessa kaikki muutkin samaan ketjuun kytketyt varoittimet alkavat hälyttää. Olemassa on myös kuulovammaisille tarkoitettuja tärinällä ja valolla varustettuja palovaroittimia. Sähköverkkoon kytketty palovaroitin on pakollinen asunnoissa, enintään 50 majoituspaikan majoitustiloissa, päivähoitolaitoksissa ja enintään 250 oppilaan kouluissa. Asunnoissa voi myös käyttää pattereilla varustettua palovaroitinta, jos laitetta ei ole mahdollista kytkeä sähköverkkoon. Palovaroittimen sähköverkkoon kytkeminen ei vanhemmasta rakennuskannasta johtuen ole aina mahdollista. (Lahtela 2021, 78; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 38 §.)

Paloilmoitin on järjestelmä joka antaa automaattisesti ja välittömästi hälytyksen alkavasta palosta sekä laitteiston toimintavalmiutta vaarantavista vioista. Järjestelmän pitää ilmoittaa alkavasta palosta vähintään palo-osaston laajuudella. Järjestelmän virransaanti tulee olla varmistettu myös sähkökatkosten aikana. Paloilmoitin on pakollinen päiväkodeissa, muissa varhaiskasvatuksen tiloissa ja kouluissa, joissa on 251–500 oppilasta. Hätäkeskukseen kytketty paloilmoitin toimii paloilmittimen tapaan, mutta se lähettää lisäksi hälytyksen hätäkeskukseen. Hätäkeskukseen kytketty paloilmoitin muodostuu ilmoitinkeskuksesta, teholähteestä, paloilmmaisimista, paloilmoituspainikkeista, hälyttimistä ja automaattisesta ilmoituksensiirtojärjestelmästä. Järjestelmään voi lisäksi liittyä myös palonrajoitus- ja sammutuslaitteistojen sekä pelastustöitä helpottavien laitteiden toimintailmoituksia. Hätäkeskukseen kytketty paloilmoitin on pakollinen yli 50 majoituspaikan majoitustiloissa, yli 25 vuodepaikan hoitolaitoksissa, yli 50 vuodepaikan ympärivuorokautisissa päiväkodeissa ja yli

500 oppilaan kouluissa. (Lahtela 2021, 78; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 38 §.)

Tarkoitukseen sopiva ja hätäkeskukseen kytketty automaattinen sammutuslaitteisto on oltava P2-paloluokan yli 2-kerroksissa rakennuksissa ja yli 2-kerroksissa P1-paloluokan rakennuksissa, joiden korkeus on yli 56 metriä. Automaattisilla sammutuslaitteistoilla tarkoitetaan pelastustoimintaa helpottavaa laitteistoa, jonka tarkoituksena on sammuttaa ja/tai rajoittaa havaitsemansa palo. Laitteiston laukeaminen osoitetaan kiinteistöissä akustisin tai optisin merkinnannoin. Yleensä hälytystiedot välittyvät automaattisista sammutuslaitteistoista myös hätäkeskukseen. Laitteistot ryhmitellään säädöksissä sprinklerilaitteistoihin, kaasusammutuslaitteistoihin ja muihin yksilöitävissä oleviin sammutuslaitteistoihin, kuten esimerkiksi vesisumulaitteistoihin. Sprinklerisuuttimien laukaisumekanismi perustuu lasiampulliin, jossa on nestettä. Palotilanteessa neste laajenee ja rikkoo lasiampullin, jonka seurauksena suuttimesta alkaa tulla vettä. Suuttimet laukeavat vain paloalueella, joten koko talon sprinklerisuuttimet eivät laukea samanaikaisesti. Suuttimet voidaan asentaa kattoon tai seinään. Suuttimet voivat olla pinta- tai piiloasennettuja. Jokaiselle sprinklerien asennustavalle on olemassa oma suutintyyppinsä. (Lahtela 2021, 79; Tukes s.a; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 39 §.)

9 POHDINTA

Opinnäytetyöni tarkoituksena oli selvittää, mitä kaikkia erityiskysymyksiä liittyy puurakenteiden palotekniseen suunnitteluun. Paloteknisiä erityiskysymyksiä ovat esimerkiksi rakennuksen paloluokka, palo-osastojen toteutus, ontelotilojen palokatkot, rakennuksessa olevat sammutuslaitteistot sekä se, miten tulipaloon pystytään varautumaan jo rakennusta suunnitellessa. Suomen laki määrittelee rakennukselle paloluokan rakentamistavasta ja rakennuksen korkeudesta riippuen sekä sen, mistä materiaalista se voidaan rakentaa. Työssä käsiteltiin puisten rakennusten paloteknisiä asioita, ja vaikka puu on palava materiaali, voidaan siitä rakentaa paloteknisesti toimivia rakennuksia. Tosin puisissa rakennuksissa rakennuksen palosuojaukseen pitää kiinnittää enemmän huomiota kuin rakennettaessa muista perinteisistä materiaaleista. Muita perinteisiä rakennusmateriaaleja ovat betoni, teräs ja luonnonkivi.

Puurakentamisen lisäämisen julkisissa rakennuksissa näen hyvänä asiana. Puurakentamisen lisääminen mahdollistaa myös sen, että Ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelman tavoitteet täyttyvät. Puu on myös luonnollinen materiaali, joka auttaa ilmastotavoitteiden saavuttamisessa sekä parantaa rakennuksen hiilijalanjälkeä. Puu on hinnaltaan kalliimpi rakennusmateriaali, mutta mitä enemmän rakennetaan puusta, sitä enemmän saadaan tutkimustietoa ja kokemusta puisista rakennuksista. Tutkimustietoa ja rakentamisen yhteydessä saatujen kokemusten perusteella pystytään tulevaisuudessa rakentamaan hinnaltaan kilpailukykyisempiä rakennuksia ja saadaan rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia pienemmäksi vakioituilla rakennusmenetelmillä. Vaikka puusta rakentaminen on kalliimpaa verrattuna perinteisistä rakennusmateriaaleista rakentamiseen, käytettäessä moduulirakentamisen tuomia rakentamiseen kuluvan ajan säästöjä saadaan kustannussäästöjä rakentajan nopeutumisella.

Koska puu on palava materiaali, pitää sen suojaukseen kiinnittää huomiota puisissa rakennuksissa. Myös puisissa rakennuksissa olevien rakennusosien ja rakenteiden liittymien suojaus on oleellinen asia, mihin rakennuksen suunnittelun yhteydessä pitää kiinnittää huomiota. Puuta voidaan suojata erilaisilla levytyksillä, palosuoja-aineilla ja kivivillaeristeillä. Vaihtoehtoisesti voidaan puiset rakenteet mitoittaa myös niin massiivisiksi, ettei tulipalosta aiheutuva hiiltymisen vaikutus vaikuta niiden rakenteelliseen kestävyYTEEN. Myös rakennuksen ulkopuolelle tarvitaan palamisen leviämisen estäviä tuotteita, kuten palokatkoja rakennuksen kerrosten väliin ja ulkovuorauksen alle. Liittymien suojauksessa pitää kiinnittää huomiota siihen, miten niiden suojaus on helpoin ja kustannuksiltaan järkevin toteuttaa. Liittymiä voidaan suojata myös erilaisilla levytyksillä, palosuoja-aineilla, kivivillaeristeillä ja laittamalla liittimen päälle puuta. Liittymien päällä oleva puu ottaa vastaan palosta aiheutuvan lämpösäteilyn, eikä päästä sitä eteenpäin liittimeen asti. Puun suojauksessa on tärkeää huomioida myös se, että palosuojaaminen ei lisää puun rakenteellista kestävyyttä. Palosuojatuotteet pidentävät sillä käsiteltyjen rakennusosien kestävyyttä tulipalotilanteessa. Palosuoja-aineiden ja tuotteiden käytössä on huomioitava myös niiden soveltuvuus kohteeseen.

Palon leviämisen estäminen rakennuksen eri osien välillä on oleellinen osa puurakenteiden paloturvallisuutta. Rakennettaessa muodostuu lähes aina

rakenneosien ja niiden suojaukseen käytettyjen levytysten väliin erilaisia ontelotiloja, jotka pitää suojata palolta. Ontelotilat pitää myös suunnitella niin, ettei palo pääse leviämään niiden kautta toiseen rakennuksen toiseen osaan. Markkinoilla on paljon erilaisia palokatkotuotteita, jotka ovat suunniteltu ontelotilojen välisten palojen ehkäisemiseen. Vaikka ontelotiloja pystytään hyödyntämään erilaisten talotekniikan vaatimien putkien viemisessä rakennusosasta toiseen, vaatii myös näiden putkien suojaaminen tulipalolta huomiota. Ontelotilassa kulkevat putket voidaan varustaa eri valmistajilta löytyvillä palokatkotuotteilla, jotka palon aiheuttaman lämmön vaikutuksesta turpoavat ja ehkäisevät palon leviämisen palokatkon toiselle puolelle. Puisille rakennusosille on olemassa hyviä eri valmistajien palokatkotuotteita, joiden avulla saadaan ehkäistä palon leviäminen rakennusosasta toiseen. Suurin osa palokatkotuotteista on suunniteltu betonirakentamiseen, mutta nykyisin markkinoilta löytyy myös tuotteita, joita voidaan käyttää puurakentamisessa.

Puurakennukset vaativat lain mukaan rakennukseen asennettavan automaattisen sammutuslaitteiston. Laitteistoja on olemassa erilaisia ja laitteiston valinta kannattaa valita kohteen mukaan. Sammutuslaitteistojen pääasiallinen sammutustapa on veden käyttäminen palon tukahduttamisessa. Sammutuslaitteistot toimivat hyvänä ensiapuna palon sammutukseen. Pelastuslaitoksen henkilöstön pitää kuitenkin tarkastaa tila, jossa tulipalo on ollut, jonka automaattinen sammutuslaitteisto on tukahduttanut. Pelastuslaitoksen toiminnan turvaaminen on myös tärkeä osa rakennuksen paloteknistä suunnittelua. Mitä paremmin pelastuslaitoksen henkilöstön toimintaa kohteessa pystytään helpottamaan erilaisten tulipalon sammutusta avustavien järjestelmien avulla, sitä paremmin ja nopeammin tulipalo pystytään sammuttamaan. Tämä tarkoittaa sitä, että puisesta rakennuksesta pitää löytyä automaattisen sammutuslaitteiston lisäksi kerrostasoilla olevat kiinteät sammutusvesiputkistot. Myös savunpoistoon tarkoitetut järjestelmät kuuluvat rakennuksen paloteknisen turvallisuuden toimintaan liittyvään suunnitteluun.

Kun kaikki puurakennuksen turvalliseen rakentamiseen liittyvät erityiskysymykset huomioidaan jo suunnitteluvaiheessa, pystytään rakentamaan paloturvallisia puisia rakennuksia. Toiminnallisen palomitoituksen ottaminen osaksi rakennuksen suunnittelua mahdollistaa puisten pintojen näkyviin jäämisen paremmin, ja tämä tuo rakennukseen viihtyvyyttä. Nykyisin Ympäristöministeriön

asetus rakennusten paloturvallisuudesta 927/2020 mahdollistaa puisten pintojen esiin jäämisen enemmän kuin mitä aiempi asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 mahdollisti. Puun esiin jäämisellä on tutkitusti hyviä vaikutuksia viihtyvyyteen, ja tämän koen myös tärkeänä osana puusta rakentamiseen sekä puun näkyviin jäämisessä rakennuksissa.

LÄHTEET

Aatsalo, J. 2022. Rakennuslehti. Puu vastaan betoni Turussa: Roima hintaero, mutta puulla on myös kilpailutekijänsä. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2022/02/turun-vertailuhanke-paljasti-puu-tuli-kalliimmaksi-kuin-betoni-mutta-ilmastovaikutuksissa-ja-rakentamisajoissa-selkeero/> [viitattu 28.2.2022].

Behm, K., Gröman, K., Kasurinen, H., Lakanen, L., Pajuja, T., Soukka, R. & Vatanen, S. 2021. VTT. Carbon handprint guide, v 2.0 Applicable for environmental handprint. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2021/Carbon_handprint_guide_2021.pdf [viitattu 2.2.2022].

Berglund, M. 2021. MOT. Puurakentamisen menetetty mallimaa: käsikirjoitus. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2021/10/28/puurakentamisen-menetetty-mallimaa-kasikirjoitus> [viitattu 9.2.2022].

Biotalous. s.a. Puurakennusten terveystvaikutukset WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.biotalous.fi/puurakennusten-terveysvaikutukset/> [viitattu 25.1.2022].

Builderspace. s.a. Wood vs. Concrete in construction: Pros and Cons of Each. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.builderspace.com/wood-vs-concrete-in-construction-pros-and-cons-of-each> [viitattu 20.2.2022].

E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2011. Rakennusten paloturvallisuus, Määräykset ja ohjeet 2011. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf [viitattu 2.2.2022].

Eurokoodi 5. 2020. Lyhennetty suunnitteluohje, 5 painos (2020 päivitys). PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Eurokoodi-5-Lyhennetty-suunnitteluohje-5.-PAINOS-2020-P%C3%84IVITYS-22.7.-web.pdf> [viitattu 6.2.2022].

Erävuoma, A. 8.11.2019. Rakennuslehti. Rakenteellinen energiatehokkuus – alhaisen hiilijalanjäljen tae. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/blogit/rakenteellinen-energiatehokkuus-alhaisen-hiilijalanjaljen-tae/> [viitattu 10.4.2022].

Giatec. 2020. Wood vs Concrete: The Best choice for Builders an GCs. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.giatecscientific.com/education/wood-vs-concrete-best-choice-builders-contractors/> [viitattu 20.2.2022].

Grönberg, P., Heikura, V., Rinne, T. & Lopenen, T. 2011. Huoneistopalon sammutus vaihtoehtoisilla sammutusmenetelmillä. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2011/T2570.pdf> [viitattu 1.2.2022].

Hakkarainen, T., Hietaniemi, J., Huhta, J., Jumppanen, U., Korhonen, T., Kouhia, I., Siiskonen, J., Vaari, J. & Weckman, H. 2004. Ontelotilojen paloturvallisuus. Ontelopalojen erityispiirteet sekä palojen etenemisen rakenteellinen

katkaiseminen ja sammuttaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/T2249.pdf> [viitattu 1.3.2022].

Hyttinen, V., Tolonen, P., Väisänen, T., Pelastusopisto., Suomen pelastusalan keskusjärjestö. 2008. Palofysiikka. 4.painos. Tampere: Kuopio: Helsinki: Pelastusopisto; Suomen pelastusalan keskusjärjestö. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 18.2.2022].

Jantunen, J. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://docplayer.fi/67598774-Ymparisto-ministerion-asetus-rakennusten-paloturvallisuudesta.html> [viitattu 26.2.2022].

Jantunen, J. 2020. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, annetun Ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/documents/1410903/0/YM+asetus+rakennusten+paloturvallisuudesta+perustelumuistio+23112020.pdf/56ee2f52-1e73-76e4-9d7b-f9c1c0ed10e1/YM+asetus+rakennusten+paloturvallisuudesta+perustelumuistio+23112020.pdf?t=1614685270578> [viitattu 26.2.2022].

Jokinen, E., Sutinen, V., Kilpeläinen, P. & Virtanen, V. 2021. Puurakentamisen terveysvaikutukset- tutkimuksella tietoperusteista tukea puurakentamiselle ja puun käyttömuotojen lisäämiselle. PDF-dokumentti. Saatavissa; <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526231907.pdf> [viitattu 7.2.2022].

KAMK 2020. RAVE. Rakentamisen vähähiiliset energiaratkaisut. Tietoa puukerrostalorakentamisesta. PDF-artikkeli. Saatavissa: <https://www.kamk.fi/loader.aspx?id=0949a88e-ef8c-41b6-a44f-0baae60749f9> [viitattu 22.2.2022].

Kevärinmäki, A., Oksanen, T., Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL ry [2019]. Puurakenteiden palomitoitus: eurokoodi EN1995-1-2: RIL 205-2-2019. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry [2019]. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 26.2.2022].

Kuhmo. s.a. Puurakentamisen terveysvaikutukset-tutkimushanke WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.kuhmo.fi/puurakentamisen-terveystutkimushanke/> [viitattu 17.2.2022].

Lahtela, T. 2018. Jatkuvan sortuman estäminen. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018. Moduuli 2. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/19_Jatkuvan-sortuman-est%C3%A4minen.pdf [viitattu 20.3.2022].

Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, Asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf [viitattu 18.2.2022].

Latvala, A. 2017. Vaihtoehtoiset sammutusmenetelmät. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/8489681/2017+Latvala+vaihtoehtoiset+sammutusmenetelm%C3%A4t/96a90f6d-00aa-46bc-a928-ae3f5fbeb6a4/2017+Latvala+vaihtoehtoiset+sammutusmenetelm%C3%A4t.pdf> [viitattu 4.3.2022].

Luke. 2021. Metsävarat. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://stat.luke.fi/metsa-varat> [viitattu 28.2.2022].

Maa- ja metsätalousministeriö. s.a. Puurakentaminen ja puutuotteet WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/puurakentaminen-ja-puutuotteet> [viitattu 17.2.2022].

Maaseudun tulevaisuus. 2021. Sahatavaran huippuhinnat saattavat hillitä puurakentamista – talopakettien hinnoittelu ongelmallista, toimitusajat venyneet. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/rakentaminen/artikkeli-1.1495679> [viitattu 19.2.2022].

Maaseudun tulevaisuus. 2022. Ruotsin metsäteollisuus ylsi ennätysvientiin – ”Odotettu pandemiasta toipuminen jää luultavasti tapahtumatta”. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/tilaajille-7.140698?ald=1.1831924#:~:text=Ruotsin%20mets%C3%A4teollisuuden%20viime%20vuosi%20oli,Vienti%20kasvoi%2015%20prosenttia.> [viitattu 20.3.2022].

Maankäyttö ja rakennuslaki. 5.2.1999/132. Paloturvallisuus 117 b §

Metsälehti. 2020. Ruotsalaistutkimus: Puusta talo halvemmalla kuin betonista. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.metsalehti.fi/uutiset/ruotsalaistutkimus-puusta-talo-halvemalla-kuin-betonista/#afc60133> [viitattu 2.2.2022].

Metsäteollisuus. 2021. Viisi faktaa metsäteollisuuden viennistä. WWW-artikkeli. Saatavissa: https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/viisi-faktaa-metsateollisuuden-viennista?qclid=CjwKCAiA6seQBhAfEiwAvPqu14oXdGpodfgz-sIzrfpg-2-C-ZjC6As3SAqk21emn4LsmXzQGk3aWrhoCDosQAvD_BwE [viitattu 20.2.2022].

Moelven. s.a. Mjøstårnet. Standing 85,4meters tall, Mjøstårnet is officially the world’s tallest timber building. WWW-artikkeli. Saatavilla: <https://www.moelven.com/mjostarnet/> [viitattu 15.2.2022].

Mölsä, S. 2020. Rakennuslehti. Hiilijalan- ja kädenjälki ohjaavat pian rakentamista ja ehkä EU:n elvytysrahojen jakoakin. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2020/08/hiilijalan-ja-kadenjalki-ohjaavat-pian-rakentamista-ja-ehka-eun-elvytysrahojen-jakoakin/> [viitattu 20.2.2022].

Mölsä, S. 2021. Rakennuslehti. Analyysi: Puurakentaminen on liian kallista, siksi sen edistämässä siirryttiin pakkoon. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2021/03/analyysi-puurakentamista-on-edistetty-yli-25-vuotta-mutta-vasta-pakko-tuotti-tulosta/> [viitattu 19.2.2022].

Oulu-Koillismaa pelastuslaitos. 2019. Ohje kiinteiden sammutusvesiputkistojen suunnittelusta ja toteutuksesta. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/7801780/7921622/Kuivanou-suohje2019.pdf/ca61280f-c057-447e-b28e-e23a5a8d64cd> [viitattu 21.2.2022].

Pelastuslaki. 29.4.2011/379.

Suomen Palokatkoyhdistys Ry. 4.5.2019. Palokatko-opas. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://palokatko-yhdistys.fi/pdf/Palokatko-opas-22052019.pdf> [viitattu 20.3.2022].

Suomen virallinen tilasto (SVT) helmikuu 2022. Rakennuskustannusindeksi (verkojulkaisu) 2022 tammikuu. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/rki/2022/01/rki_2022_01_2022-02-15_fi.pdf [viitattu 19.2.2022].

Pelastustoimi. 2022a. Rakennuspalot/rakennuspalovaarat kuluvana, edeltävänä ja aikaisempina vuosina, koko maa. WWW-tilasto. Saatavissa: <https://prontonet.fi/Pronto3/online1/TpRakPalotS.htm> [viitattu 18.2.2022].

Pelastustoimi. 2022b. Kaikki tehtävät kuluvana, edeltävänä ja aikaisempina vuosina, koko maa. WWW-tilasto. Saatavissa: <https://prontonet.fi/Pronto3/online1/TpKaikkiS.htm> [viitattu 18.2.2022].

Pelastustoimi. s.a. Varoitimet. Saatavissa: <https://pelastustoimi.fi/koti-ja-ar/ki/ennaltaehkaisy/varoitimet> [viitattu 27.2.2022].

Pitkänen, J. 2018. Liitosten suojaratkaisut puurakennuksessa. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/32_Liitosten-palosuojaratkaisut-puurakennuksessa.pdf [viitattu 20.3.2022].

Puuinfo. 2020a. Rakenteet, rankarakenteet. Palotekniset erityiskysymykset. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/palotekniset-erityiskysymykset/> [viitattu 21.2.2022].

Puuinfo. 2020b. Tuotteet, paloturvallisuustuotteet. Burnblock- palosuoja-aine. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/tuotteet/paloturvallisuustuotteet/burnblock-paluoja-aine/> [viitattu 22.2.2022].

Puuinfo. 2020c. Tuotteet, paloturvallisuustuotteet, Fontefire WF. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/tuotteet/paloturvallisuustuotteet/fontefire-wf-paluoja-puulle-paloluokka-b-s1-d0/> [viitattu 22.2.2022].

Puuinfo. 2020d. Puutieto, puun ominaisuudet. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/> [viitattu 28.2.2022].

Puuinfo. 2021a. Suunnittelu. Määräykset. Palomääräysten muutokset vuoden 2021 alusta. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/maaraykset/palomaaraysten-muutokset-vuoden-2021-alusta/> [viitattu 3.3.2022].

Puuinfo. 2021b. Tuotteet. Paloturvallisuus. Tenmat vent firestop- tuuletusontelon paisuva palokatkonauha EI30 / EI60. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/tuotteet/paloturvallisuustuotteet/tenmat-vent-firestop-tuuletusontelon-paisuva-palokatkonauha-ei-30-ei-60/> [viitattu 27.3.2022].

Rakennuslehti. 2019. Suomen korkein puukerrostalo voitti vuoden puupalkinnon: "Uraauurtava työ". WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2019/11/suomen-korkein-puukerrostalo-voitti-vuoden-puupalkinnon-uraauurtava-tyo/> [viitattu 28.2.2022].

Rakentamisen kosteudenhallinta. s.a. Työmaan suojaus. WWW-artikkeli. Saatavissa: <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimenpiteet/suojaus/109-tyoemaan-suojaus> [viitattu 20.3.2022].

Rautiainen, E. 2018. CTL-käyttöopas pienrakentajille ja suunnittelijoille. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/145780/Rautiainen_Esa.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 21.2.2022].

Tukes. s.a. Sammutuslaitteistot. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/pelastustoimen-laitteet/sammutuslaitteistot> [viitattu 27.2.2022].

Siikanen, U. s.a. Puurakennuksen palotekninen suunnittelu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://docplayer.fi/2461915-Puurakennuksen-palotekninen-suunnittelu.html> [viitattu 18.2.2022].

Teknos. s.a. Puupintojen palosuojamaalaus. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.teknos.com/fi-FI/teollisuus/erikoispinnoitteet/palosuojaus--ja-kuumankestavat-tuotteet/puun-palosuojamaalaus/> [viitattu 21.2.2022].

Teräsrakenneyhdistys. 2012. Korroosio. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/151/8ac778e/korroosio.pdf> [viitattu 22.2.2022].

Tikanoja, T., Sumkin, H., Åström, G., Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry [2017]. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 26.2.2022].

Tikkurila. s.a. Puun palosuojamaalaus. WWW-sivu. Saatavissa: <https://tikkurila.fi/teollisuus/artikkeli/puun-palosuojamaalit> [viitattu 21.2.2022].

Yle. 2010. Savukaasut ovat hengenvaarallisia. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-5674376> [viitattu 4.3.2022].

Yle. 2022. MIT:n tutkija: metsäteollisuus voisi kasvattaa paljon positiivisia ympäristövaikutuksia – yritykset ovat arkoja, pelkona moitteet viherpesusta. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12414214> [viitattu 24.4.2022].

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetusten muuttamisesta 927/2020.

Ympäristöministeriö. 2020. Julkisen puurakentamisen kansalliset tavoitteet. Puurakentamisen toimenpideohjelma 2016–2022. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Julkinen-puurakentamisen-kansalliset-tavoitteet-45F5028E_8436_408A_8CD7_510C6C1AD000-161609.pdf/1fc95a52-5c50-4c9b-1f5d-325395658d72/Julkinen-

[puurakentamisen-kansalliset-tavoitteet-45F5028E_8436_408A_8CD7_510C6C1AD000-161609.pdf?t=1603259868530](https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/c6a6a9dc-0592-494e-82cd-00ec8d20065e/7a5f03bf-84d4-4890-8177-8acc7bc8fe3f/JULKAISU_20210505114355.pdf) [viitattu 17.2.2022].

Ympäristöministeriö. 2021. Miten lisätä puun käyttöä julkisessa rakentamisessa? PDF-dokumentti. Saatavissa: https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/c6a6a9dc-0592-494e-82cd-00ec8d20065e/7a5f03bf-84d4-4890-8177-8acc7bc8fe3f/JULKAISU_20210505114355.pdf [viitattu 19.2.2022].

Ympäristöministeriö, Motiva. 2021. Julkisen puurakentamisen tilannekuva. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/19124/Julkisen_puurakentamisen_tilannekuva_2021.pdf [viitattu 9.2.2022].

KUALUETTELO

- Kuva 1. Erilaisia insinööripuutuotteita, LVL, CLT ja sahatavara. Puuinfo. 2020a. WWW-artikkeli: Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/> [viitattu 19.2.2022].
- Kuva 2. Levytuotteet. Puuinfo. 2020b. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puulevyt/> [viitattu 19.2.2022].
- Kuva 3. Wood City Helsingin Jätkäsaarella. SRV:n toimitilat. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.srv.fi/toimitilat/wood-city/> [viitattu 19.2.2022].
- Kuva 4. Rakennusmateriaalien hintojen nousu jatkui heinäkuussa nopeana. Suomen virallinen tilasto (SVT) 2022. Rakennuskustannusindeksi (verkojulkaisu). PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/rki/2022/01/rki_2022_01_2022-02-15_fi.pdf [viitattu 19.2.2022].
- Kuva 5. Helsingin keskuskirjasto Oodi. Rakennuslehti. 2021. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2021/03/analyysi-puurakentamista-on-edistetty-yli-25-vuotta-mutta-vasta-pakko-tuotti-tulosta/> [viitattu 19.2.2022].
- Kuva 6. Liekkipalon perusedellytykset. Hyttinen, V., Tolonen, P., Väisänen, T., Pelastusopisto., Suomen pelastusalan keskusjärjestö. 2008. Palofysiikka. 4.painos. Tampere: Kuopio: Helsinki: Pelastusopisto; Suomen pelastusalan keskusjärjestö. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 27.3.2022].
- Kuva 7. Palon kehittymisen yleiskuvaus sprinklaamattomassa asuinhuoneistossa. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf [viitattu 20.2.2022].
- Kuva 8. Rakennedetaljeja. Puuinfo.14.7.2020. Rakenteet. Puukerrostalot. Rakennedetaljeja. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/puukerrostalon-rakennedetaljeja/> [viitattu 26.3.2022].
- Kuva 9. Renotech FB onteloventtiili. s.a. WWW-artikkeli. Saatavissa: <https://www.renotech.fi/fbh-fi.html> [viitattu 20.3.2022].
- Kuva 10. Paloluokat. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf [viitattu 22.2.2022].
- Kuva 11. Olennaiset vaatimukset paloturvallisuuden suunnittelussa. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf [viitattu 22.2.2022].
- Kuva 12. Kantavan ja osastoivan rakennusosan palonkestävyyden perusvaatimukset. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf [viitattu 27.2.2022].

Kuva 13. Palokuormaryhmät. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2011. Rakennusten paloturvallisuus, Määräykset ja ohjeet 2011. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf [viitattu 26.3.2022].

Kuva 14. Puun palaminen. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf [viitattu 27.2.2022].

Kuva 15. Puutuotteiden hiiltymisnopeuksia. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf [viitattu 27.2.2022].

Kuva 16. Palosuojaamattoman rakenteen hiiltymisen. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf [viitattu 27.2.2022].

Kuva 17. Hiiltymissyvyyden kasvu ajan funktiona, kun puurakenteen hiiltymisen alkaa palosuojauksen murtumisen jälkeen ja hiiltymisnopeus palautuu suojaamattoman puun hiiltymisnopeuteen puurakenteen saavutettua 25 mm:n hiiltymissyvyyden. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf [viitattu 27.2.2022].

Kuva 18. Rakennustarvikkeen luokkamerkinnän muodostuminen yleisesti. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf [viitattu 27.2.2022].

Kuva 19. Mastopilarin kiinnitys. Pitkänen, J 2018. Momenttijäykkä liimaruuviliitos. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/16_Momenttij%C3%A4ykk%C3%A4-liimaruuviliitos.pdf [viitattu 16.4.2022].

Kuva 20. Massiivipuulevyn kontaktiliitos. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf [viitattu 9.4.2022].

Kuva 21. Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti, tilaelementit. Lahtela, T 2018. Jatkuvan sortuman estäminen. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/19_Jatkuvan-sortuman-est%C3%A4minen.pdf [viitattu 9.4.2022].

Kuva 22. Vaakasidonta, sidonta seiniin. Lahtela, T 2018. Jatkuvan sortuman estäminen. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/19_Jatkuvan-sortuman-est%C3%A4minen.pdf [viitattu 9.4.2022].

Kuva 23. Pystysidonta. Lahtela, T 2018. Jatkuvan sortuman estäminen. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018. Saatavissa:

https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/19_Jatkuvan-sortuman-est%C3%A4minen.pdf [viitattu 9.4.2022].

Kuva 24. Puikkoliittimen palosuojaus kipsilevyllä. Puuinfo, 26.2.2013. Tekninen tiedote. Puurakenteen palomitoitus. Saatavissa: <https://docplayer.fi/9897190-Puurakenteen-palomitoitus.html> [viitattu 23.4.2022].

Kuva 25. half-lap joint. Gustafsson, A. 2019. The CLT-handbook. CLT structures – facts and planning. Saatavissa: <https://www.swedishwood.com/siteassets/5-publikationer/pdf/CLT-handbook-2019-eng-m-svensk-standard-2019.pdf> [viitattu 20.3.2022].

Kuva 26. Internal spline. Douglas, B & Karacabeyli, E. 2013. The CLT-handbook. Cross-laminated timber. U.S edition. Saatavissa: https://cdn2.hubspot.net/hubfs/5577290/PDFs/CLT%20Handbook/CLT_USA-Complete-document-Think_Wood.pdf [viitattu 20.3.2022].

Kuva 27. Toiminnallisen palomitoituksen palotekniset tekijät riippuvuuksineen. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf [viitattu 27.2.2022].