

10 PUURAKENTEIDEN PALOMITOITUS

10.1 PUUN HIILTYMINEN

Puu on palava materiaali, jonka palotekninen käyttäytyminen tunnetaan hyvin. Puuta lämmitettäessä se pehmenee ennen syttymistä ja puun lämpötilan ollessa 100 °C alkaa siitä höyrystyä kemiallisesti sitoutumaton vesi. Kuivan puun terminen pehmeneminen alkaa puun lämpötilan ollessa 180 °C ja on suurimmillaan puun lämpötilan ollessa 320...380 °C. Tällöin puun ligniinin, selluloosan ja hemiselluloosan sidokset alkavat hajota. Mikäli puu on hyvin kosteaa, alkaa sen terminen pehmeneminen puun lämpötilan ollessa noin 100 °C.

Puu syttyy, kun sen lämpötila on 250...350 °C. Tyypillinen kriteeriarvo syttymiselle ja hiiltymisen alkamiselle paloteknisessä suunnittelussa on 300 °C. Syttymislämpötilaan vaikuttaa se, kuinka kauan puu on lämmölle alttiina. Puun syttymiseen vaikuttaa myös puukappaleen koko ja sytytyslähteen teho. Esimerkiksi massiivisen puukappaleen sytyttäminen tulitikulla ei ole mahdollista, koska lämpöä ei voida tuottaa niin paljon, että massiivisen puukappaleen lämpötila saataisiin nousemaan syttymispisteeseen. Sen sijaan esimerkiksi huoneistopalossa, jossa lämpötila on hyvin nopeasti noin 1000 °C, massiivinenkin puurakenne syttyy palamaan hyvin nopeasti. Puun palaessa, sen pintaan muodostuu hiilikerros, joka hidastaa puun sisäosien lämpenemistä ja samalla puun palamista.

Puurakenteiden paloteknisen suunnittelun kannalta on tärkeää, että puun hiiltymisnopeus erilaisissa tapauksissa tunnetaan tarkasti. Sahatavara, liimapuu, LVL ja CLT omaavat jokainen erilaisen hiiltymisnopeuden. Hiiltymiseen vaikuttaa myös tuotteessa käytettävä liimatyyppi sekä mahdollinen puurakenteen palosuojauksen tyyppi.

10.1.1 Liimatun puutuotteen hiiltyminen

Fenolipohjainen liima ei vaikuta puutuotteen hiiltymiseen, joten esimerkiksi liimapuutuotteita ja LVL-tuotteita käsitellään hiiltymämitoituksessa, kuten liimaamatonta puutuotetta. Polyuretaanipohjaisilla liimoilla valmistetuissa tuotteissa saattaa esiintyä ns. delaminoitumista eli lamellien irtoamista, kun hiiltymä on edennyt liimasaumaan saakka. Esimerkiksi CLT-levyssä, jossa lamellit on liimattu polyuretaaniliimalla, on havaittu kyseinen ilmiö. Tällaisissa tuotteissa hiiltymisen tapahtuu useammalla hiiltymisnopeudella, koska suojaavan hiilikerroksen pudottua sen alta paljastuva lämmennyt puupinta on altis nopeammalle hiiltymälle. Delaminoitumisen voimakkuuteen vaikuttaa myös taivutusjännitys, joten esimerkiksi vaakarakenteessa delaminoituminen tapahtuu helpommin kuin pystyrakenteessa.

10.2 PUURAKENTEIDEN PALOMITOITUSPERIAATTEET

Puurakenteen kantavuus palotilanteessa voidaan mitoittaa kolmella erilaisella periaatteella, jotka on esitetty taulukossa 48. Palomitoituksessa käytettävän periaatteen valinta vaikuttaa usein merkittävästi rakenteiden kustannuksiin. Esimerkiksi massiivisen liimapuupalkin palosuojaus ei ole järkevää, koska massiivisuutensa ansiosta tällaisissa rakenteissa on usein palotilanteessa hiiltymämitoituksen perusteella riittävä kantokyky ilman palosuojauksia. Palosuojaus olisi tällaisissa rakenteissa usein ylimääräinen kustannus.

Palosuojattujen rakennusosien tapauksessa eurokoodi 5 sisältää erilaiset laskentamenetelmät

- palosuojatuille palkeille ja pilareille
- palosuojatuille rakennusosille, joissa ontelotila on eristeen täyttämä
- palosuojatuille rakennusosille, joissa ontelotila on eristeeton (tyhjä).

10.2.1 Palosuojamaton puurakenne

Palosuojamaton puurakenne hiiltyy palon alusta lähtien. Esimerkiksi palosuojamaton liimapuupalkki hiiltyy palolle altistuvilta sivuilta, jolloin sen dimensiot muuttuvat hiiltymisen seurauksena. Palonkestoajan lopussa hiiltyneestä puurakenteesta on jäljellä tehollinen poikkileikkaus, joka mitoitetaan palotilanteen rasitukselle. Tarvittaessa puurakenteen kokoa voidaan suurentaa, jolloin sen tehollinen poikkileikkaus jää suuremmaksi ja tämän seurauksena rakenteen kantokyky palotilanteen rasituksille saadaan paremmaksi. Hiiltymisnopeus valitaan sen mukaan, että hiiltyykö puurakenne yhdestä suunnasta (yksidimensionaalinen hiiltymisnopeus) vai useammalta suunnalta samanaikaisesti (nimellinen hiiltymisnopeus). Nimellinen hiiltymisnopeus sisältää suorakaidepoikkileikkauksen kulmapyöritykset sekä puurakenteen halkeamien vaikutuksen.

10.2.2 Puurakenne palosuojattu koko vaaditun palonkestoajan

Puurakenne voidaan suunnitella paloteknisesti siten, että se palosuojataan koko vaaditulle palonkestoajalle. Tällöin palolle alttiit osat palosuojataan esimerkiksi kipsilevyillä, puulevyillä, tarkoitukseen soveltuvilla lämmöneristelevyillä tai näiden yhdistelmillä. Myös puupanelointia voidaan käyttää palosuojaukseen. Tällaisessa rakenteessa palosuojaukseen käytettävä tuote suojaa puurakennetta hiiltymiseltä koko palonkestoajan eikä puurakenteessa tapahdu sellaista hiiltymistä vaaditun palonkeston aikana,

PUURAKENTEIDEN PALOMITOITUS

että sen dimensiot muuttuisivat. Puurakenne kuitenkin lämpenee palosuojauksen takana, jolloin puun lujuus alenee. Tämä otetaan huomioon palomitoitusmenetelmissä.

Koko palonkestoajalle suojatun puurakenteen mitoituksessa, tulee tietää palosuojaukseen käytettävästä tuotteesta hiiltymisen alkamishetki t_{ch} . Tämä on aika, jonka kyseinen palosuojaustuote suojaa sen takana olevaa puurakennetta hiiltymiseltä. Palosuojaustuotetta valittaessa tulee huomioida myös vaaditut pintaluokka- ja suojaverhousvaatimukset, jotta samalla tuotteella saadaan täytettyä mahdollisimman monta paloteknistä vaatimusta. Esimerkiksi puurakenteisen seinän sisäverhouslevynä käytettävä 13 mm paksu kipsikartonkilevy voidaan suunnitella

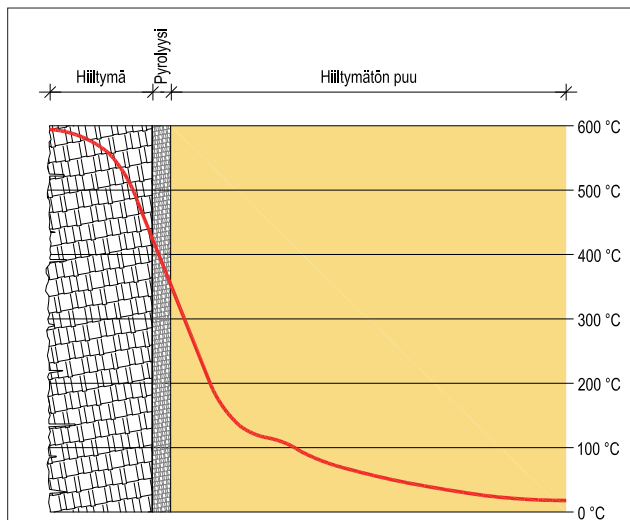
- täyttämään pintaluokkavaatimus A2-s1, d0
- täyttämään suojaverhousvaatimus K₂ 10, A2-s1, d0
- käytettäväksi puurakenteen palosuojauksessa.

10.2.3 Puurakenne palosuojattu osaksi vaaditusta palonkestoajasta

Puurakenne voidaan suunnitella paloteknisesti siten, että se palosuojataan osaksi vaaditusta palonkestoajasta ja loppuajan puurakenteen annetaan hiiltä. Esimerkiksi R 60-luokan rakenteessa palosuojaukseen käytettävä tuote suojaa puurakennetta 30 minuuttia (t_{ch} -aika) ja toinen 30 minuuttia rakenteen annetaan hiiltä. Palosuojaustuotetta valittaessa tulee kiinnittää huomiota myös pintaluokka- ja suojaverhousvaatimuksiin, kuten kohdassa 10.2.2 on esitetty.

Osaksi vaaditusta palonkestoajasta suojatun puurakenteen mitoituksessa, tulee tietää palosuojaukseen käytettävästä tuotteesta hiiltymisen alkamishetki t_{ch} ja suojauksen murtumishetki t_r . Palosuojaustuote suojaa puurakennetta hiiltymiseltä ajan hetkeen t_{ch} . Ajan hetkellä t_r palosuojaus murtuu, jolloin sen takana oleva puurakenne paljastuu ja alkaa hiiltä. Tulee kuitenkin huomioida, että esimerkiksi palosuojakipsilevyn tapauksessa hiiltyminen alkaa levyn takana jo ennen levyn murtumishetkeä t_r . Palosuojauksen murtumisen jälkeen puutuotteissa alkaa tavallista nopeampi hiiltymisen, koska puurakenne on lämmennyt palosuojauksen takana. Nopeampi hiiltymisen jatkuu, kunnes saavutetaan 25 mm:n hiiltymissyvyys, jonka jälkeen hiiltymisnopeus palautuu kyseiselle puutuotteelle ominaiseen nopeuteen. Puun hiiltymisnopeuden muutokset ja puun lujuuden aleneminen otetaan huomioon palomitoitusmenetelmissä.

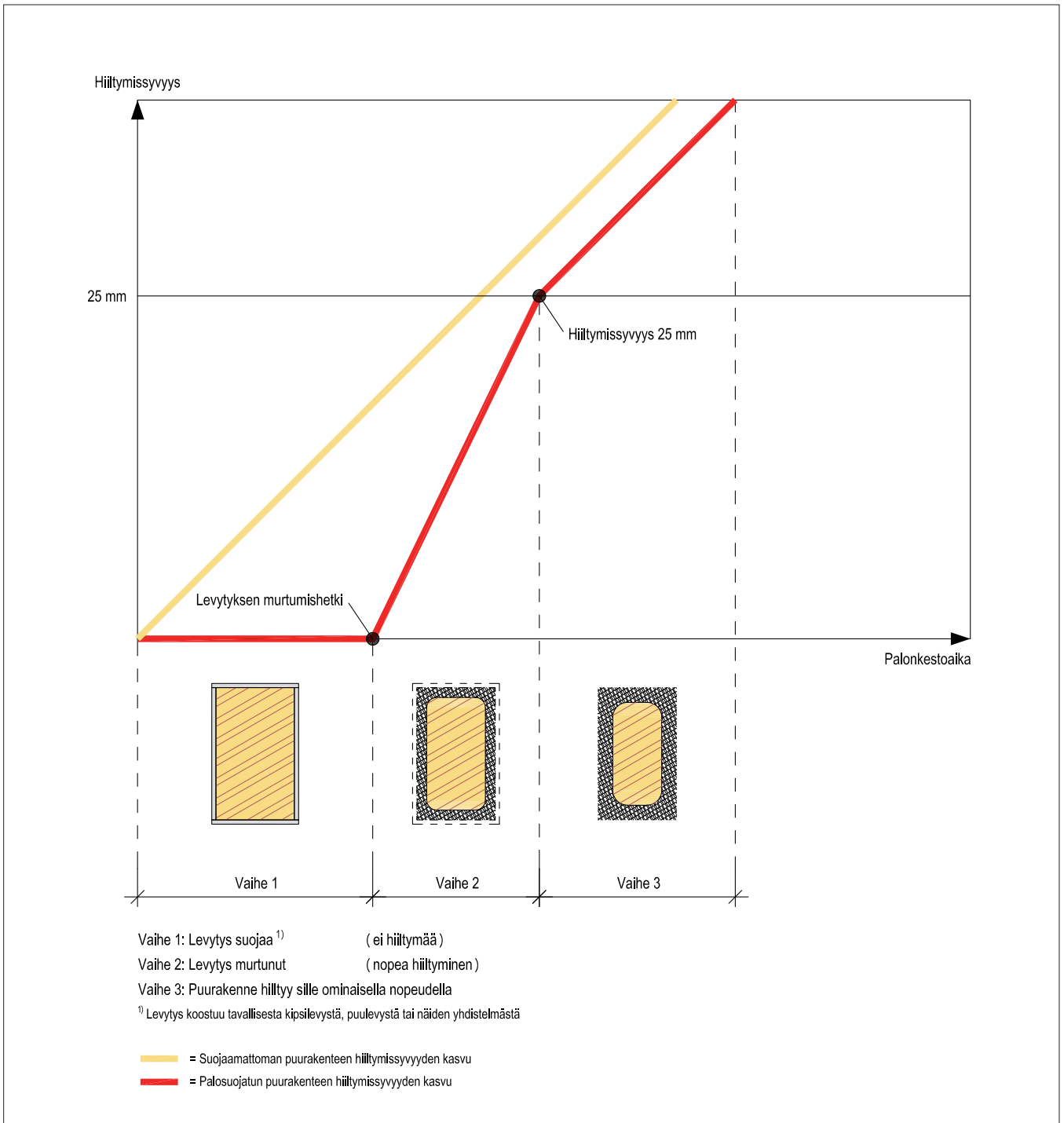
Kuten edellä todettiin, osaksi palonkestoajasta suojattu puurakenne hiiltyy ajan hetkestä t_{ch} lähtien. Palonkestoajan lopussa hiiltyneestä puurakenteesta on jäljellä mitoitusmenetelmästä riippuen tehollinen poikkileikkaus tai nimellinen jäännöspoikkileikkaus (ontelotila on eristeen täyttämä), jotka mitoitetaan palotilanteen rasituksille. Tarvittaessa puurakenteen kokoa voidaan suurentaa, jolloin sen tehollinen poikkileikkaus tai nimellinen jäännöspoikkileikkaus jää suuremmaksi ja tämän seurauksena rakenteen kantokyky palotilanteen rasituksille saadaan paremmaksi. Kuvis- sa 75...77 on esitetty yleisellä tasolla monivaiheista hiiltymistä ja hiiltymissyvyyden kasvua erilaisissa tapauksissa.



Kuva 73. Puun palaessa sen pintaan muodostuu hiilikerros, joka hidastaa puun sisäosien lämpenemistä ja samalla puun palamista.

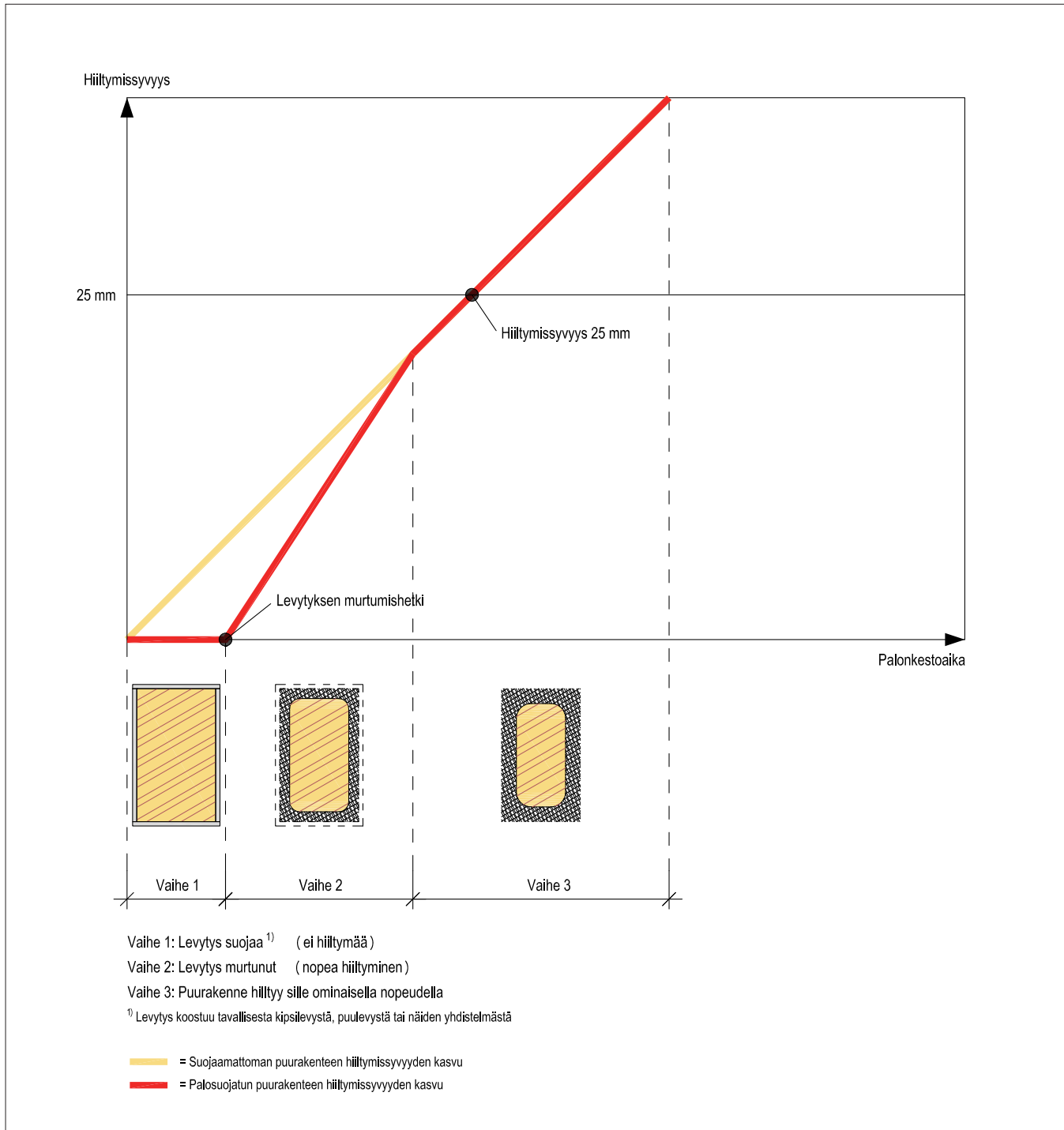


Kuva 74. CLT-levyn delaminoituminen polttokokeessa.

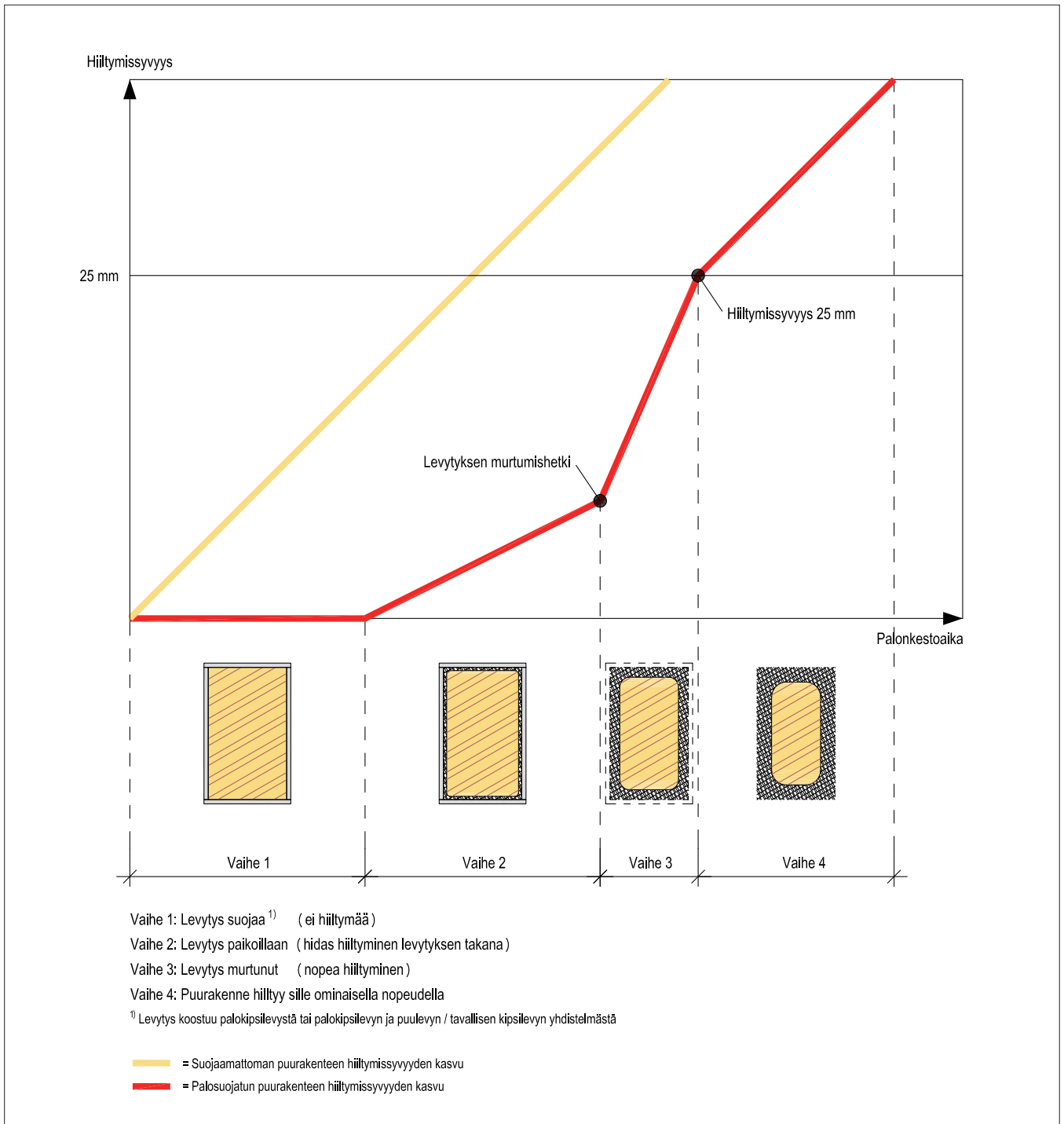


Kuva 75. Hiiltymissyvyyden kasvu ajan funktiona, kun puurakenteen hiiltyminen alkaa palosuojauksen murtumisen jälkeen ja hiiltymisnopeus palautuu suojaamattoman puun hiiltymisnopeuteen puurakenteen saavutettua 25 mm:n hiiltymissyvyyden.

PUURAKENTEIDEN PALOMITOITUS



Kuva 76. Hiiltymissyvyyden kasvu ajan funktiona, kun puurakenteen hiiltyminen alkaa palosuojauksen murtumisen jälkeen ja hiiltymisnopeus palautuu suojaamattoman puun hiiltymisnopeuteen ennen kuin puurakenne on saavuttanut 25 mm:n hiiltymissyvyyden.



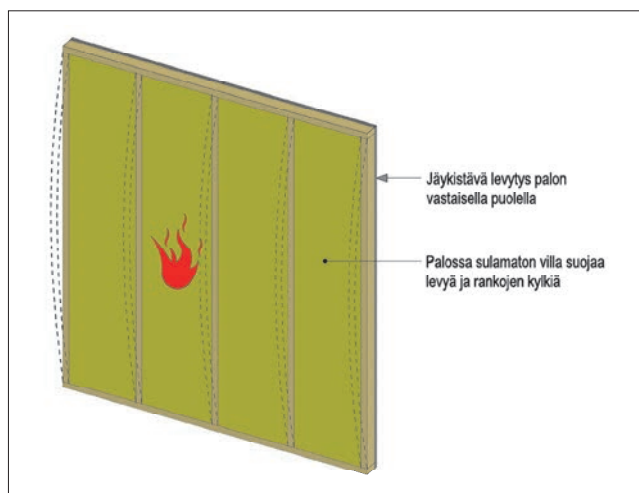
Kuva 77. Hiiltymissyvyyden kasvu ajan funktiona, kun puurakenteen hiiltymisen alkaa jo ennen palosuojauksen murtumista ja hiiltymisnopeus palautuu suojaamattoman puun hiiltymisnopeuteen puurakenteen saavutettua 25 mm:n hiiltymissyvyyden.

10.3 STABILITEETTI PALOTILANTEESSA

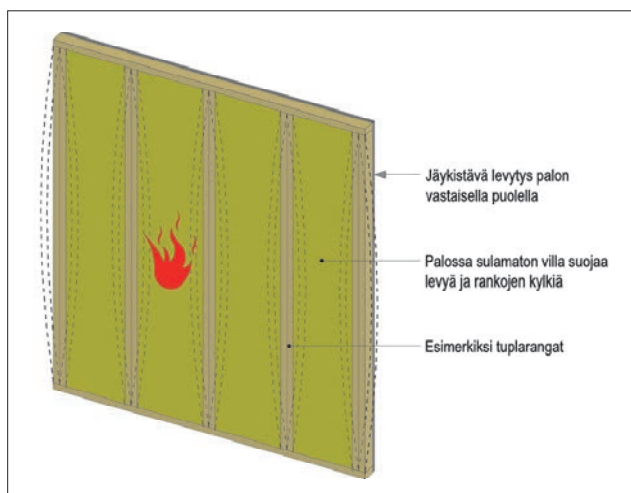
Ennen puurakenteiden varsinaista palomitoitusta tulee selvittää rakenneosien ja koko rakennuksen rungon toiminta stabiliteetin näkökulmasta. Joissakin tapauksissa palotilannetta varten joudutaan suunnittelemaan kokonaan oma stabiliteettituenta. Tällainen tapaus syntyy esimerkiksi silloin, kun kantavassa levyrakenteisessa seinässä rankoja tukeva levytys palaa pois.

Palotilanteen stabiliteettituenta tulee suunnitella siten, että se toimii koko vaaditun palonkestoajan. Tämä asettaa erityisiä vaatimuksia tuentaan käytettävän rakenneosan dimensioille niiden hiiltymän näkökulmasta, jos tuentaan käytettäviä rakenneosia ei palosuojata. Kriittisin yksityiskohta palotilanteen stabiliteettituentaan käytettävissä rakennekokonaisuuksissa ovat näiden liitokset. Esimerkiksi suojaamattoman naulaliitoksen palonkestävyys on vain 15 min, joten usein liitosten täytyy olla palosuojattuja. Liitosten osalta erityistarkasteluja tulee tehdä myös liittimien reunaetäisyyksien osalta, jos liittintä ympäröivä puuosa hiiltyy (reunaetäisyys pienenee). Stabiliteettituentaan käytettävien rakenneosien liitokset voidaan suunnitella joissakin tapauksissa myös kontaktiliitoksien avulla, jolloin liittimiä ei tarvita siinä määrin kuin pelkkien liittimien varaan suunnitelluissa voimaliitoksissa.

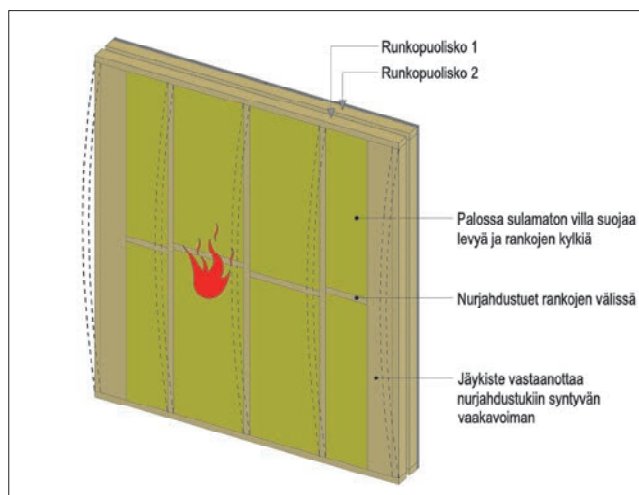
Puurakenteet tulisi pyrkiä suunnittelemaan paloteknisesti siten, että ne palosuojataan koko vaaditulle palonkestoajalle, jolloin kantavat ja jäykistävät rakenteet eivät hiilly. Tällöin rakennesuunnittelusta saadaan huomattavasti yksinkertaisempaa. Mikäli rakenteissa tapahtuvaa hiiltymää ei voida välttää, tulisi tällaisissa rakenteissa käyttää niin järeitä rakenneosia, että erillisiä palotilanteen stabiliteettituentoja ei tarvita. Puurakenteiden hiiltymää ja erillistä stabiliteettituenta palotilanteessa ei voida kuitenkaan aina välttää. Esimerkkinä tästä on NR-ristikkorakenteinen yläpohja, jossa kiepahdusaltis alapäärrepalkki toimii palotilanteen kantavana rakenteena ullakkopalossa.



Kuva 78. Palon vastaisella puolella oleva levytys estää kantavan seinän tolppien nurjahtamisen.



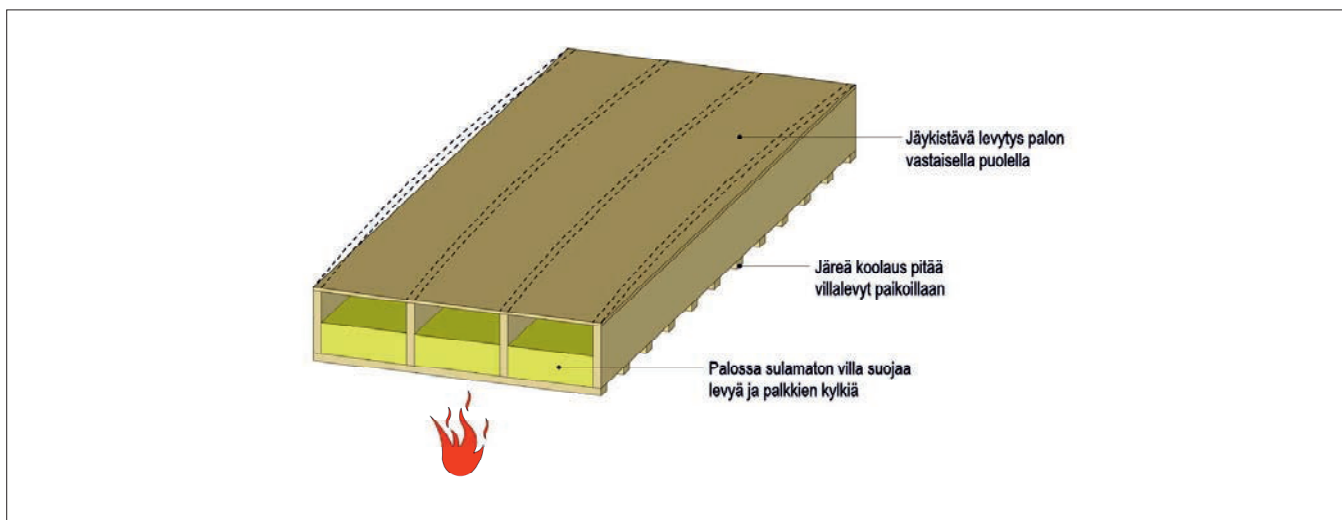
Kuva 79. Kaikki stabiliteettituenta tarvitsevat rakenneosat tulee kiinnittää tuentasysteemiin.



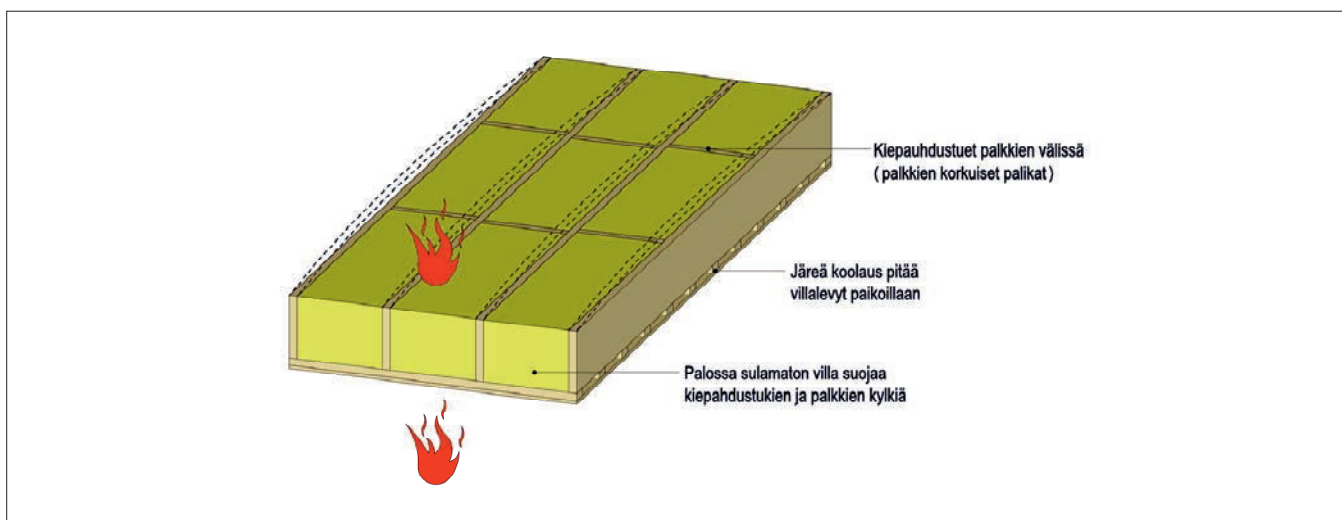
Kuva 80. Erillinen nurjhdustuentasysteemi huoneiston välisen seinän palon puoleisessa runkopuoliskossa.



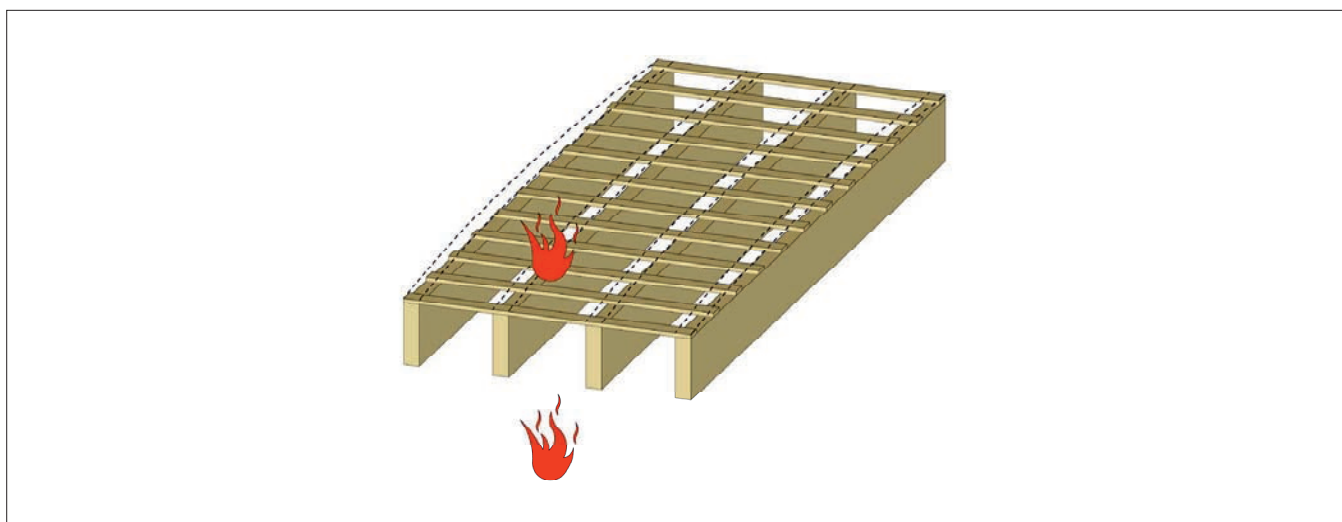
Kuva 81. Riittävän järeät tolpat voidaan suunnitella toimimaan ilman nurjhdustuenta.



Kuva 82. Palon vastaisella puolella oleva levytys estää palkkien kiepahtamisen alapuolisessa palossa.

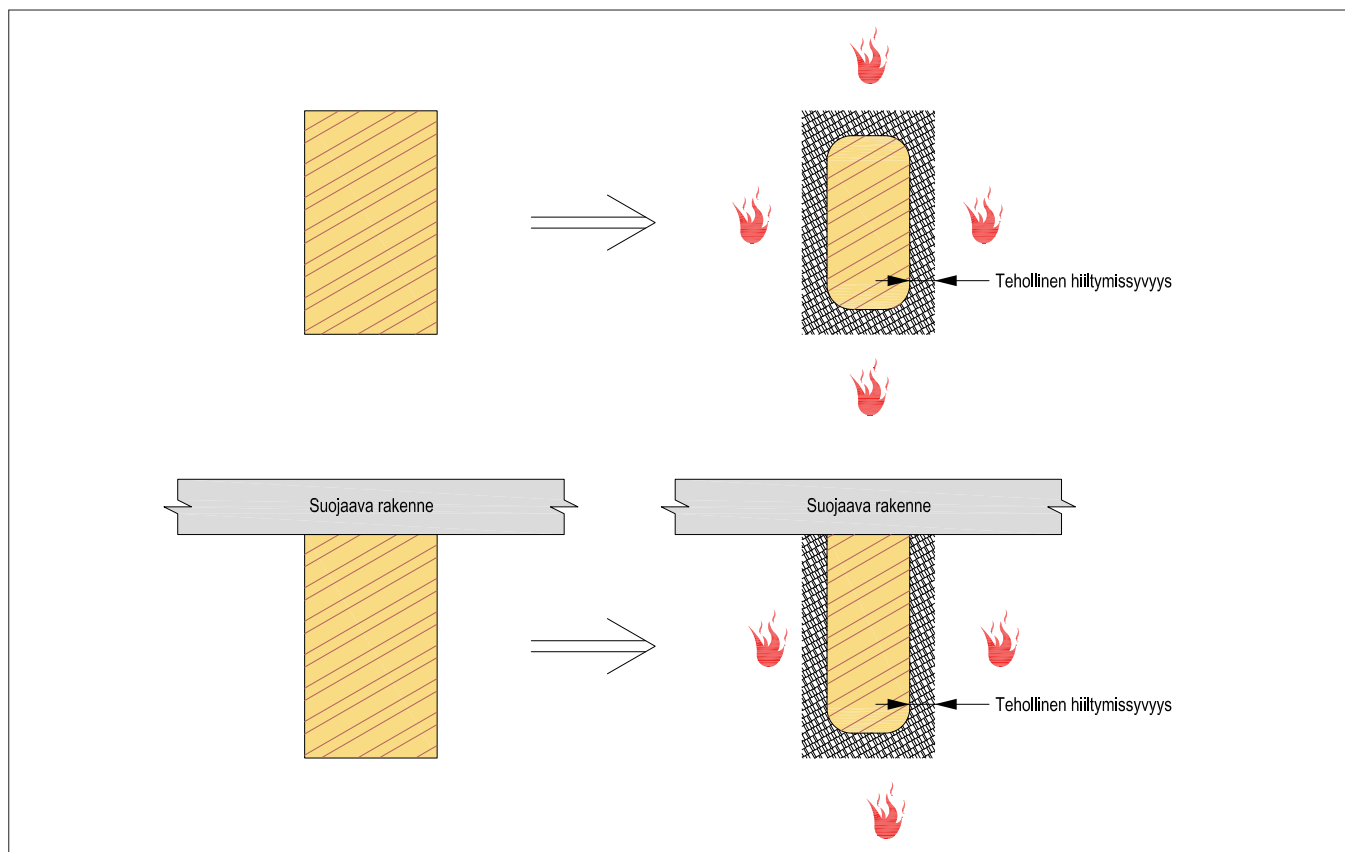


Kuva 83. Kiepahdustuet estävät palkkien kiepahtamisen ala- tai yläpuolisessa palossa.

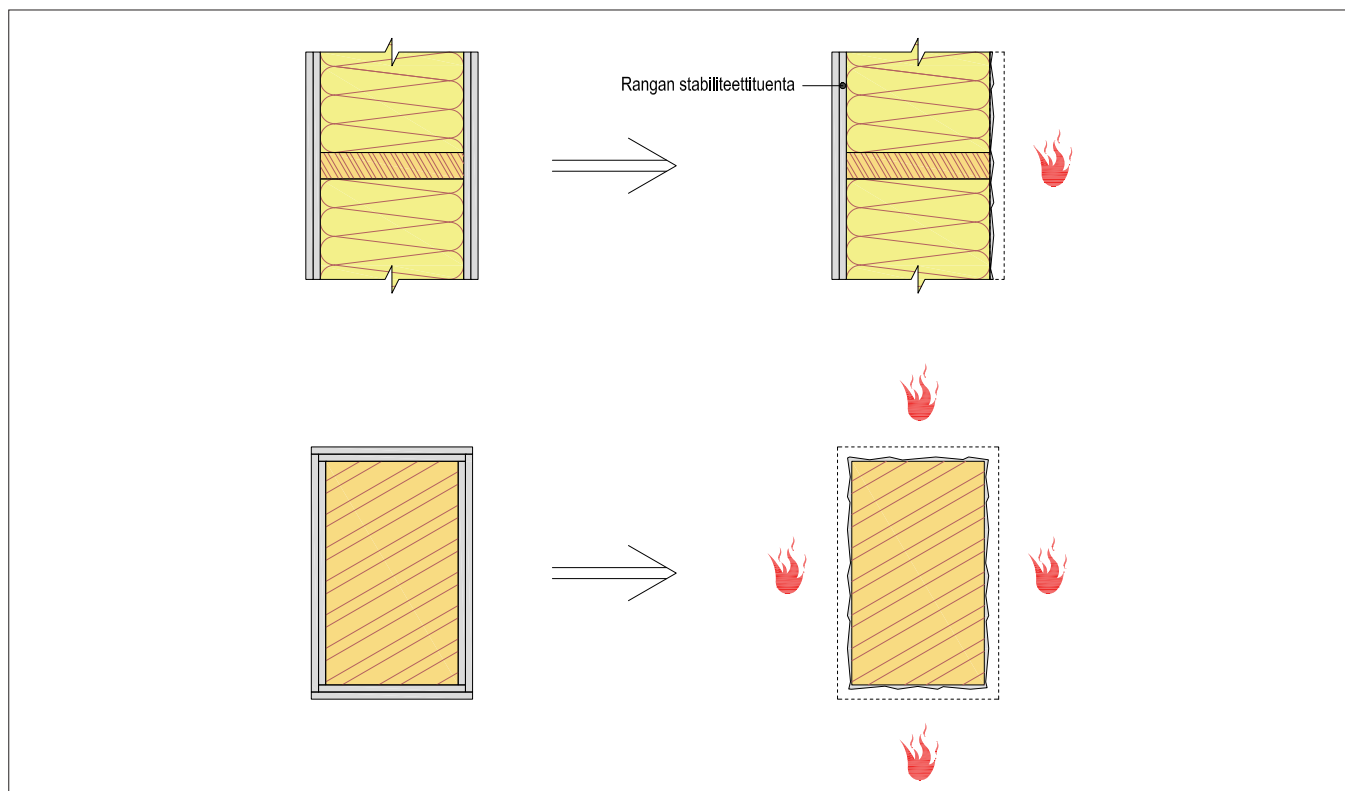


Kuva 84. Riittävän järeät palkit voidaan suunnitella toimimaan ilman kiepahdustuentaa ala- tai yläpuolisessa palossa.

PUURAKENTEIDEN PALOMITOITUS



Kuva 85. Palosuojaamaton sahatavara, liimapuu ja LVL hiiltyvät lineaarisesti niille ominaisilla hiiltymisnopeuksilla.



Kuva 86. Koko palonkestoajalle suojattu puurakenne ei hiilly.

Taulukko 48. Käytettävissä olevat palomitoitusperiaatteet eurokoodin mukaisessa mitoituksessa.

| Palomitoitusperiaate | Ominaisuus | Hiiltyminen | Tyypillinen kohde |
|--|---|--|---|
| Suojaamaton puurakenne | <ul style="list-style-type: none"> Rakenne hiiltyy Kantavuus perustuu teholliseen poikkileikkaukseen palotilanteen rasituksilla | <ul style="list-style-type: none"> Hiiltyminen tapahtuu kyseiselle puutuotteelle ominaisella hiiltymisnopeudella/-nopeuksilla koko vaaditun palonkestoajan | <ul style="list-style-type: none"> Massiiviset rakenteet |
| Puurakenne suojattu koko vaaditun palonkestoajan | <ul style="list-style-type: none"> Rakenne ei hiilty Kantavuus perustuu tapauksesta riippuen teholliseen poikkileikkaukseen tai nimelliseen jäännös-poikkileikkaukseen palotilanteen rasituksilla | <ul style="list-style-type: none"> Hiiltymistä ei tapahdu vaaditun palonkestoajan sisällä | <ul style="list-style-type: none"> Hoikat rakenteet Liitokset |
| Puurakenne suojattu osan vaaditusta palonkestoajasta | <ul style="list-style-type: none"> Rakenne hiiltyy Kantavuus perustuu tapauksesta riippuen teholliseen poikkileikkaukseen tai nimelliseen jäännös-poikkileikkaukseen palotilanteen rasituksilla | <ul style="list-style-type: none"> Rakenteella on erilaisia mitoituksessa huomioitavia tekijöitä palonkestoajan sisällä: <ol style="list-style-type: none"> ei hiilty lainkaan hiiltyy tietyn ajan kuluttua hiiltymisen tapahtuu kahdella tai kolmella erilaisella nopeudella Eriaiset hiiltymisnopeudet palonkestoajan sisällä johtuvat mm. seuraavista tekijöistä: <ol style="list-style-type: none"> puurakenne lämpenee palosuojausten takana palosuojaus irtoaa tietyn ajan kuluttua | <ul style="list-style-type: none"> Hoikat rakenteet |

Taulukko 49. Puutuotteiden hiiltymisnopeuksia (Lähde: RIL 205-2-2019)

| Palomitoitusperiaate | Paksuus | Ominaisuus | 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 | - |

PUURAKENTEIDEN PALOMITOITUS

Mikäli levyn tai laudoituksen paksuus on alle 20 mm tai mikäli näiden ominaistiheys on pienempi tai suurempi kuin taulukossa 49 esitetty, määritetään hiiltymisnopeus myös kaavalla 3.

Kaava 3

$$\beta_{0,p,t} = \beta_0 \cdot k_p \cdot k_h$$

jossa

β_0 = yksidimensionaalinen hiiltymisnopeus [mm/min]

$$k_p = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}}$$

$$k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}}$$

ρ_k = ominaistiheys [kg/m³]

h_p = levyn tai laudoituksen paksuus ohuimmasta kohdasta (esim. sauma) [mm]
(päällekkäiset kerrokset voidaan summata yhdeksi paksuudeksi)

k_p voi suurentaa tai pienentää hiiltymisnopeutta, mutta k_h voi vain suurentaa sitä.

Taulukko 50. Palosuojatun puurakenteen hiiltymisen alkamishetki t_{ch} erilaisilla levytuotteilla (Lähde: RIL 205-2-2019).

| Palosuojaukseen käytettävä tuote | | Pilari tai palkki | Seinä ¹⁾ | Välipohja ¹⁾ |
|---|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|
| Levyosauma ≤ 2 mm | Paksuus [d] | t_{ch} | t_{ch} | t_{ch} |
| Kipsilevy (EN 520) (Tyyppi H) ($\geq 7,2$ kg/m ²) | 9 mm | 11 min | 10 min | - |
| Kipsilevy (EN 520) (Tyyppi A) ($\geq 8,2$ kg/m ²) | 12,5 mm | 21 min | 15 min | 10 min |
| Palokipsilevy (EN 520) (Tyyppi F) ($\geq 12,7$ kg/m ²) | 15 mm | 28 min | 20 min | 15 min |
| Palokipsilevy (EN 520) (Tyyppi F) | 18 mm | 36 min | - | - |
| 2x Kipsilevy (EN 520) (Tyyppi H) | 9 mm + 9 mm | 23 min | - | - |
| 2x Kipsilevy (EN 520) (Tyyppi A) | 12,5 mm + 12,5 mm | 38 min | 40 min | 30 min |
| 2x Palokipsilevy (EN 520) (Tyyppi F) | 15 mm + 15 mm | ≥ 60 min | ≥ 60 min | ≥ 60 min |
| Kipsilevy (EN 520) (Tyyppi A) + Palokipsilevy ²⁾ (EN 520) (Tyyppi F) | 12,5 mm + 15 mm | 45 min | 55 min | 40 min |
| Kipsilevy (EN 520) (Tyyppi A) + Palokipsilevy ²⁾ (EN 520) (Tyyppi F) | 12,5 mm + 18 mm | 53 min | - | - |
| Puulevy (EN 313-1, EN 309, EN 316, EN 300) + Kipsilevy ²⁾ (EN 520) (Tyyppi A) | 12 mm + 12,5 mm | - | 40 min ³⁾ | 30 min |
| Puulevy (EN 313-1, EN 309, EN 316, EN 300) + Palokipsilevy ²⁾ (EN 520) (Tyyppi F) | 12 mm + 15 mm | - | 55 min ³⁾ | 40 min |

¹⁾ Rankarakenne, jonka ontelotila voi olla eristeellä täytetty tai eristeetön.

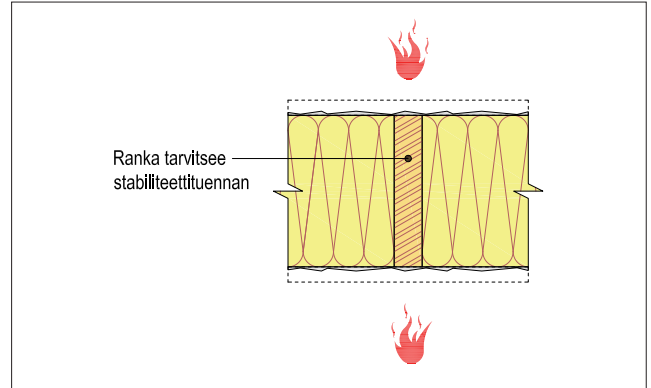
²⁾ Kyseinen levy palon puolella.

³⁾ Mikäli puulevy on paksumpi kuin 12 mm, voidaan arvoa korottaa määrällä $\Delta t = (d - 12 \text{ mm}) / \beta_0$ (ks. myös kaava 3).

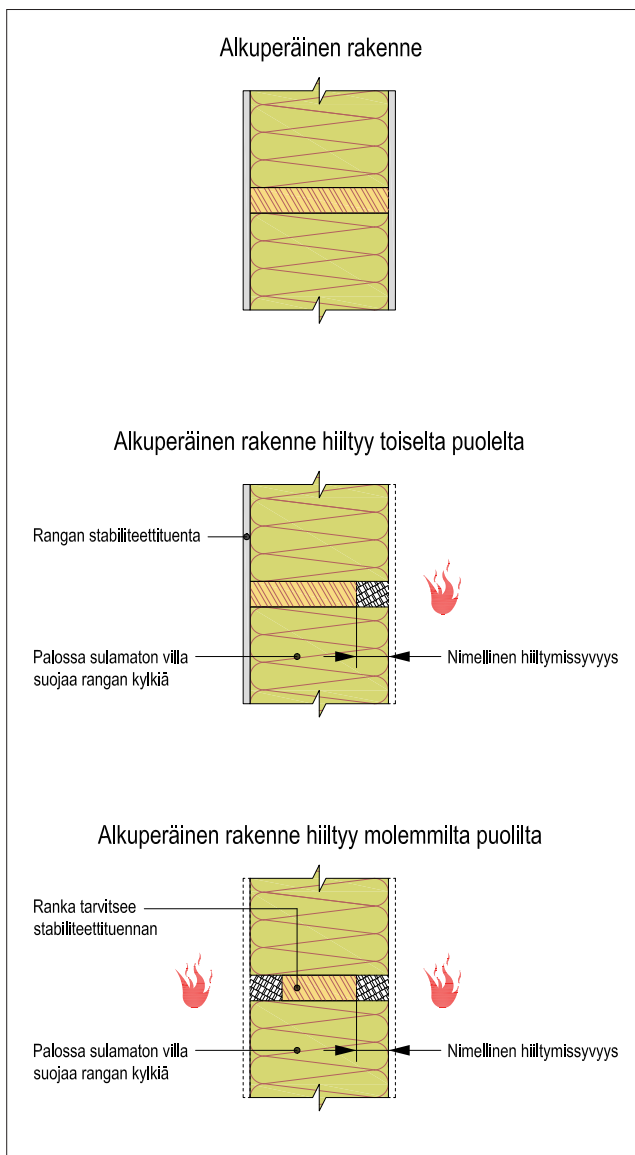
10.4 PUURAKENTEEN PALOKÄYTTÄYTYMINEN

Puurakenteiden palomitoitusta tehtäessä tulee tuntee rakenteen käyttäytyminen palotilanteessa. Tämä on erittäin tärkeää, jotta voidaan tehdä päätökset stabiliteettituennan, palosuojausmenetelmän ja lämmöneristetyypin näkökulmasta. Näillä on suuri merkitys myös rakennuskustannuksiin.

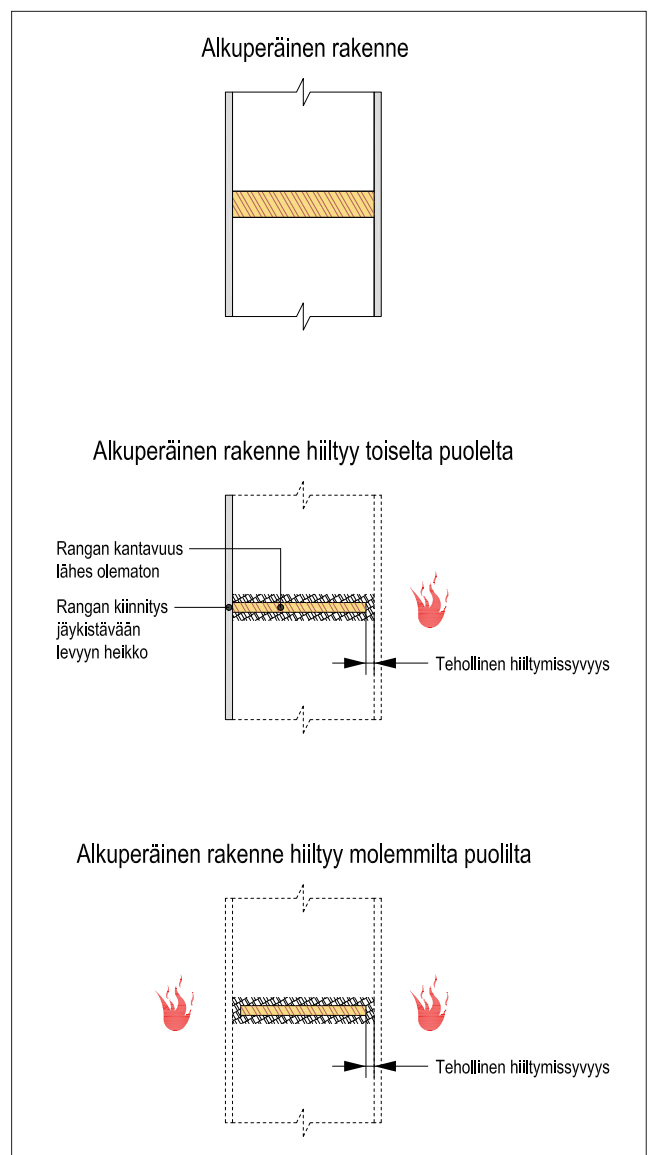
Puurakenteen palosuojaukseen käytettävän villan valinnassa tulee tarkastella villan sulamislämpötilaa. Mineraalivillat ovat tavallisesti A2-s1, d0-luokan tuotteita, mutta niiden sulamislämpötilat ovat erilaisia. Tässä suhteessa lasivilla ja kivivilla eroavat toisistaan merkittävästi.



Kuva 88. Rankojen stabiliteettituenta menetetään, jos jäykistävät levyt palavat pois.



Kuva 87. Palossa sulamaton villa suojaa puurakennetta hiiltymiseltä, kun rakenne on palosuojattu vain osaksi palonkestoajasta.



Kuva 89. Tyhjässä ontelossa puurakenne hiiltynyt useammalta sivulta, jolloin hoikan puurakenteen kantavuus on lähes olematon.

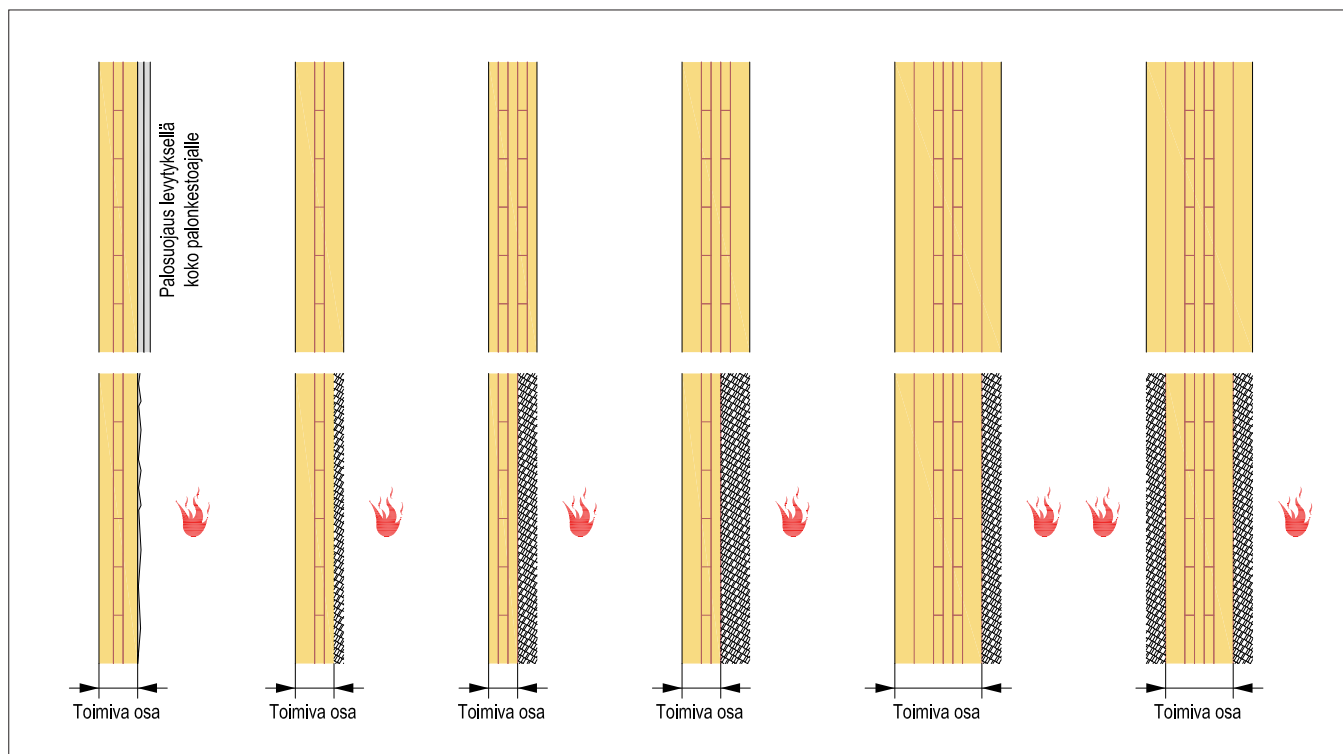
10.5 CLT-LEVYN PALOMITOITUS

CLT-levylle ei ole tällä hetkellä yleisiä palomitoitusohjeita, joten sen palomitoitus perustuu valmistajakohtaisiin ohjeisiin. Lamellikerrosten delaminoitumisesta johtuen CLT-levyn hiiltymisen ei ole lineaarista, vaan hiiltymisen tapahtuu useammalla hiiltymisnopeudella.

CLT-levyn palomitoituksessa tulee tarkastaa, mitkä lamellikerrokset toimivat palotilanteessa taivutuksessa sekä vedossa ja puristuksessa. Esimerkiksi 3-kerroksisessa CLT-levyssä pintalamellikerroksen palaessa pois, koko levyn kantavuus menetetään, kun taas esimerkiksi 5-kerroksisessa CLT-levyssä jää usein 3-kerroksinen levy jäljelle.

Delaminoituminen tapahtuu, kun palo saavuttaa CLT-levyn polyuretaanihiimasauvan. Tämän jälkeen hiiltyneen lamellikerroksen oletetaan kuoriutuvan pois, jolloin hiiltymisen alkaa seuraavassa lamellikerroksessa suuremmalla nopeudella (lamellikerros

on esilämmennyt), kunnes 25 mm:n hiiltymissyvyys on saavutettu. Tämän jälkeen hiiltymisnopeus palaa alkuperäiseen arvoon. Mikäli seuraava lamellikerros on ohuempi kuin 25 mm, ei hiiltymisnopeus palaudu alkuperäiseen arvoon, koska seuraava liimasauma saavutetaan tätä ennen, jolloin delaminoituminen tapahtuu uudelleen ja nopeutettu hiiltymisen jatkuu. CLT-levyn hiiltymämitoituksessa ainakin 3-kerroksisen levyn tapauksessa pintalamellikerrosten rakenne tulisi olla sellainen, että hiiltymissyvyys ei vaaditun palonkestoajan sisällä saavuta liimasaumaa. Käytännössä levyssä tulisi olla riittävän paksut pintalamellikerrokset, jotka eivät hiilly pois vaaditun palonkestoajan sisällä. Joissain tapauksissa CLT-levyt kannattaa palosuojata levytyksellä koko vaaditulle palonkestoajalle, jotta CLT-levyn paksuus saadaan optimoitua.



Kuva 90. Esimerkkejä CLT-levyn toimivasta osasta palotilanteessa erilaisilla levytyypeillä.

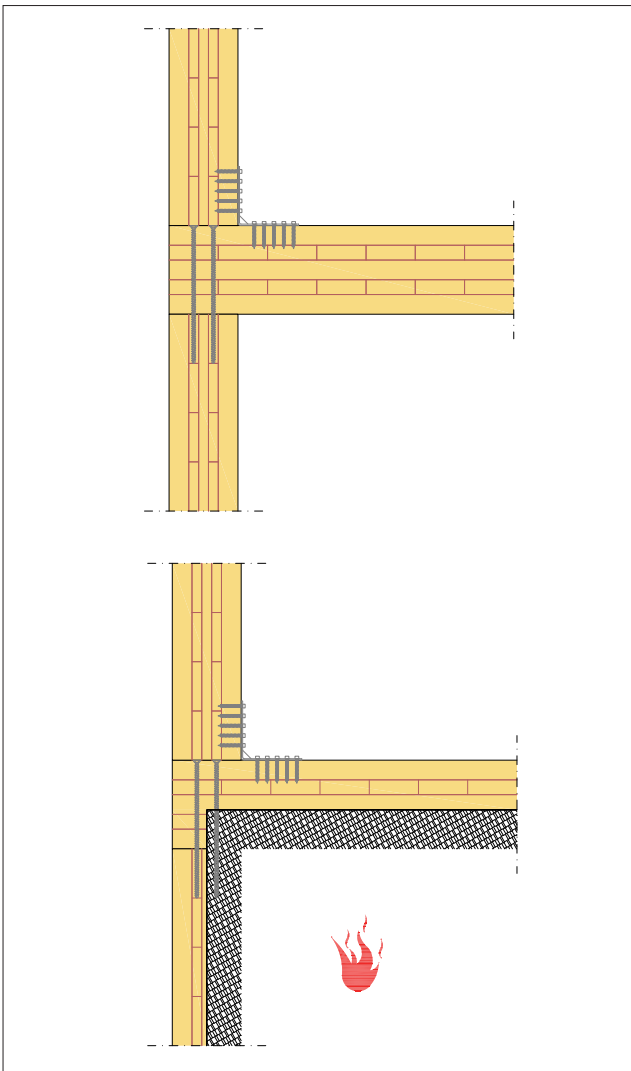
10.6 LIITOSTEN PALOMITOITTAMINEN

Puurakenteiden liitosten palomitoittaminen on kokonaisvaltainen suunnittelutehtävä, joka alkaa oikeanlaisen liitostyyppin valinnalla. Liitoksissa käytetään tavallisesti teräsosia ja puikkoliittimiä, joiden palonkesto suojaamattomana on rajallinen. Suunnittelemalla liitokset siten, että liitososat jäävät liitettävien puurakenteiden sisään tai palosuojalevytysten taakse, saadaan liitos helposti palosuojattua. Puukerrostalossa liitososat ovat tavallisesti palosuojalevytysten takana jo ulkonäkösyistä, joten liitosten palosuojaus ei ole puukerrostalossa sellainen haaste kuin esimerkiksi hallirakentamisessa. Mikäli liitososia palosuojataan, kannattaa ne suojata koko palonkestoajalle.

Hiiltyvissä puurakenteissa teräsosien kestävyuden lisäksi joudutaan tarkastelemaan puikkoliittinten reuna- ja päätyetäisyyksiä sekä liitettävien puurakenteiden paksuuksia, koska puurakenteen hiiltyessä nämä pienenevät. Suojaamattomilla puikkoliittimillä to-

teutetuilla liitoksilla voidaan saavuttaa tavallisesti enintään 15...20 minuutin palonkestävyys. Tätä suurempien palonkestävyyksien saavuttamiseksi puurakenteiden dimensioita joudutaan tavallisesti suurentamaan ja liitoksen teräsosia palosuojaamaan. Suojaamattoman naulaliitoksen, ruuviliitoksen ja tappivaarnaliitoksen palonkestävyyttä voidaan kasvattaa enintään 30 minuuttiin suurentamalla liitettävien puurakenteiden dimensioita sekä puikkoliittimien reuna- ja päätyetäisyyksiä. Puikkoliittimissä ei tällöin saa olla ulkonevia kantoja.

Puurakenteiden välistä liitosta ei aina tarvitse toteuttaa teräsosilla ja puikkoliittimillä. Esimerkiksi leikkausvoimaa ja normaalivoimaa siirtävä liitos voidaan toteuttaa myös ns. kontaktiliitoksilla. Erityisesti massiivipuurakentamisessa, jolle CNC-työstö on ominaista, voidaan käyttää tehtaalla valmiiksi työstettyjä kontaktiliitoksia.



Kuva 91. Palosuojamattoman massiivipuulevyn hiiltymämitoitus saattaa johtaa paksuihin levyihin ja ongelmiin liitosten kestävyyskannalta (kuvassa levy mitoitettu R 90-luokkaan).



Kuva 92. Massiivipuulevyihin tehty hammastus siirtää tehokkaasti leikkausvoimaa ja pystykuormaa ilman teräsosia.

Kuva: Willmott Dixon