Puurakenteiden palomitoitus

Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018

Moduuli 4

Tero Lahtela

PUUINFO

Kuvat: Puuinfo

Materiaalin käyttäytyminen palossa

Kuva: www.frpdistributors.com

Kuva: www.dec.uc.pt

Kuva: www.lakeheadu.ca

PUUINFO

Kuva: www.pennlive.com

PUUINFO

Kuva: www.pennlive.com

PUUINFO

Kuva: www.pennlive.com

Puutuotteen hiiltyminen

Liimapuu

LVL

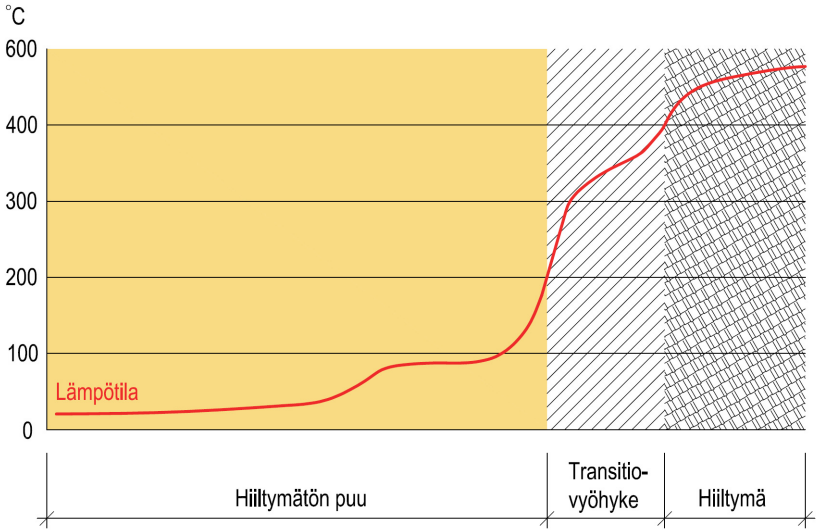
Sahatavara

Kuvat: Puuinfo

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

[a)] Standardin EN 14374 mukainen LVL (Kerto S ja Kerto Q)
[b)] Standardin EN 14374 mukainen LVL (Kerto T ja Kerto L)
[c)] Standardien EN 309 (Lastulevy), EN 313-1 (Vaneri), EN 300 (OSB-levyt) ja EN 316 (Puukuitulevyt) mukaisille puulevyille ja laudoitukselle pätevät arvot, kun ominaistiheys on 450 kg/m^3 ja levyn paksuus 20 mm; ks. kaavat (3.5) ja (3.6) tiheyden tai paksuuden poiketessa näistä arvoista. Puulevyjen ominaistiheydet on esitetty standardissa EN 12369.

Lähde: RIL 205-2

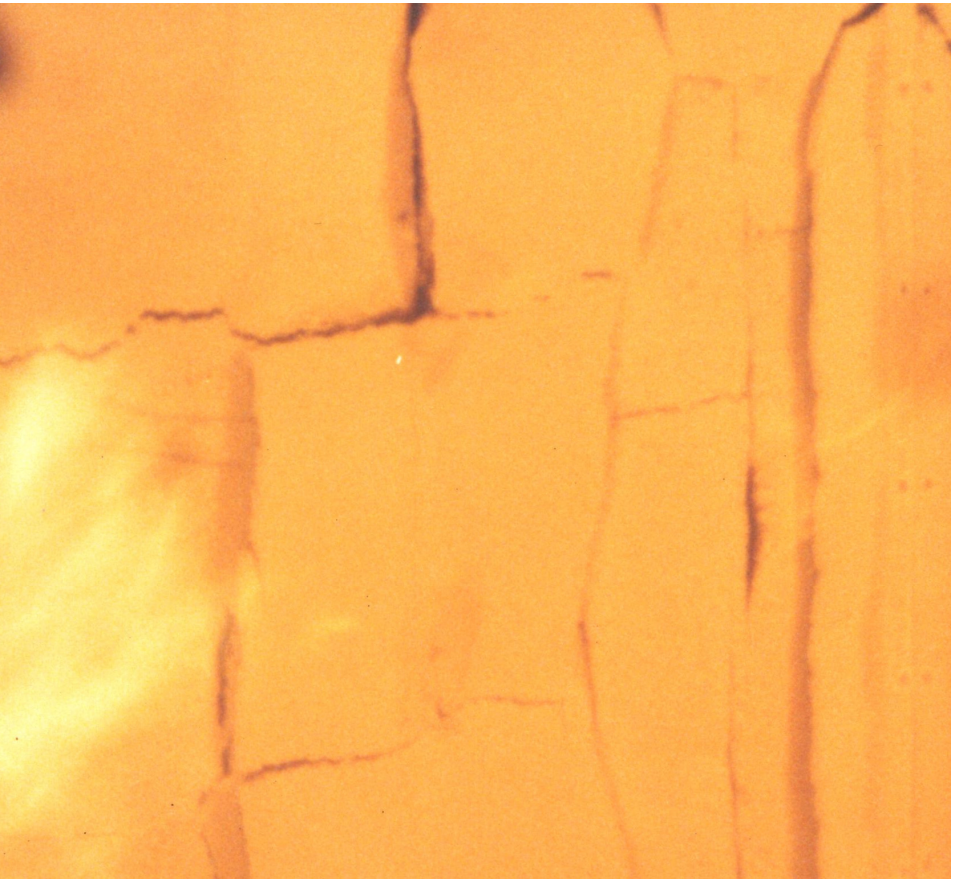


PUUINFO

Kuva: www.greenbuildingadvisor.com

Palosuojauksen takana lämmennyt puu hiiltyy nopeammin!

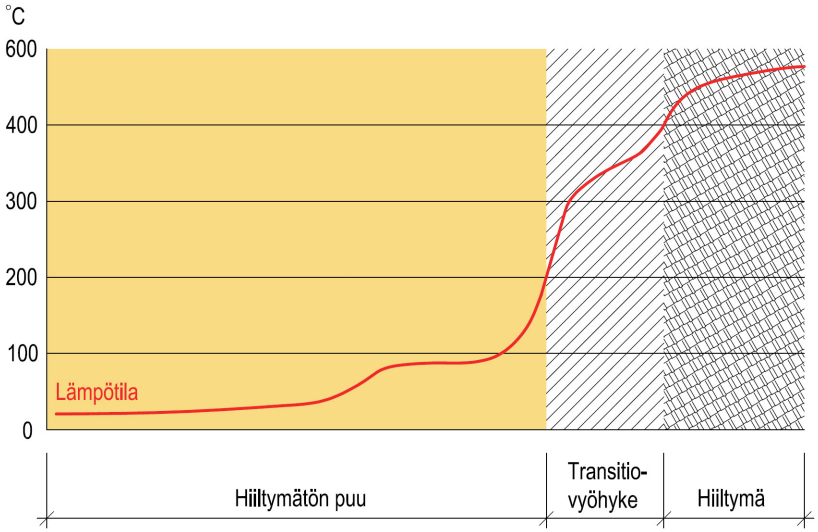
Kipsilevytys murtumishetkellä

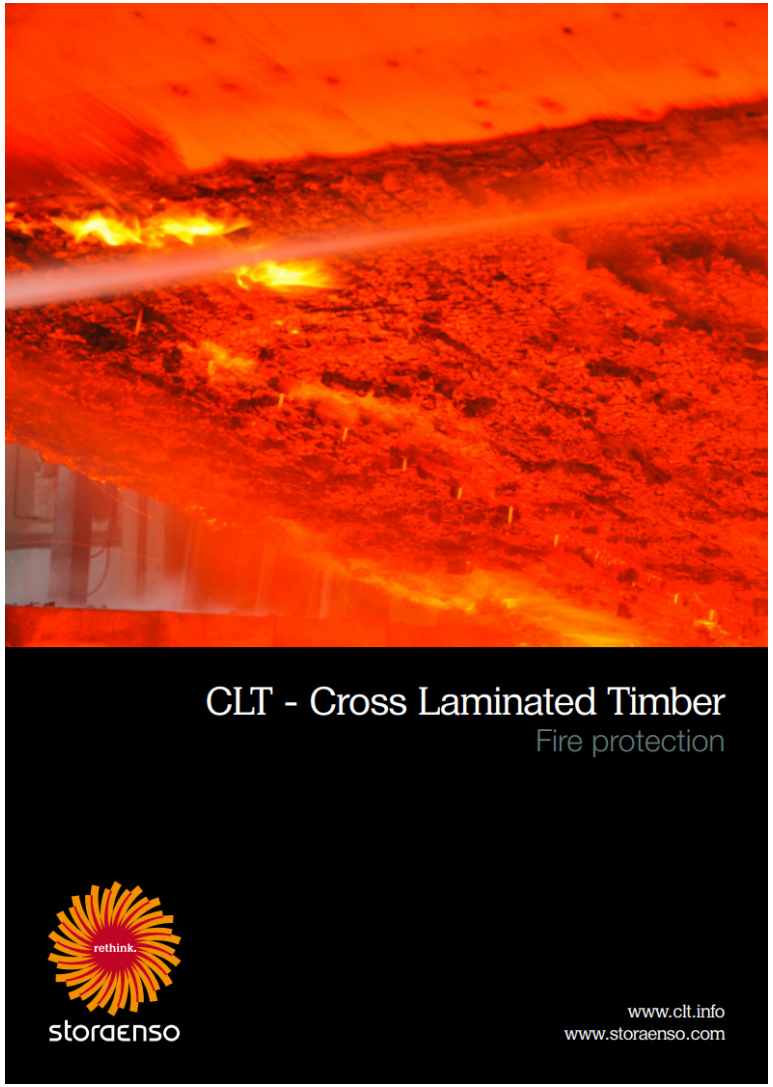


Voimakas palo kipsilevytyksen putoamisen jälkeen

Kuva: www.fpl.fs.fed.us

- CLT-levylle ei ole virallista palomitoitusmenetelmää Suomessa
- CLT-levyssä saattaa esiintyä palon aikana delaminoitumista (suojaava hiilikerros irtoaa)





	Denomination	Adhesive type	Origin	Moisture content (%)
Polyuretaani	PUR-A1	Poly-Urethane A	Leftover from original full-scale NIST- test	14,5
	PUR-A2	Poly-Urethane A	Leftover from original full-scale NIST- test	-*
	PUR-B1	Poly-Urethane B	FP-Innovation	18,0
	PUR-B2	Poly-Urethane B	FP-Innovation	15,3
Fenoli	PRF-1	Phenol Resorcinol Formaldehyde	FP-Innovation	16,3
	PRF-2	Phenol Resorcinol Formaldehyde	FP-Innovation	14,6
Isosyanaatti	EPI-1	Emulsion Polymer Isocyanate	FP-Innovation	16,3
	EPI-2	Emulsion Polymer Isocyanate	FP-Innovation	16,3
Melamiini	MF-1	Melamine Formaldehyde	FP-Innovation	-*
	MF-2	Melamine Formaldehyde	FP-Innovation	-*

**Note: Moisture content were measured before tests, due to limited time and resources, some measurements were not collected for the specimens, and these are presented with a horizontal line.*

	Specimen	Observed Delamination?	Comments	Time until visually observed delamination [min]
Polyuretaani	PUR-A1	YES	Complete delamination of first and second lamella	52 min (first lamella) 2 h, 43 min (second lamella)
	PUR-A2	YES	Complete delamination of first lamella, partial delamination of the second lamella	50 min (first lamella) 2h, 58 min (second lamella)
	PUR-B1	NO	-	-
	PUR-B2	NO	-	-
Fenoli	PRF-1	NO	-	-
	PRF-2	NO	-	-
Isosyanaatti	EPI-1	NO	-	-
	EPI-2	Partial	Larger part fell off towards the end, no ignition of the underlying layer	1h, 24 min (parts of first lamella)
Melamiini	MF-1	NO	-	-
	MF-2	NO	-	-

PUUINFO

Lähde:

Delamination of Cross-laminated timber and its impact on fire development

Focusing on different types of adhesives

Eric Johansson
Anton Svenningsson

Division of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

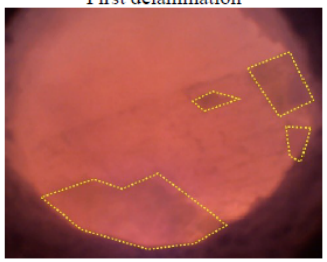
Timeline for PUR-A1

Initial stage of delamination

Image of the first lamella in the initial stage of the fire after 16 minutes.

The test with PUR-A1 started to show signs of delamination when a smaller part delaminated after approximately 51 minutes and within a minute later a major part of the first lamella delaminated.

First delamination



Reignition

Shortly after the first delamination the intensity of smoke and flames increase inside the furnace and reignition of the wood was shown.

After approximately 2 hours and 43 minutes a second layer of the specimens are delaminating from the element.

Second delamination

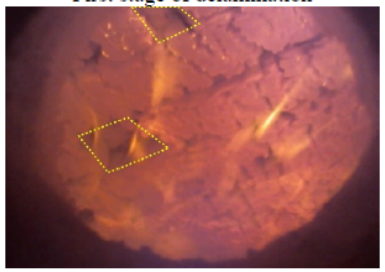
Timeline for EPI-2

Initial stage

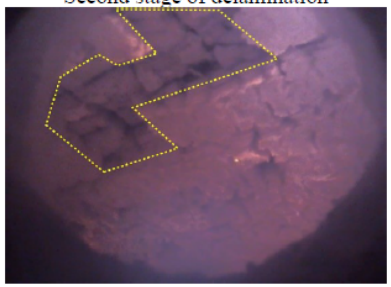
The initial stage of the charcoal and fire after approximately 17 minutes.

Small and local parts of the first lamellas started to fall off around 1 hour and 16 minutes.

First stage of delamination



Second stage of delamination



Approximately 1 hour and 30 min into the test a larger part delaminated in the first lamella. This was the last visible stage caught on camera before it became too dark in the furnace.

Lähde:

Delamination of Cross-laminated timber and its impact on fire development

Focusing on different types of adhesives

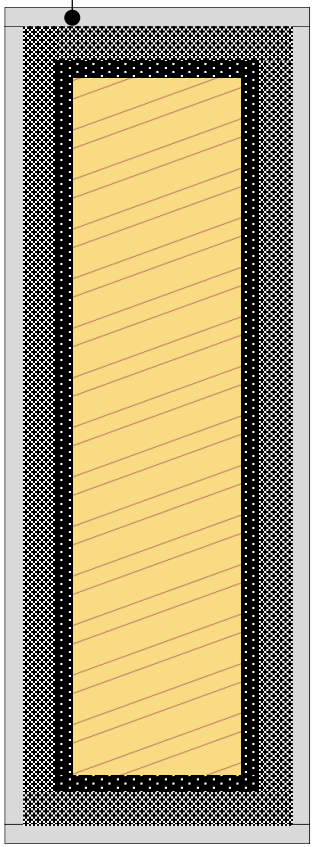
Eric Johansson
Anton Svenningsson

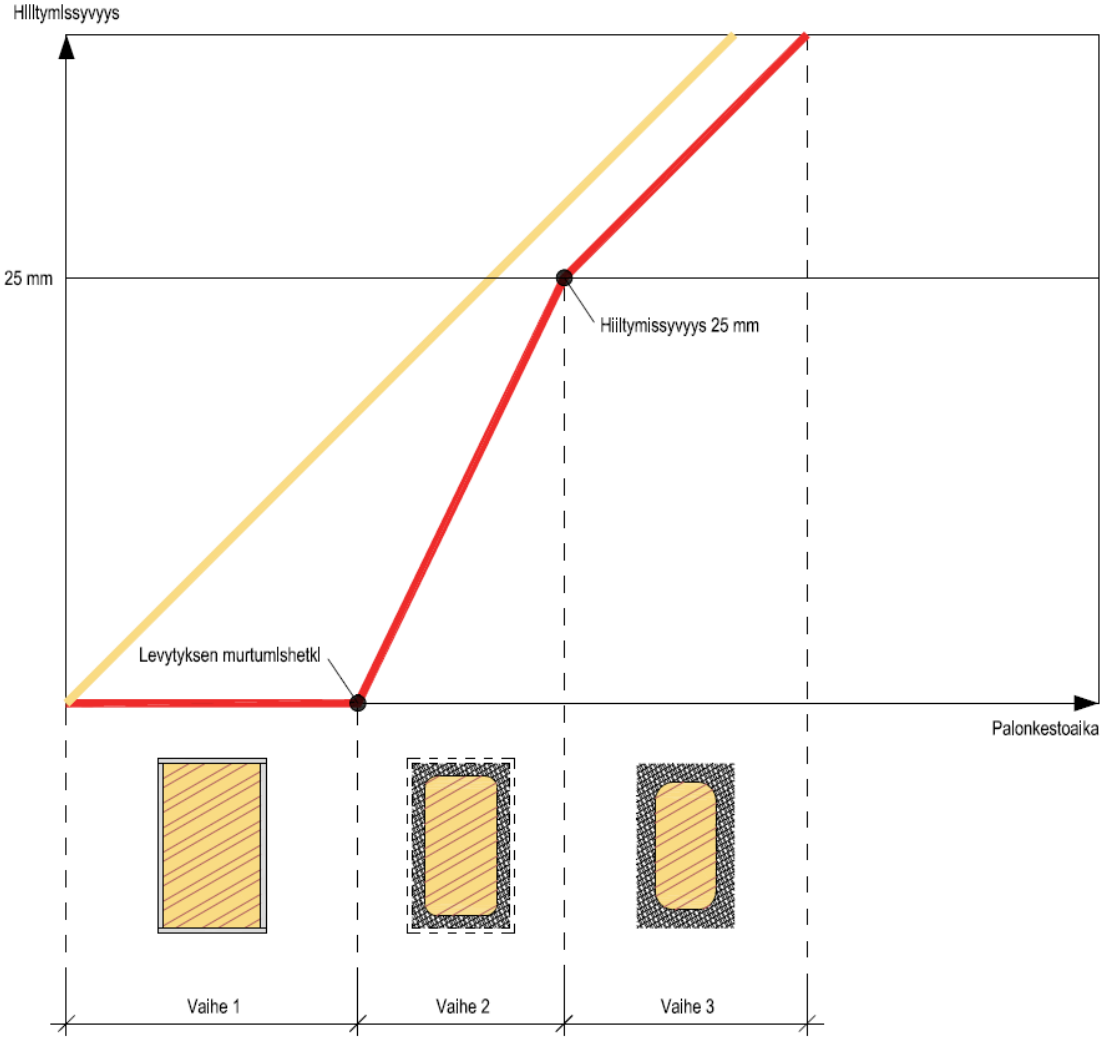
Division of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

PUUINFO

Palosuojaus

- Tavallinen kipsilevy
- Puulevy





Vaihe 1: Levytys suojaa [1] (ei hiiltymää)
Vaihe 2: Levytys murtunut (nopea hiiltyminen)
Vaihe 3: Puurakenne hiiltyy sille ominaisella nopeudella

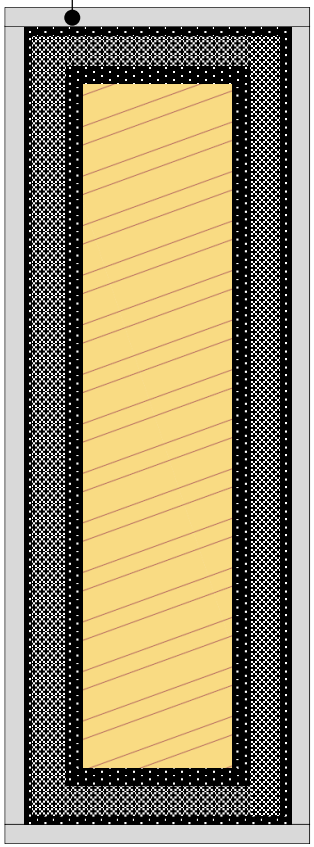
[1] Levytys koostuu tavallisesta kipsilevystä, puulevystä tai näiden yhdistelmästä

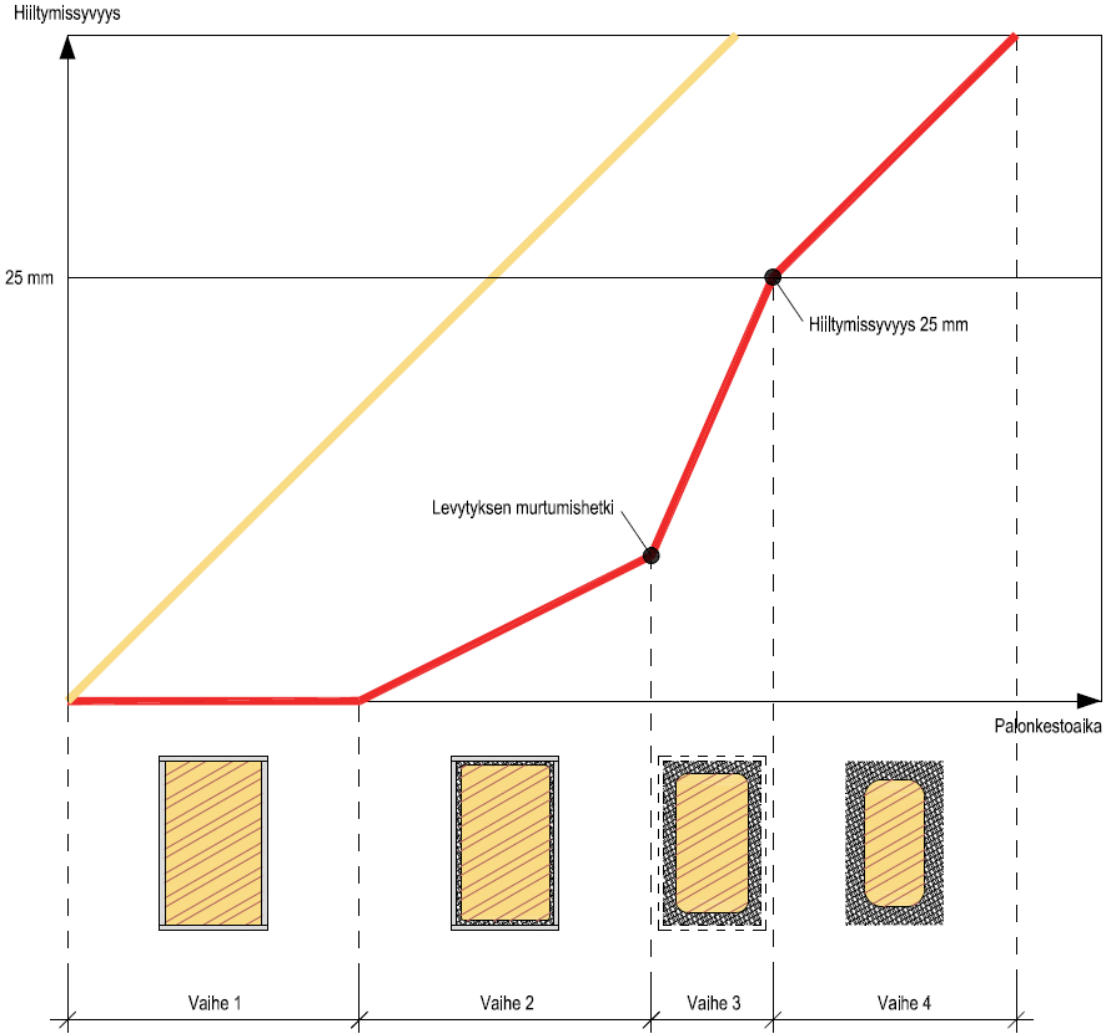
= Suojaamattoman puurakenteen hiiltymissyvyyden kasvu
= Palosuojatun puurakenteen hiiltymissyvyyden kasvu

PUUINFO

Palosuojaus

- Palokipsilevy





Vaihe 1: Levytys suojaa [1] (ei hiiltymää)
Vaihe 2: Levytys paikoillaan (hidas hiiltyminen levytyksen takana)
Vaihe 3: Levytys murtunut (nopea hiiltyminen)
Valhe 4: Puurakenne hiiltyy siile ominaisella nopeudella

[1] Levytys koostuu palokipsilevystä tai palokipsilevyn ja puulevyn / tavallisen kipsilevyn yhdistelmästä

= Suojaamattoman puurakenteen hiiltymissyvyyden kasvu
= Palosuojatun puurakenteen hiiltymissyvyyden kasvu

PUUINFO

Palonkestävyyden osoittaminen

REI-vaatimukset (taulukkomitoitus tai toiminnallinen)

↓

Rakenneosatarkastelu (EC 5)

↓

Palonkestävyys osoitettu

Vaihtoehtoisesti

REI-vaatimukset (taulukkomitoitus tai toiminnallinen)

↓

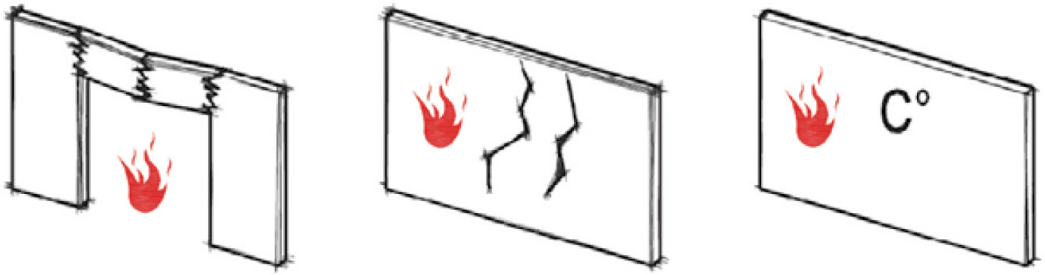
Standardin mukainen polttokoe [Rakenneosatarkastelu (EC 5)]

↓

Palonkestävyys osoitettu

PUUINFO

Kuva: Puuinfo



Kantavuus
R

Tiiviys
E

Eristävyys
I

- Kun ei ole EI-vaatimusta, mitoituksessa palo samanaikaisesti molemmilla puolilla rakennetta
- Kun on EI-vaatimus, mitoituksessa palo vain toisella puolella rakennetta
- Osastoivalla rakenteella aina myös R-vaatimus *(ei saa sortua ennen osastoivuuden päättymistä)*
- Välipohjat mitoitetaan alapuolista paloa vastaan *(yläpuolinen palo kuitenkin tutkittava tietyissä tapauksissa)*
- Yläpohjat mitoitetaan alapuolista ja ontelo-/ullakkopaloa vastaan
- Muodonmuutosten suuruus tarkastettava, jos vaikutusta palosuojauksen/osastoivuuden toimintaan
- Muiden materiaalien lämpölaajeneminen huomioitava
- Jos poikkileikkaus ei ala hiiltyä, palomitoitus ei yleensä tule mitoittavaksi

Palotilanteen kuormitus

(onnettomuustilanne)

$$E_{d,fi} = G_{kj} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$ (luonnonkuorma määräävä)

$$E_{d,fi} = G_{kj} + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$ (hyötykuorma määräävä)

VAIHTOEHTOISESTI

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d$$ (yksinkertaistettu menetelmä)

$E_d =$ kuormien aiheuttama rasitus normaalilämpötilassa

$\eta_{fi} =$ kuorman mitoitusarvon pienennyskerroin palotilanteessa

Taulukko 2.2. Muuttuvan kuorman yhdistelykertoimet $\psi_{1,1}$ ja $\psi_{2,i}$ EN 1990 kansallisen liitteen mukaan.

Kuorma	$\psi_{1,1}$	$\psi_{2,i}$
Hyötykuormat rakennuksissa		
Luokka A: asuintilat		0,3
Luokka B: toimistotilat		0,3
Luokka C: kokoontumistilat		0,3
Luokka D: myymälätilat		0,6
Luokka E: varastotilat		0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, esim. autotallit		0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, raskaat ajoneuvot		0,3
Luokka H: vesikatot		0
Lumikuorma, kun		
$s_k < 2{,}75$ kN/m^2	0,4	0,2
$s_k \geq 2{,}75$ kN/m^2	0,5	0,2
Jääkuorma	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat	0,2	0

Lähde: RIL 205-2

PUUINFO

Luonnonkuorma on määräävä muuttuva kuorma (lumi, jää, tuuli)

$$G_{kj} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

→ esimerkiksi $\textit{pysyvä} + 0{,}4 \cdot \textit{lumi} + 0{,}3 \cdot \textit{hyöty} + 0 \cdot \textit{tuuli}$

→ esimerkiksi $\textit{pysyvä} + 0{,}2 \cdot \textit{tuuli} + 0{,}3 \cdot \textit{hyöty} + 0{,}2 \cdot \textit{lumi}$

Taulukko 2.2. Muuttuvan kuorman yhdistelykertoimet $\psi_{1,1}$ ja $\psi_{2,i}$ EN 1990 kansallisen liitteen mukaan.

Kuorma	$\psi_{1,1}$	$\psi_{2,i}$
Hyötykuormat rakennuksissa		
Luokka A: asuintilat		0,3
Luokka B: toimistotilat		0,3
Luokka C: kokoontumistilat		0,3
Luokka D: myymälätilat		0,6
Luokka E: varastotilat		0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, esim. autotallit		0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, raskaat ajoneuvot		0,3
Luokka H: vesikatot		0
Lumikuorma, kun		
$s_k < 2{,}75$ kN/m^2	0,4	0,2
$s_k \geq 2{,}75$ kN/m^2	0,5	0,2
Jääkuorma	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat	0,2	0

Lähde: RIL 205-2

Hyötykuorma on määräävä muuttuva kuorma

$$G_{kj} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

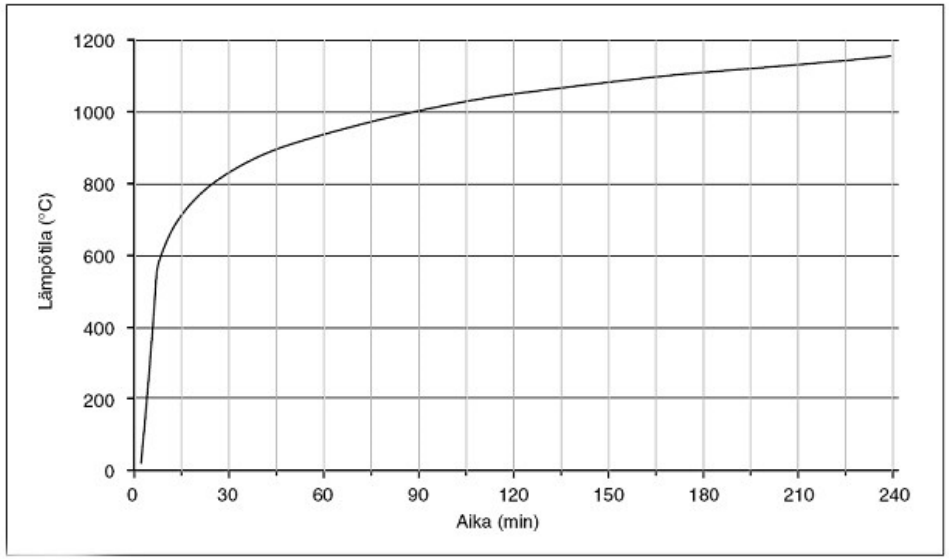
→ esimerkiksi $\textit{pysyvä} + 0{,}3 \cdot \textit{hyöty} + 0{,}2 \cdot \textit{lumi} + 0 \cdot \textit{tuuli}$

Taulukko 2.2. Muuttuvan kuorman yhdistelykertoimet $\psi_{1,1}$ ja $\psi_{2,i}$ EN 1990 kansallisen liitteen mukaan.

Kuorma	$\psi_{1,1}$	$\psi_{2,i}$
Hyötykuormat rakennuksissa		
Luokka A: asuintilat		0,3
Luokka B: toimistotilat		0,3
Luokka C: kokoontumistilat		0,3
Luokka D: myymälätilat		0,6
Luokka E: varastotilat		0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, esim. autotallit		0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, raskaat ajoneuvot		0,3
Luokka H: vesikatot		0
Lumikuorma, kun		
$s_k < 2{,}75$ kN/m^2	0,4	0,2
$s_k \geq 2{,}75$ kN/m^2	0,5	0,2
Jääkuorma	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat	0,2	0

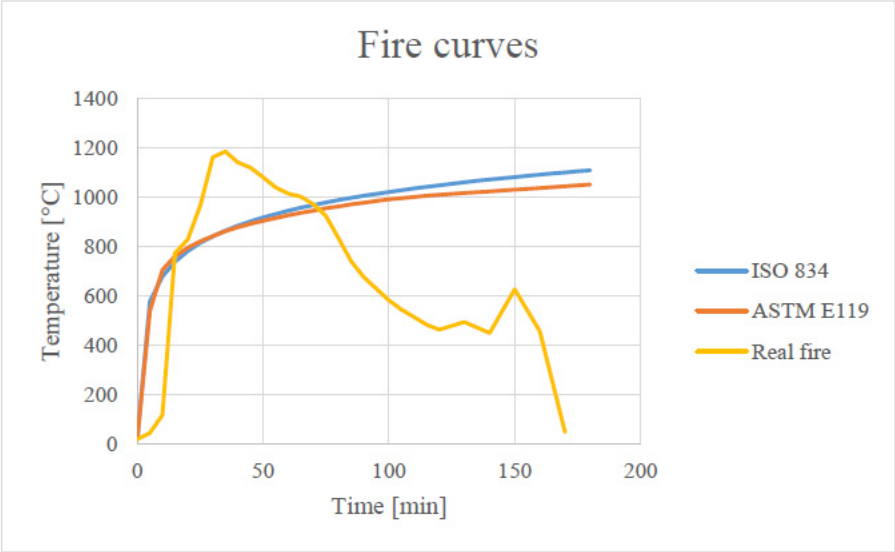
Lähde: RIL 205-2

Palorasitus



ISO-834 -standardin mukainen lämpötila-aikakäyrä

Lähde: Gyproc



Lähde:

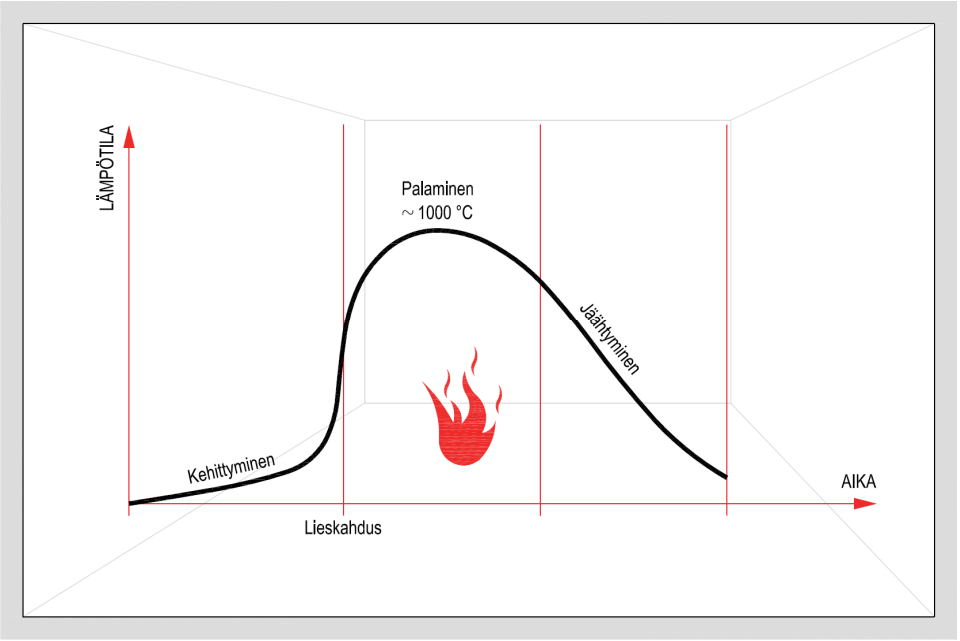
Delamination of Cross-laminated timber and its impact on fire development

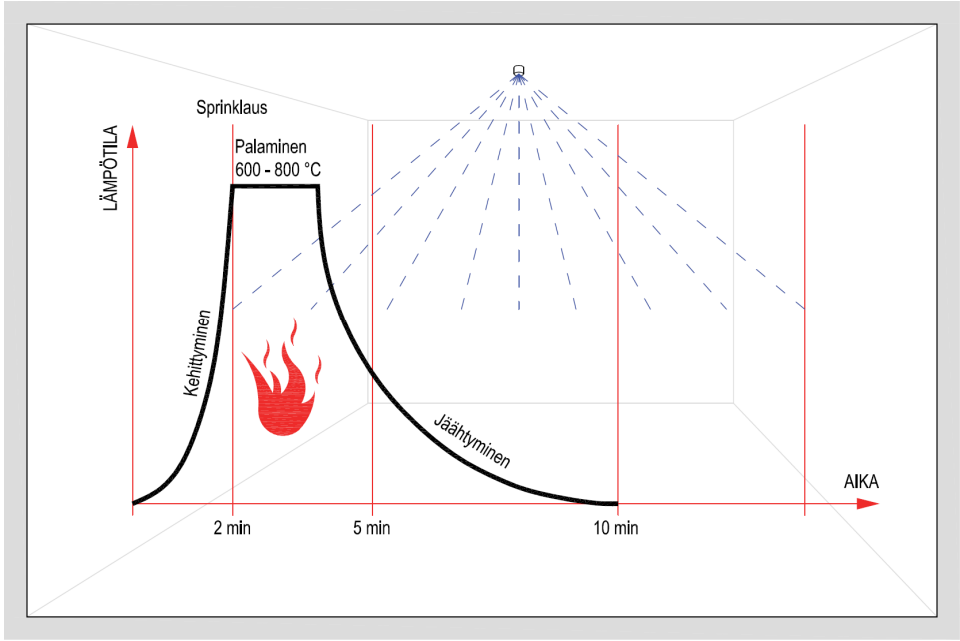
Focusing on different types of adhesives

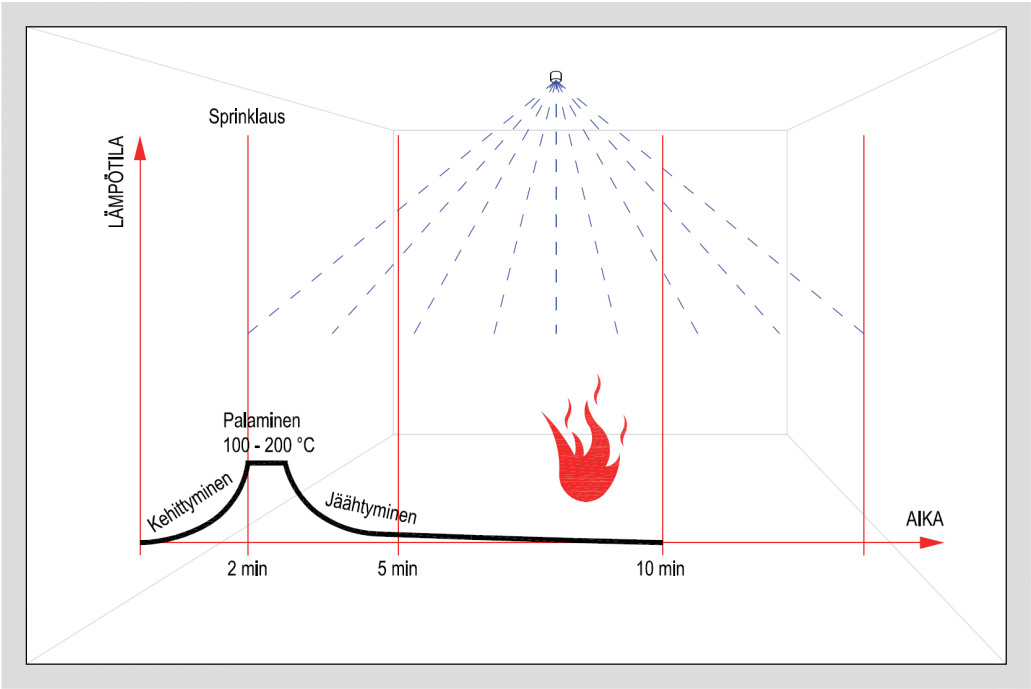
Eric Johansson
Anton Svenningsson

Division of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

PUUINFO







PUUINFO

Lähde: Puuinfo

Kestävyysmitoitus

LUJUUDEN MITOITUSARVO

$$f_{d,fi} = k_{\mathrm{mod},fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

$k_{\mathrm{mod},fi}$ = muunnoskerroin

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$$

$$\gamma_{M,fi} = 1{,}0$$

Taulukko 2.1. Kertoimen k_{fi} arvot.

	k_{fi}
Sahatavara	1,25
Liimapuu	1,15
Puulevyt	1,15
Kertopuu, LVL	1,1
Leikkausliittimien avulla muodostettu liitos, jossa sivukappaleet ovat puuta tai puulevyä	1,15
Leikkausliittimien avulla muodostettu liitos, jossa sivukappaleet ovat terästä	1,05
Liitokset, joissa liittimet kuormittuvat pitkittäin	1,05

- Muunnoskertoimen $k_{\mathrm{mod},fi}$ avulla huomioidaan lujuusominaisuuksien aleneminen palossa
- Muunnoskerroin $k_{\mathrm{mod},fi}$ määräytyy käytettävän mitoitusmenetelmän mukaan
- Nurjahdus- ja kiepahdusmitoituksessa käytetään $E_{0,05}$-arvoja $\left(\lambda_{rel,y,fi} = \frac{\lambda_{y,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \text{ ja } \sigma_{m,crit,fi} = \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot \ell_{ef,fi}} \cdot E_{0,05} \right)$
- Muodonmuutostarkasteluissa käytetään E_{mean}-arvoja, kuten normaalilämpötilassa
- Taivutus- ja vetolujuuksien kokovaikutuskertoimen k_h laskennassa käytetään tehollisen poikkileikkauksen tai nimellisen jäännöspoikkileikkauksen mukaista korkeutta h_{fi} tai $h_{\text{alkuperäinen}}$

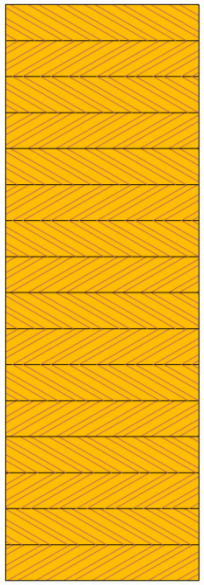
PUUINFO

Lähde: RIL 205-2

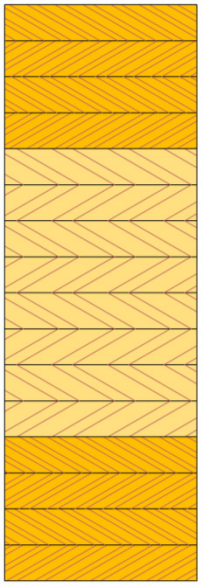
- Puristusta syysuuntaa vastaan kohtisuoraan ei tarvitse tarkastaa (tukipaine)
- Leikkausvoimakestävyyttä ei tarvitse tarkastaa pyöreällä ja suorakaidepoikkileikkauksella
- Lovetussa palkissa jäännöspoikkileikkaus loven lähellä vähintään 60 % normaalilämpötilassa vaadittavasta poikkileikkauksesta
- Jos kiepahdustuet menettävät toimintansa palotilanteessa, tehdään mitoitus ilman kiepahdustuentaa
- Jos nurjahdustuet menettävät toimintansa palotilanteessa, tehdään mitoitus ilman nurjahdustuentaa
- Kiepahdus-/nurjahdustarkastelu tehdään käyttäen tehollista poikkileikkausta tai nimellistä jäännös-poikkileikkausta laskentamenetelmästä riippuen
- Jos puristetut tai taivutetut rakennusosat on mitoitettu myös jäykistäviksi rakenteiksi, on tarkistettava, että jäykistys säilyy vaaditun palonkestoajan
- Jäykistyksen oletetaan säilyvän, jos puisten rakenneosien jäännöspoikkileikkauksen pinta-ala tai puulevyjen jäännöspaksuus on 60 % vaaditusta normaalilämpötilan poikkileikkauksesta tai paksuudesta ja liitokset on tehty nauloin, ruuvein, tappivaarnoin tai pultein

Lähde: RIL 205-2

Homogeeninen



Epähomogeeninen



Palomitoituksessa epähomogeenisen liimapuun lujuusarvoja käytetään sellaisenaan, vaikka suuremman lujuuden omaavat reunalamellit palavat käytännössä pois.

Kuva: Puuinfo

Hiiltymissyvyys

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

[a)] Standardin EN 14374 mukainen LVL (Kerto S ja Kerto Q)
[b)] Standardin EN 14374 mukainen LVL (Kerto T ja Kerto L)
[c)] Standardien EN 309 (Lastulevy), EN 313-1 (Vaneri), EN 300 (OSB-levyt) ja EN 316 (Puukuitulevyt) mukaisille puulevyille ja laudoitukselle pätevät arvot, kun ominaistiheys on 450 kg/m^3 ja levyn paksuus 20 mm; ks. kaavat (3.5) ja (3.6) tiheyden tai paksuuden poiketessa näistä arvoista. Puulevyjen ominaistiheydet on esitetty standardissa EN 12369.

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 \cdot k_\rho \cdot k_h \qquad k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \qquad k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}}$$

HUOMIO!

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

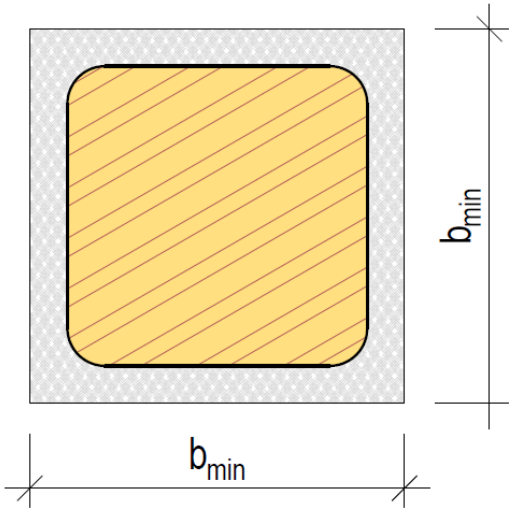
PUUINFO

Lähde: RIL 205-2

Hiiltymissyvyyden mitoitusarvo, kun hiiltyminen on <u>yksidimensionaalista</u>

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t$$

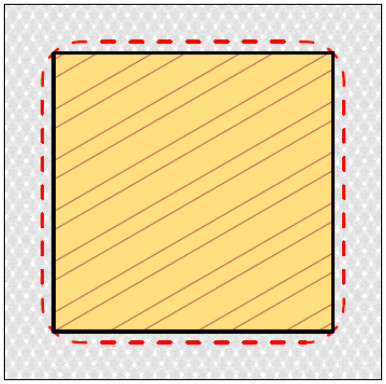
- Rakenne on altis palolle yhdeltä sivulta
- Yleensä tasomaiset rakennusosatteet (esim. massiivipuulevy)
- Soveltuu myös rakennusosalle, joka on palolle altis useammalta sivulta, kun kulmapyöristykset huomioidaan erikseen ja b_{min}-mitta täyttyy
- Kulmapyöristyksen säde $r = d_{char,0}$
- R 15 → b_{min} = 80 mm
- R 30 → b_{min} = 119 mm
- R 60 → b_{min} = 158 mm
- R 90 → b_{min} = 197 mm
- R 120 → b_{min} = 236 mm

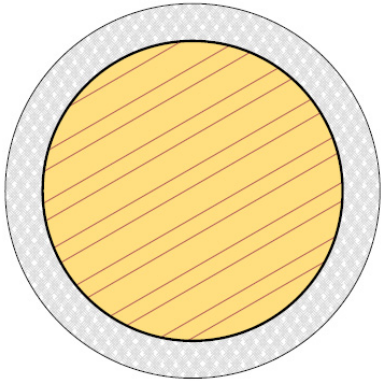


Nimellinen hiiltymissyvyyden mitoitusarvo

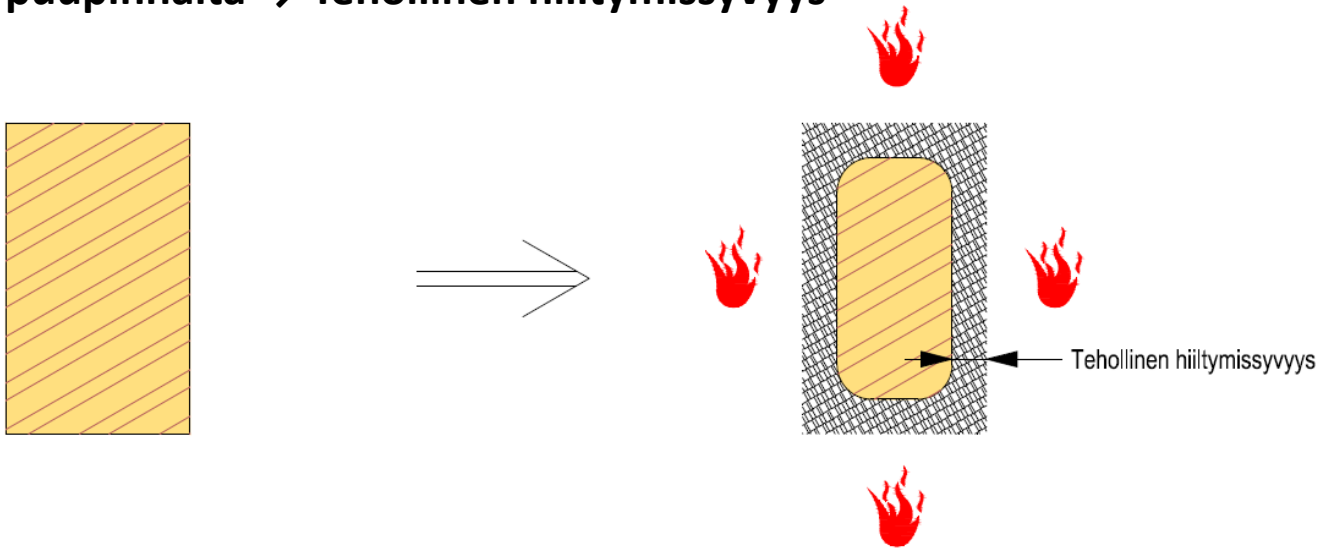
$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

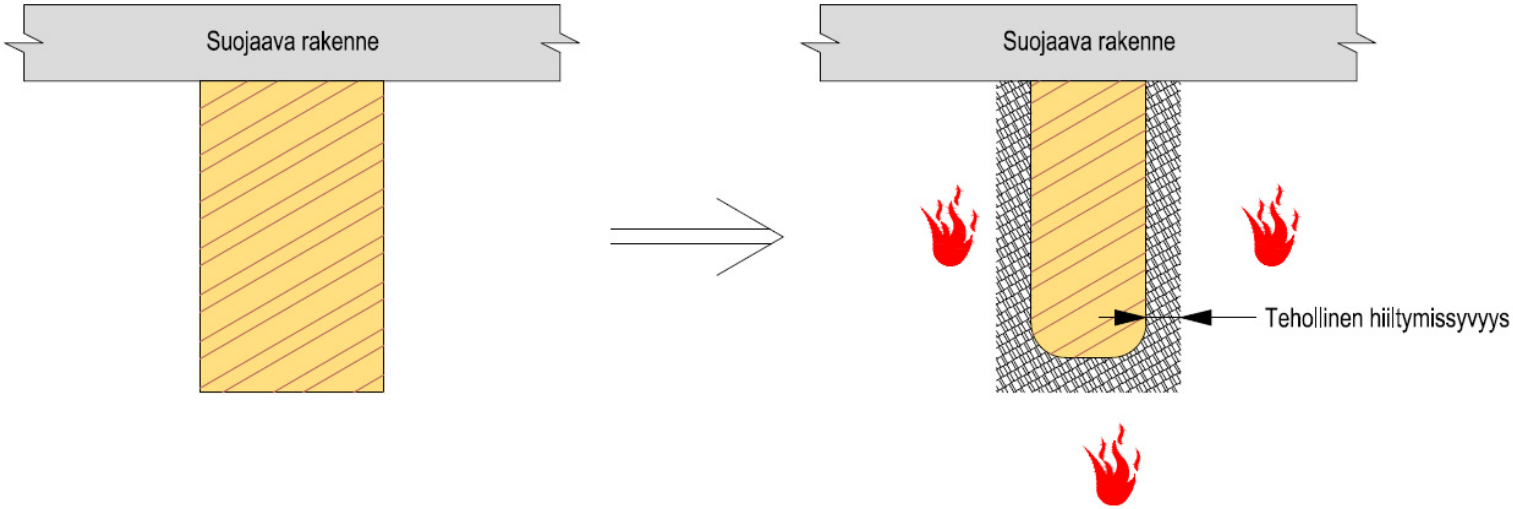
- Rakenne on altis palolle useammalta sivulta
- Sisältää kulmapyöristykset ja halkeamien vaikutuksen
- Käytetään myös pyöreälle poikkileikkaukselle





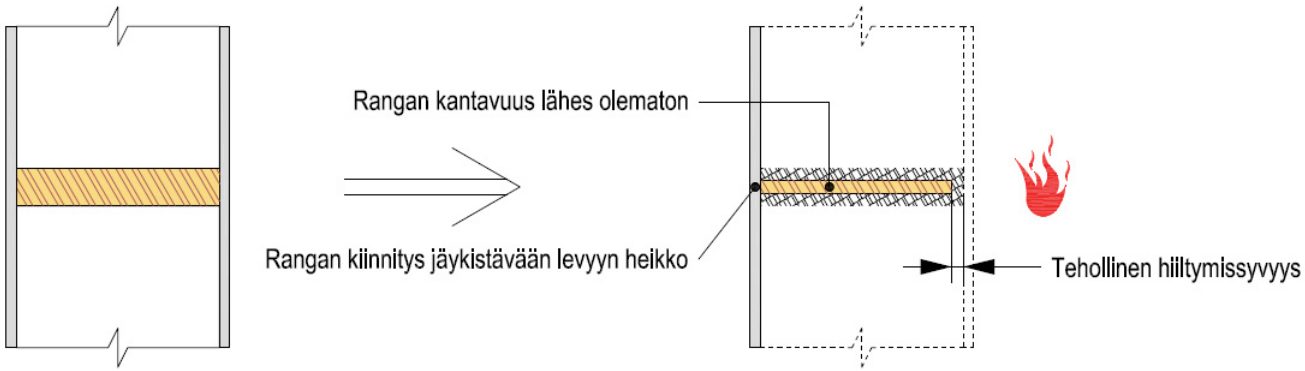
Hiiltyminen alkaa puupinnalta → Tehollinen hiiltymissyvyys

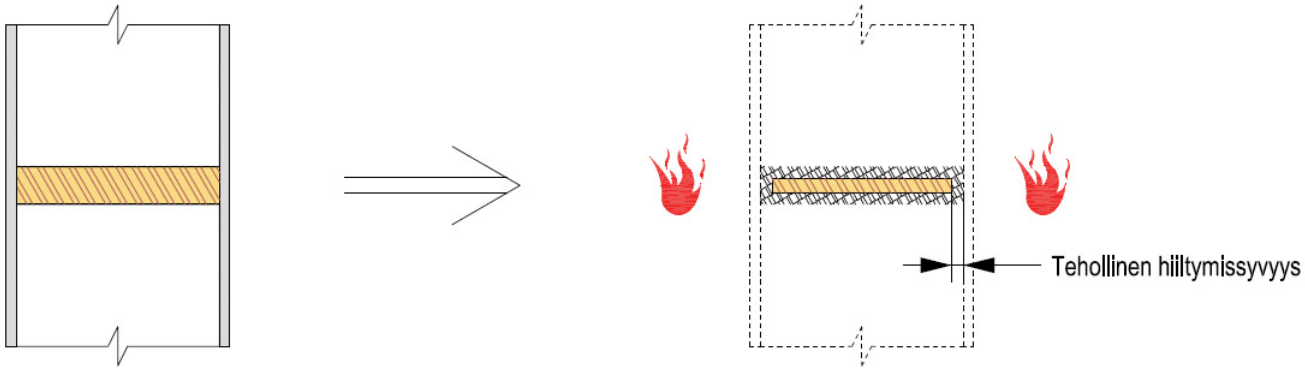




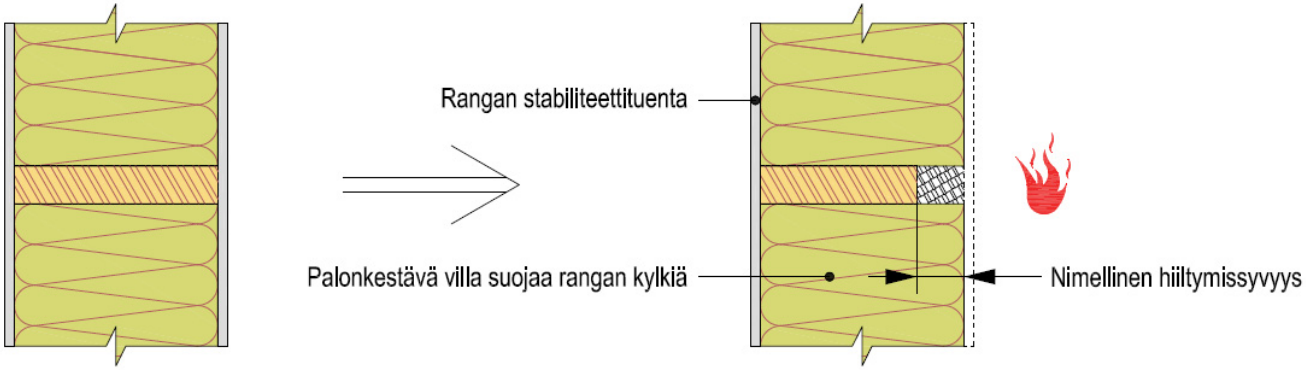
PUUINFO

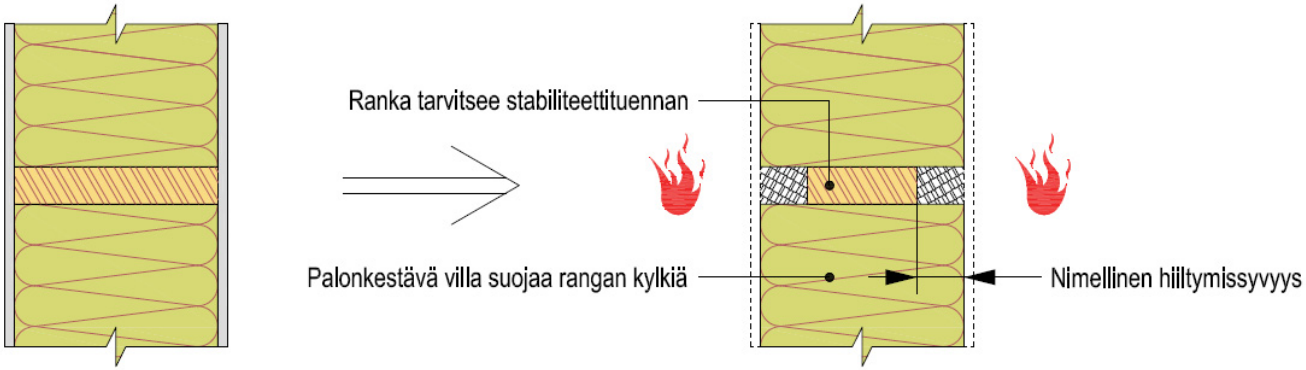
Tyhjä ontelo (myös lasivillalla täytetty) → Tehollinen hiiltymissyvyys





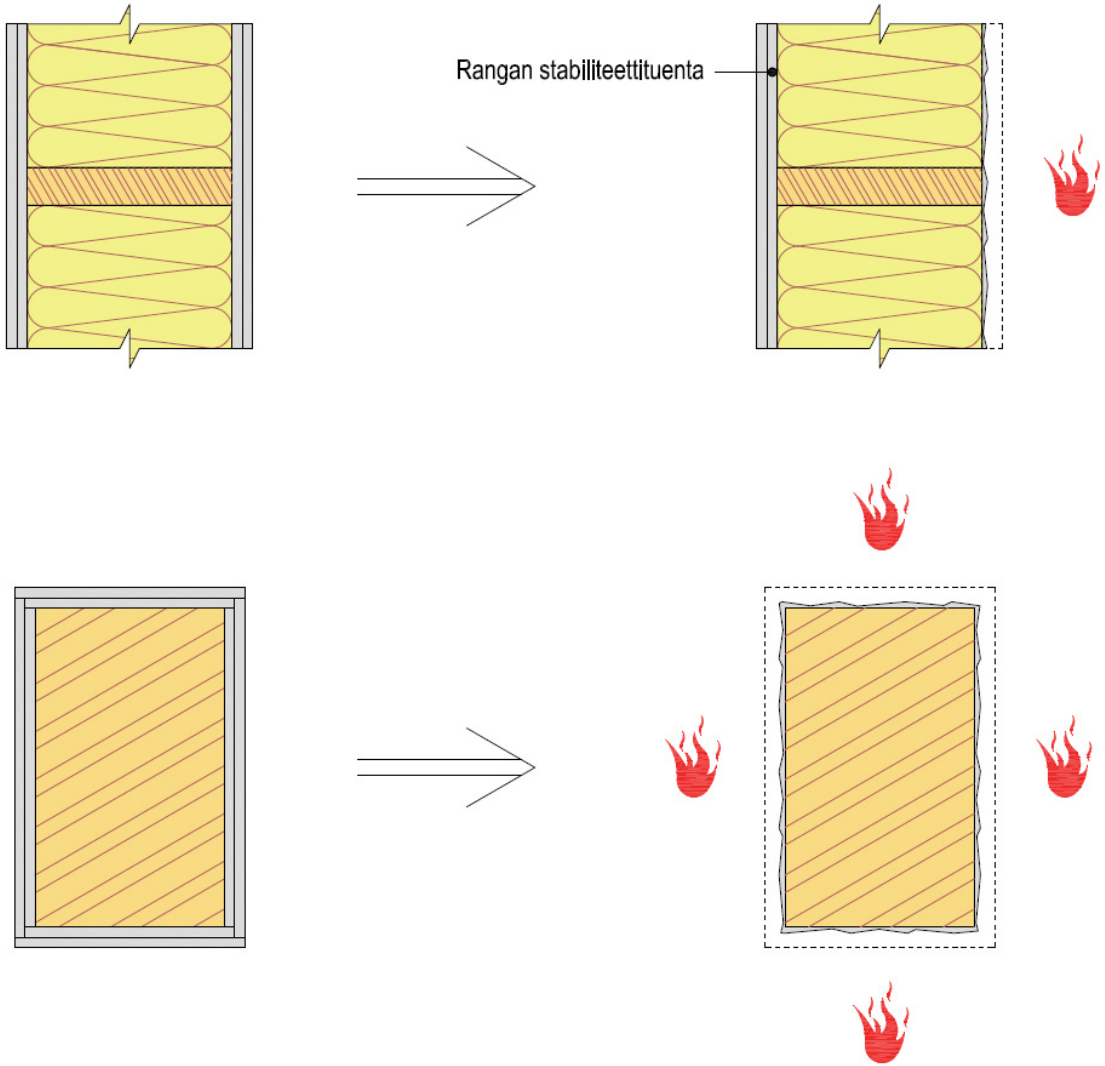
Ontelossa kivivilla → Nimellinen hiiltymissyvyys





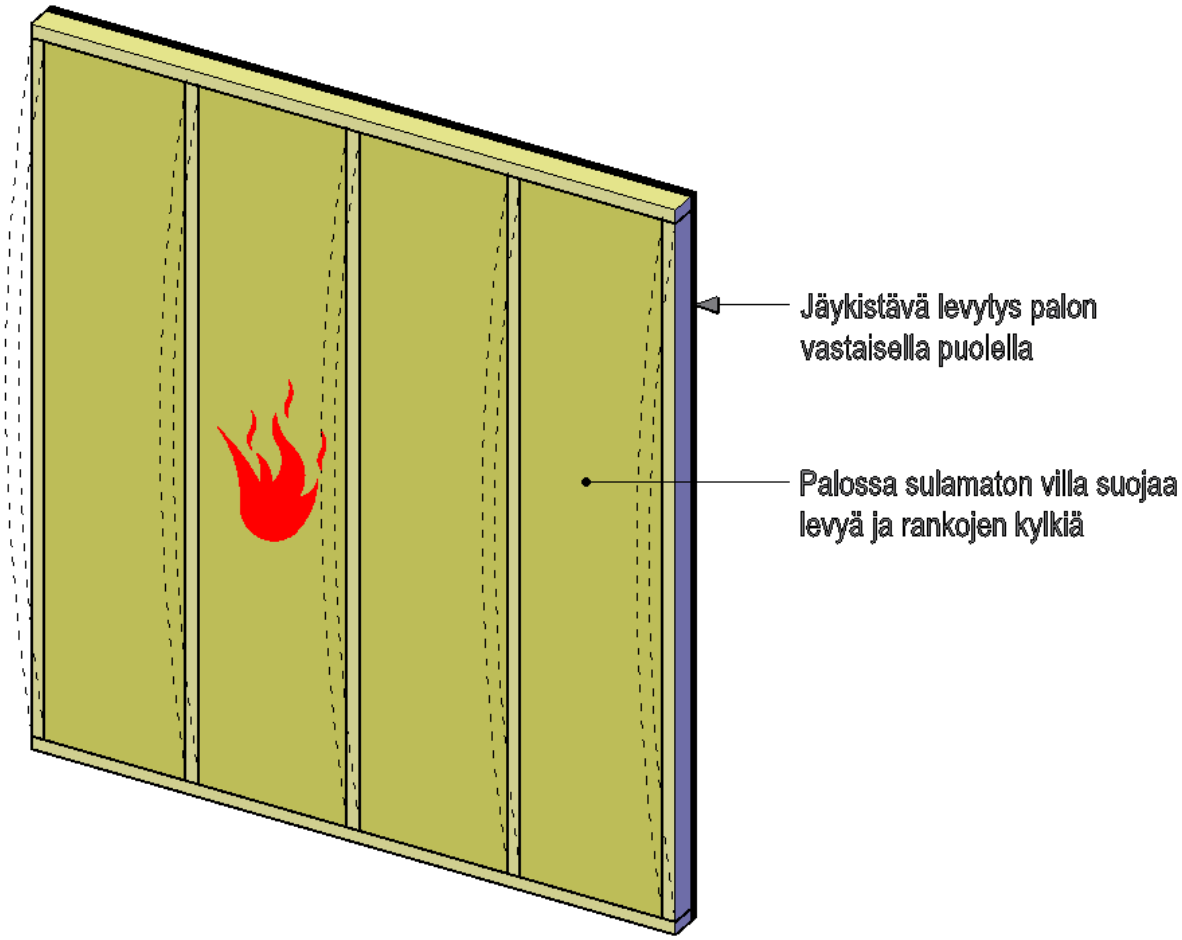
PUUINFO

Suojaus koko palonkestoajalle → Palomitoitus ei yleensä tule mitoittavaksi

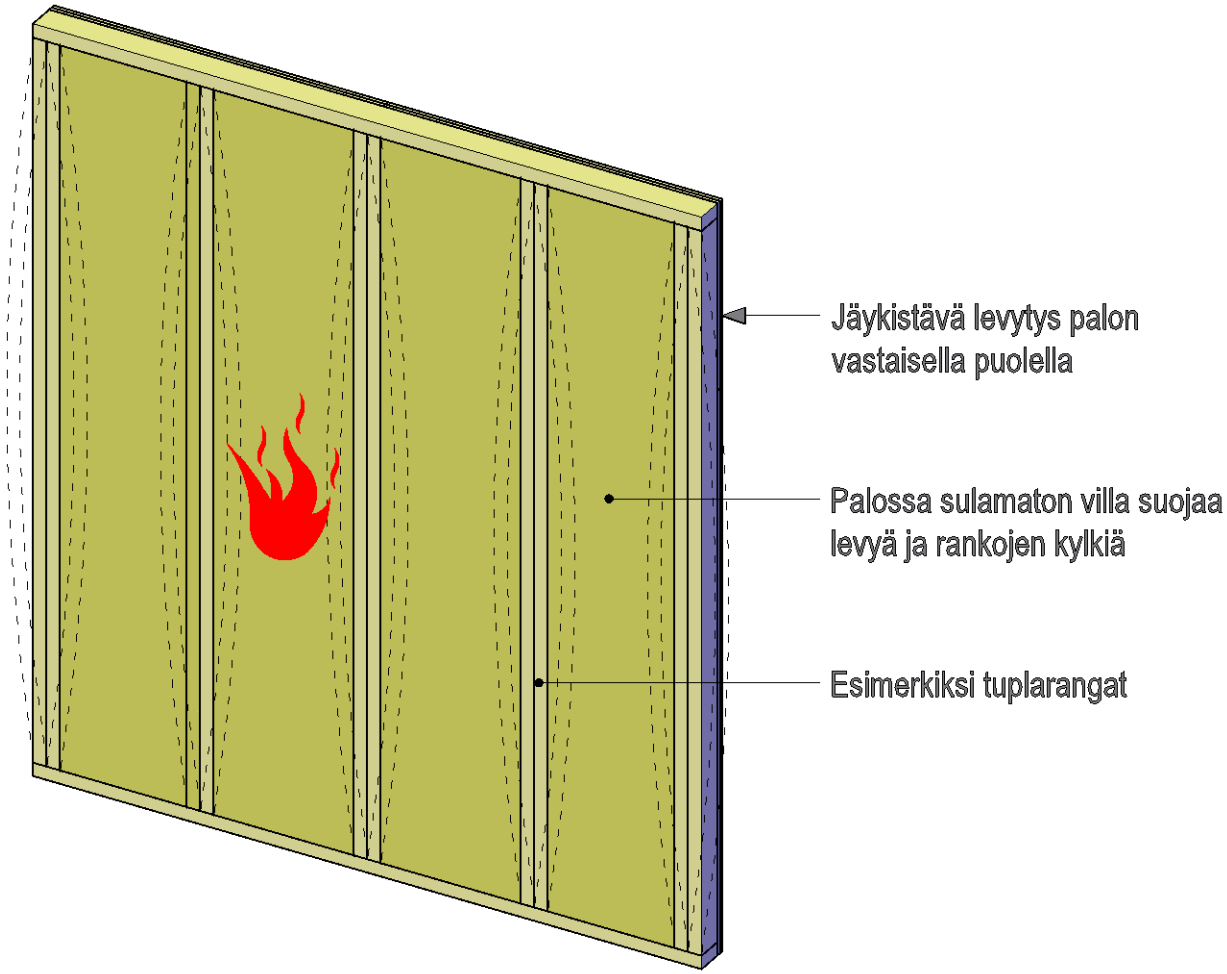


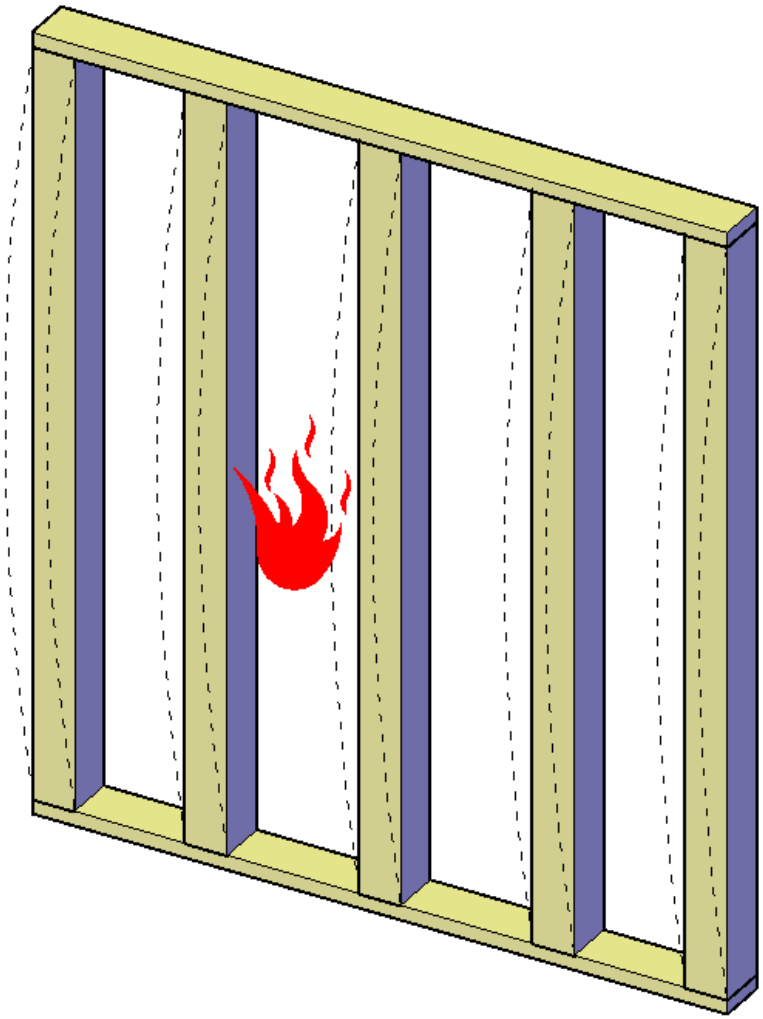
PUUINFO

Stabiliteetti

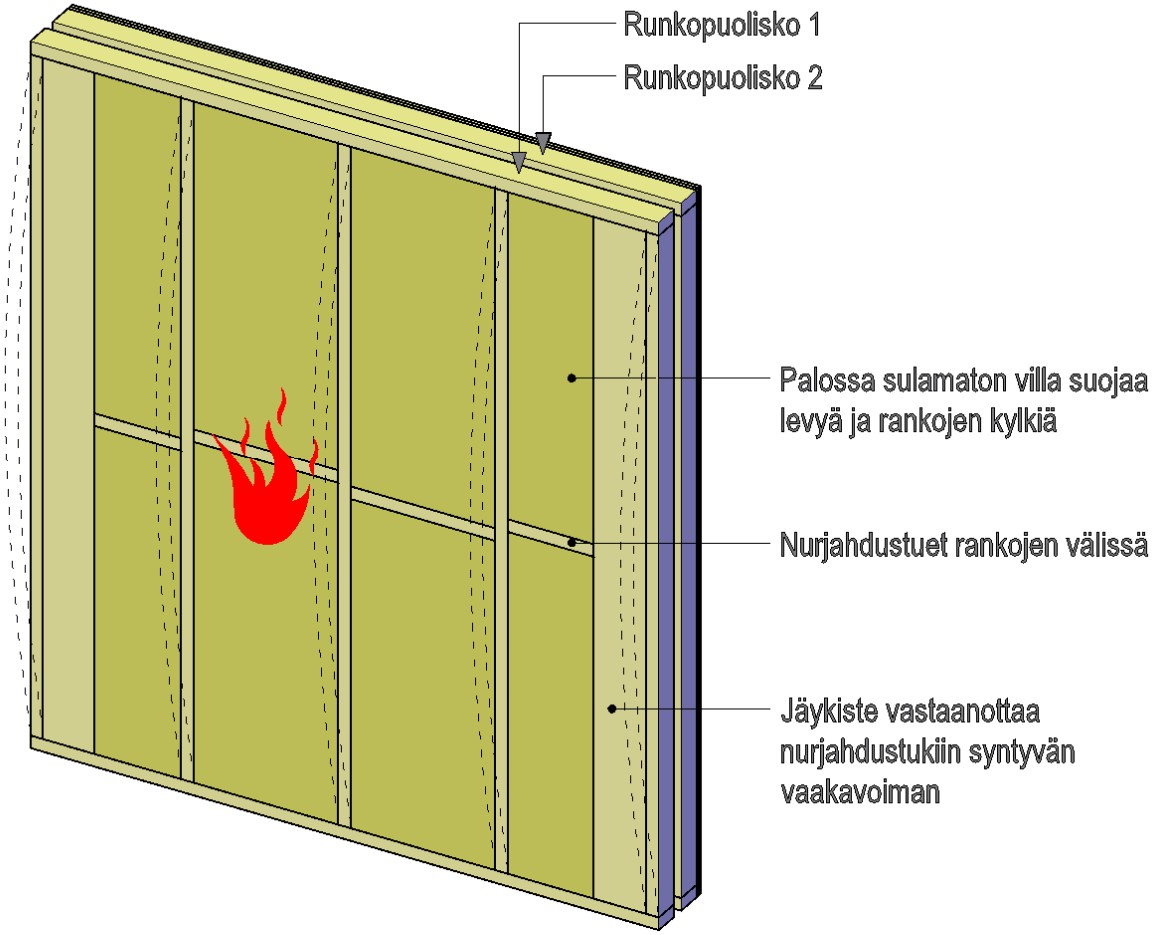


PUUINFO

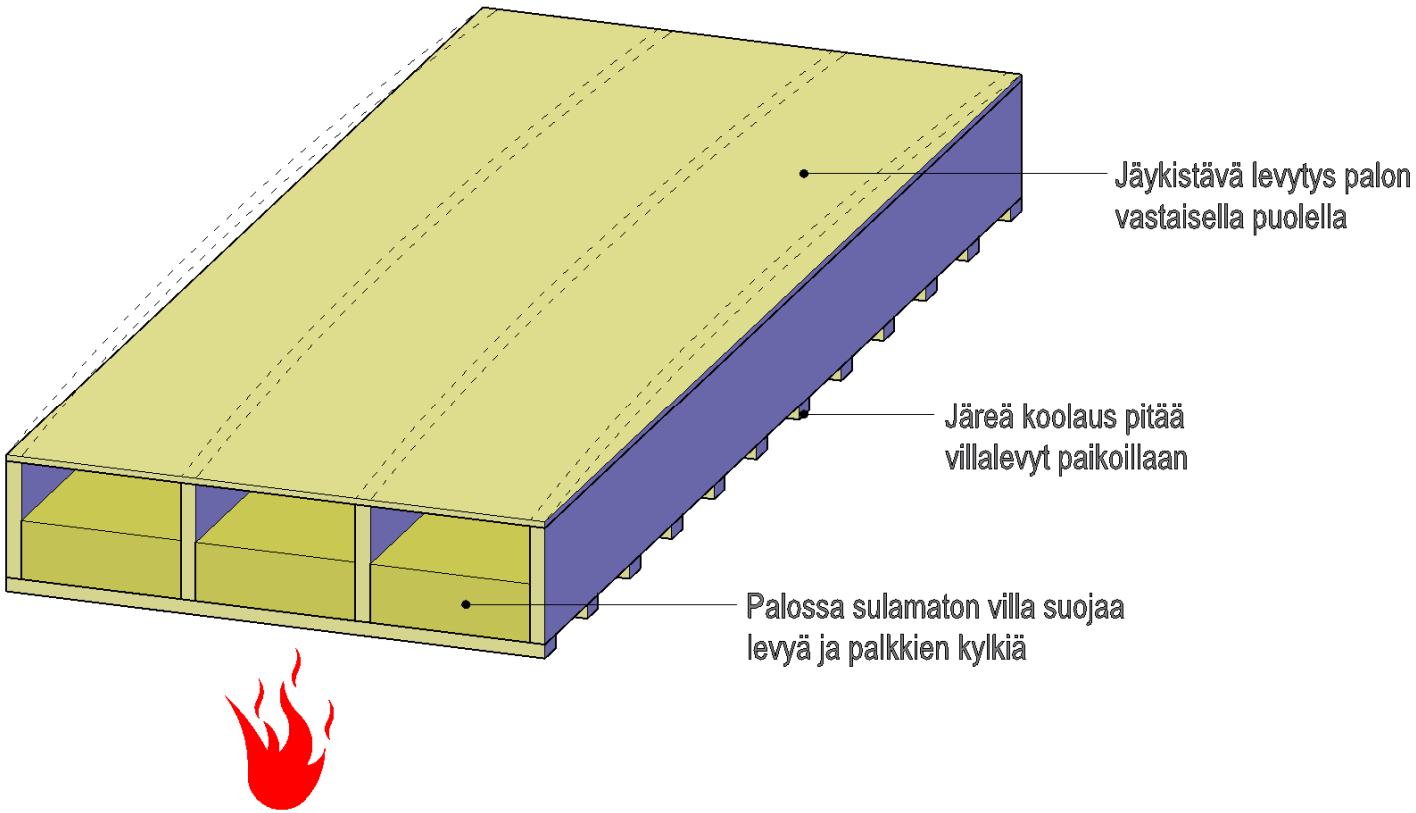

Jäykistävä levytys palon vastaisella puolella
Palossa sulamaton villa suojaa levyä ja rankojen kylkiä
Esimerkiksi tuplarangat



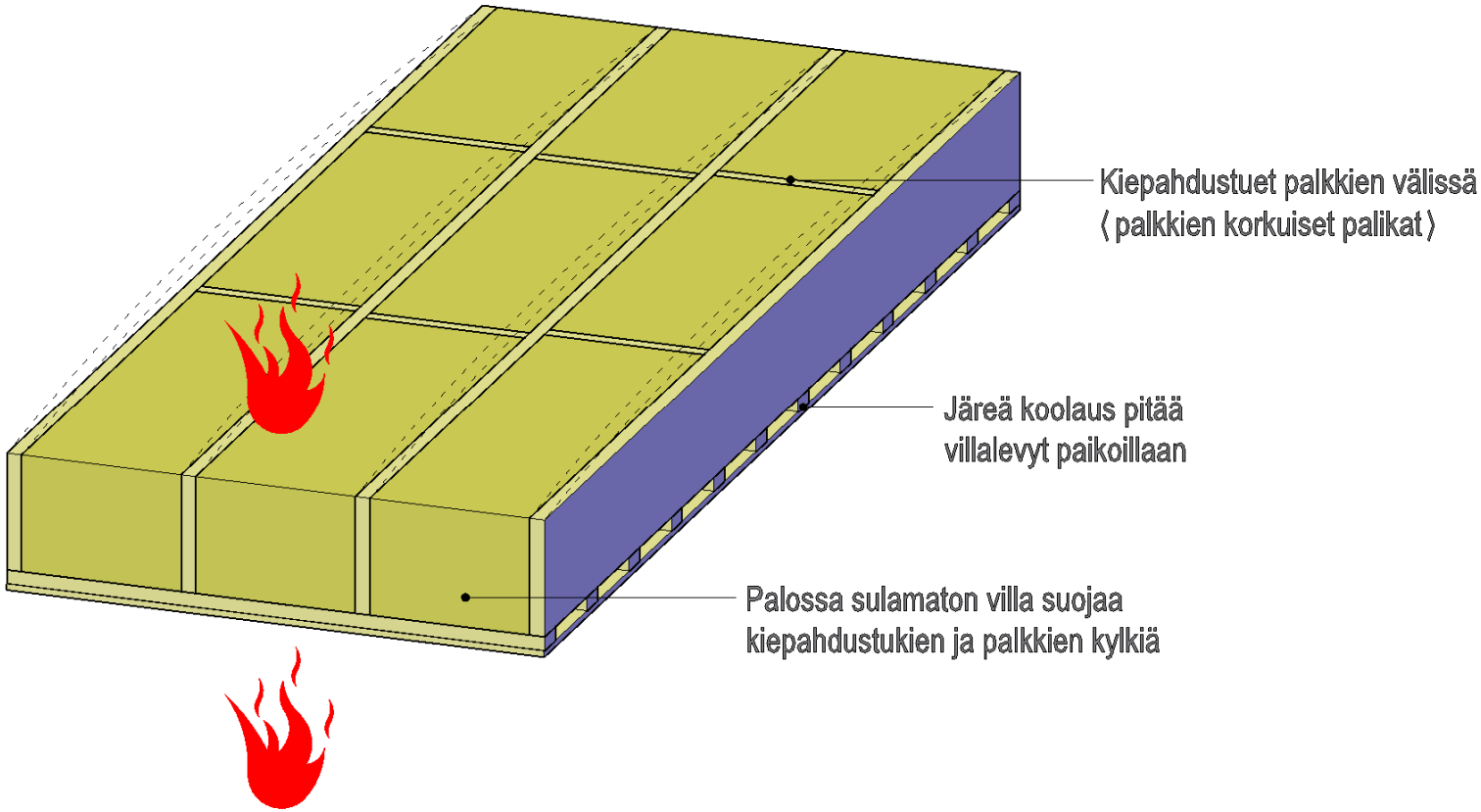
PUUINFO


Runkopuolisko 1
Runkopuolisko 2
Palossa sulamaton villa suojaa levyä ja rankojen kylkiä
Nurjahdustuet rankojen välissä
Jäykiste vastaanottaa nurjahdustukiin syntyvän vaakavoiman

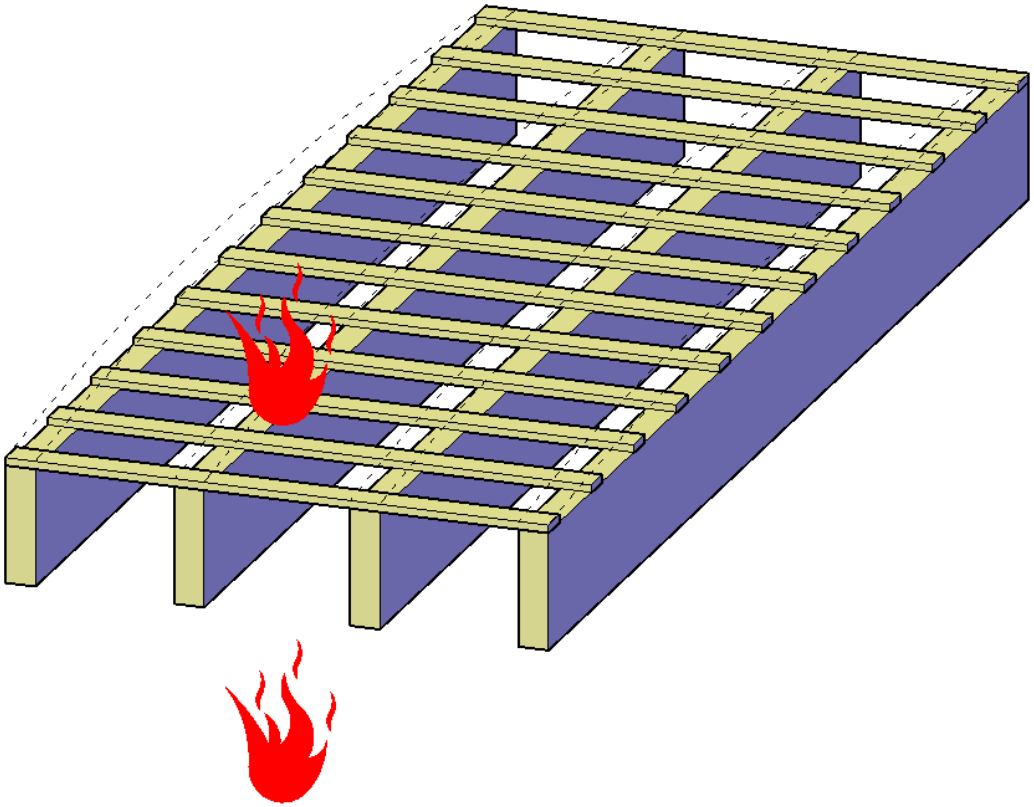
PUUINFO

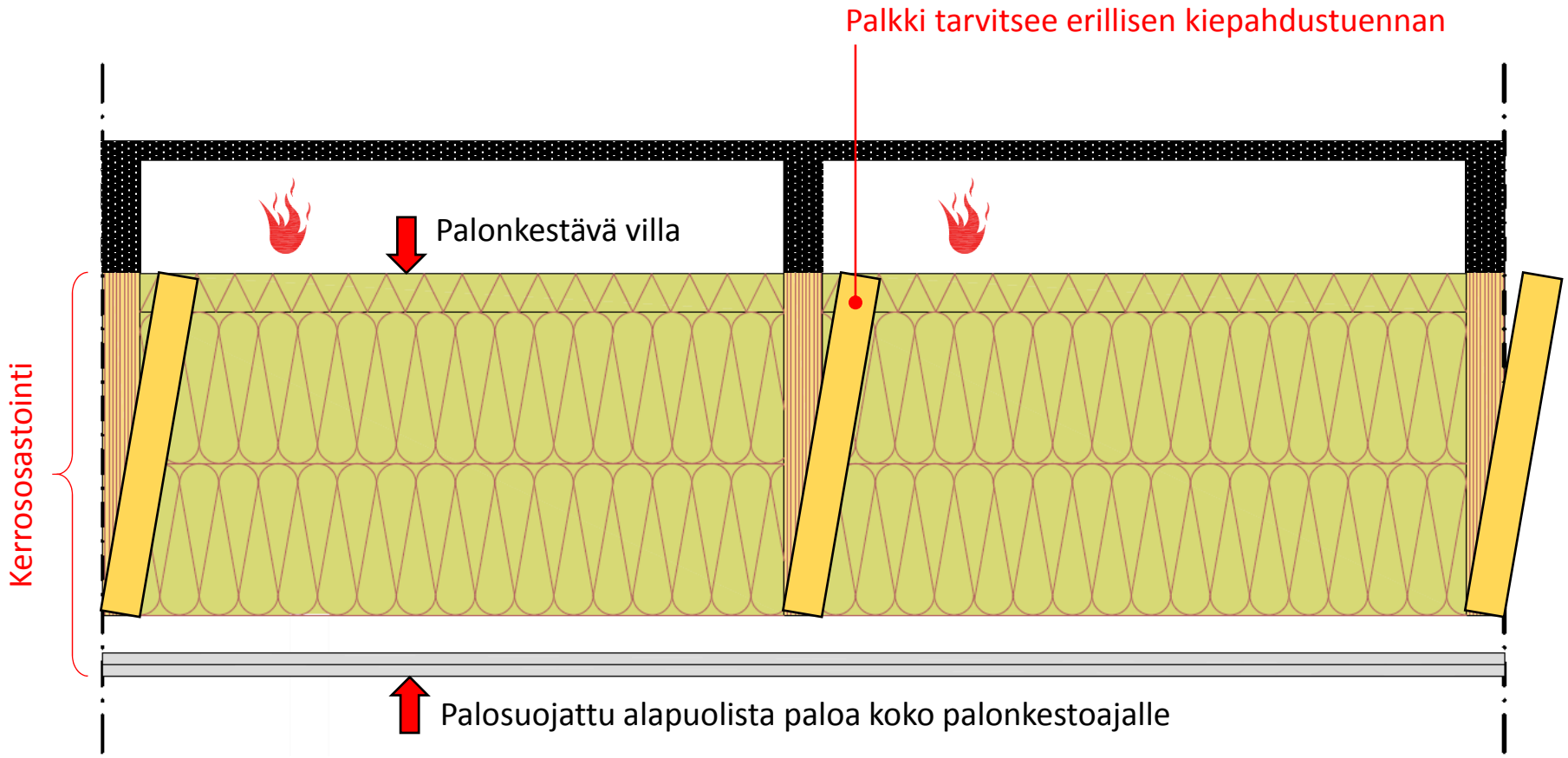

Jäykistävä levytys palon vastaisella puolella
Järeä koolaus pitää villalevyt paikoillaan
Palossa sulamaton villa suojaa levyä ja palkkien kylkiä

PUUINFO

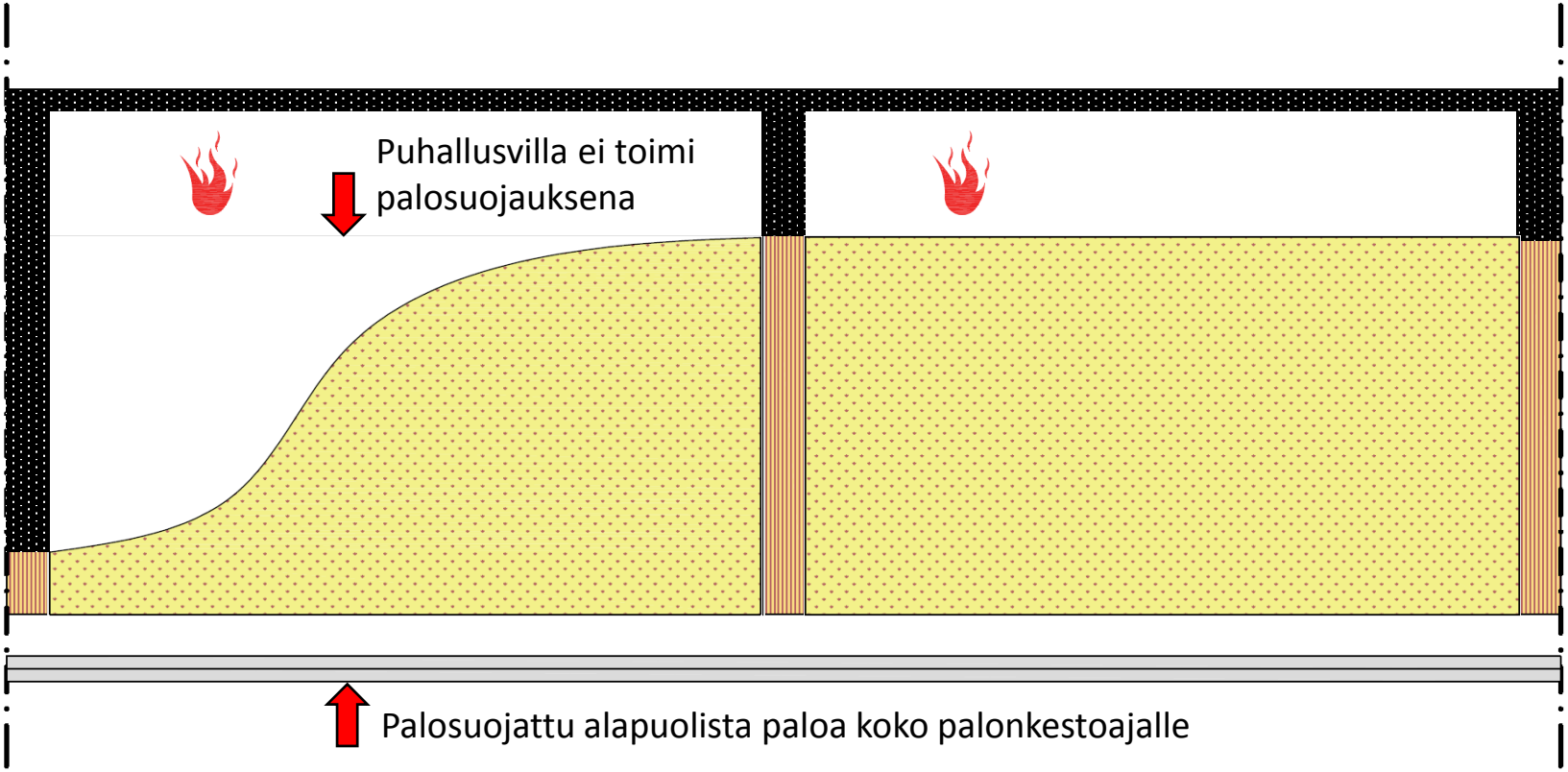

Kiepahdustuet palkkien välissä
(palkkien korkuiset palikat)
Järeä koolaus pitää
villalevyt paikoillaan
Palossa sulamaton villa suojaa
kiepahdustukien ja palkkien kylkiä

PUUINFO



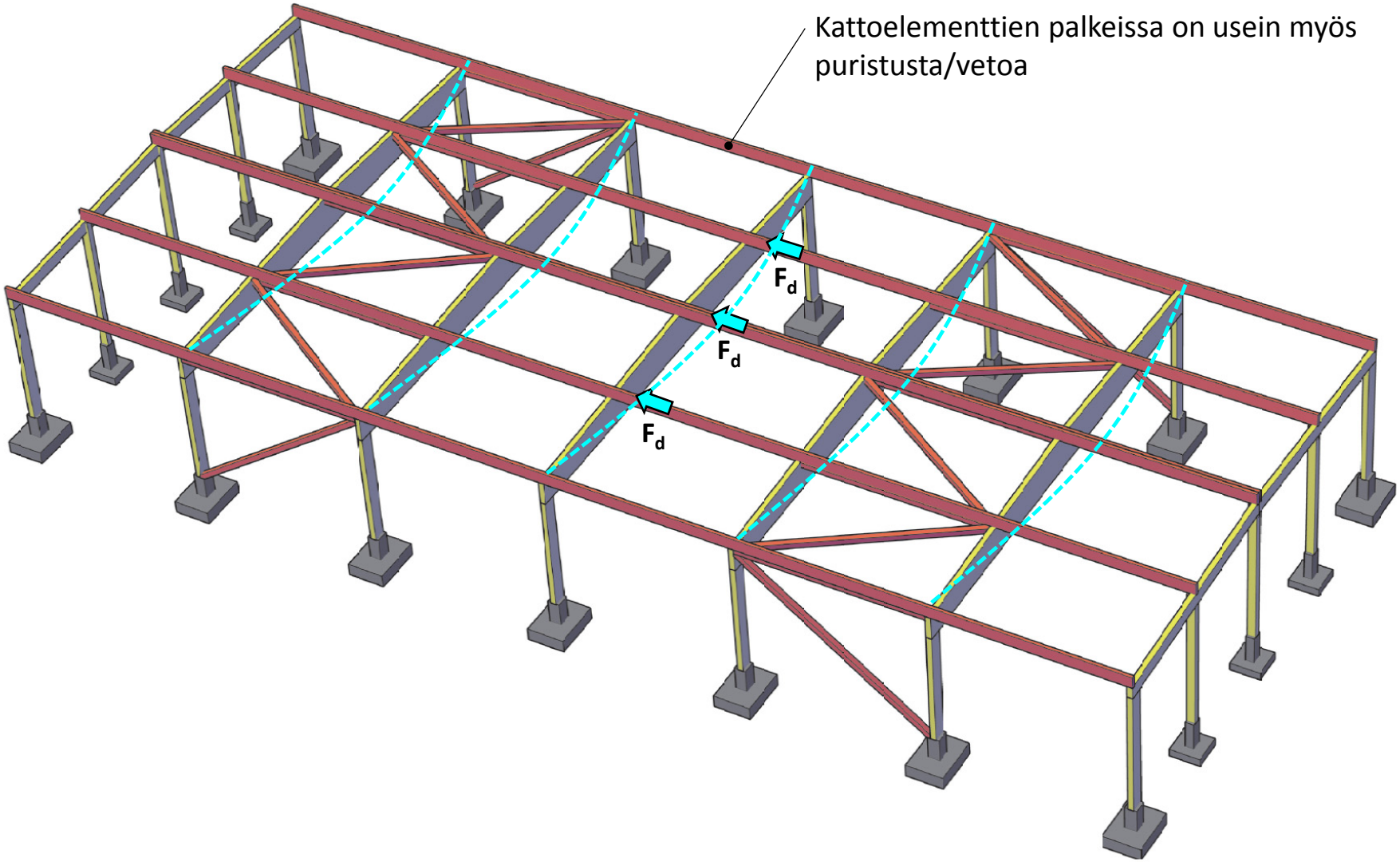

Palkki tarvitsee erillisen kiepahdustuennan
Palonkestävä villa
Kerrososastointi
Palosuojattu alapuolista paloa koko palonkestoajalle

PUUINFO


Puhallusvilla ei toimi
palosuojauksena
Palosuojattu alapuolista paloa koko palonkestoajalle

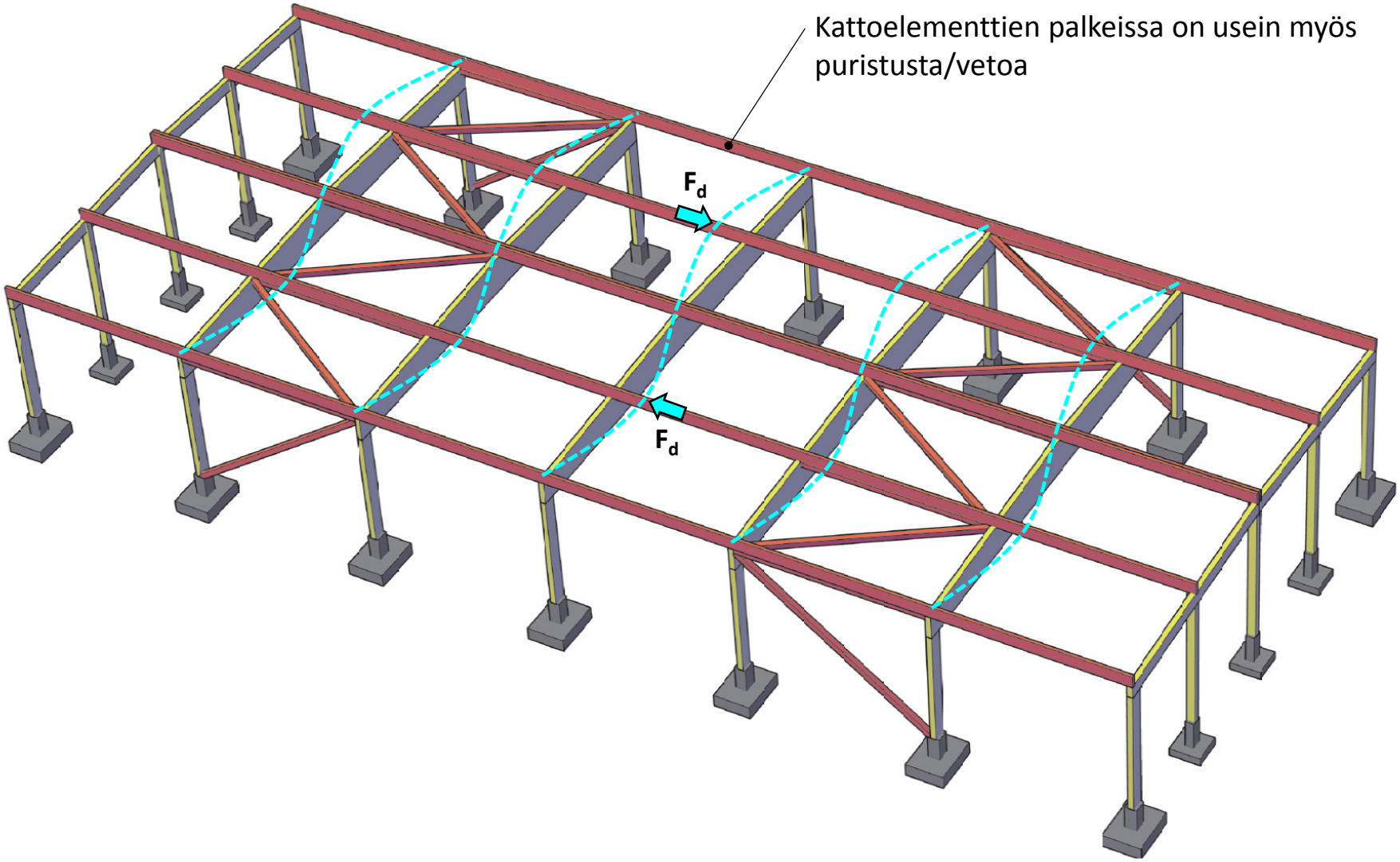
PUUINFO

Kiepahduksen 1. muoto



PUUINFO

Kiepahduksen 2. muoto

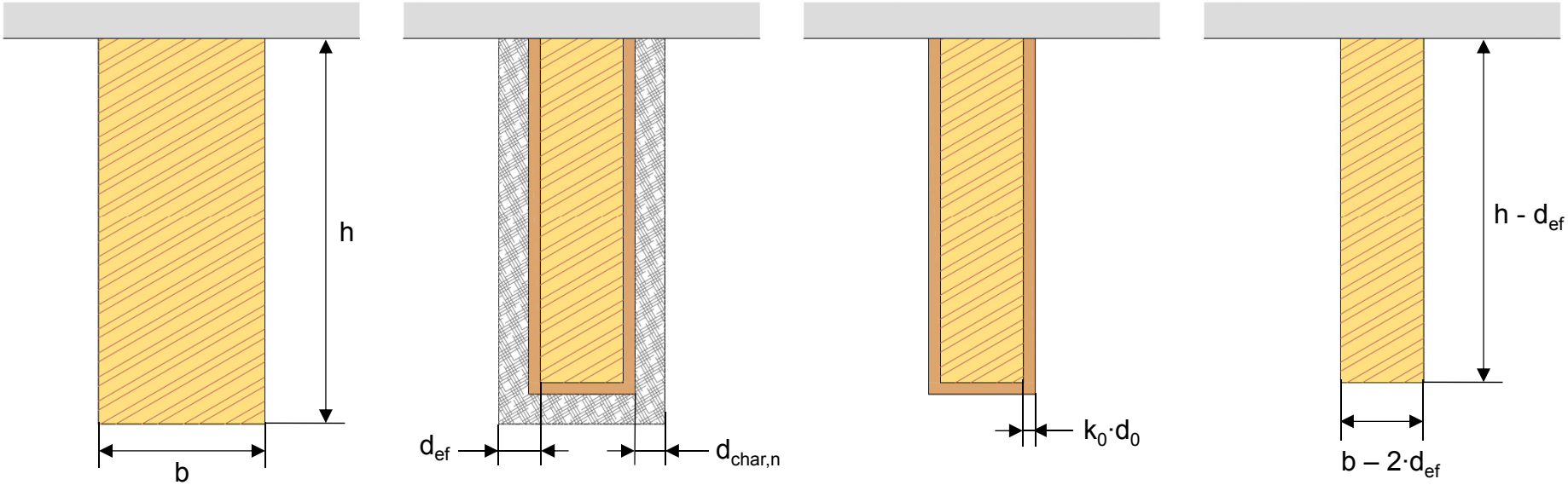


PUUINFO

Kuva: Puuinfo

Tehollisen poikkileikkauksen menetelmä

Alkuperäinen poikkileikkaus | **Hiiltynyt poikkileikkaus** | **Jäännöspoikkileikkaus** | **Tehollinen poikkileikkaus**

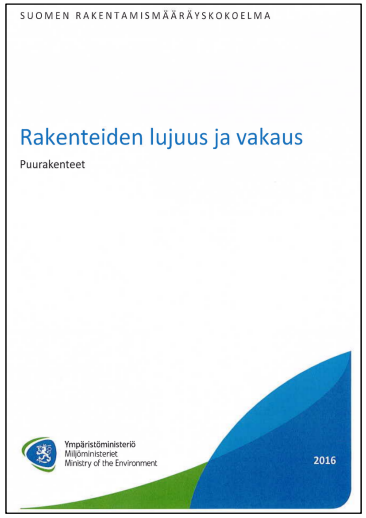


Tehollinen hiiltymissyvyys

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

$d_{char,n}$ = nimellinen hiiltymissyvyys
k_0 = taulukosta
d_0 = 7 mm

Suojaamaton pinta	
Palonkestoaika	k_0
t < 20 min	t / 20
t ≥ 20 min	1,0



- Pätee kaikille kantavuuden palonkestoluokille (R), mitoitusaikaa ei ole rajoitettu
- $k_0 \cdot d_0$ - kerroksen lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat nolla
- Teholliselle poikkileikkaukselle käytetään normaalilämpötilan lujuus- ja jäykkyysarvoja ($k_{mod,fi}$ = 1,0)
- Soveltuu myös massiivipuurakenteisten seinä- ja laattarakenteiden mitoittamiseen, jos mekaaniset ominaisuudet ilmoitetaan koko poikkileikkaukselle homogenisoituina arvoina

PUUINFO

Palosuojatut rakenteet

PALOSUOJATUT PALKIT JA PILARI

RIL 205-2 luku 3.4.3

Mitoitusaikaa ei ole rajoitettu

$k_{mod,fi}$ =1,0

SEINÄRAKENTEET SEKÄ VÄLI- JA YLÄPOHJARAKENTEET

1) Ontelotila eristeen täyttämä

RIL 205-2 luku 4.3.2.1S

Seinissä mitoitusaika on rajoitettu 90 minuuttiin (R 90)

Väli- ja yläpohjissa 60 minuuttiin (R 60)

$k_{mod,fi}$ = määräytyy laskennallisesti (taulukosta)

2) Ontelotila on eristeetön

RIL 205-2 luku 4.3.2.2S

Mitoitusaikaa ei ole rajoitettu

$k_{mod,fi}$ =1,0

HUOMIO!

- Rakenne voidaan palosuojata koko palonkestoajalle, jolloin rakenne ei hiilly
- Rakenne voidaan palosuojata osaksi palonkestoajasta, jolloin rakenne hiiltyy

HIILTYMISEN ALKAMISHETKI

t_{ch}

↓

PALOSUOJAUKSEN MURTUMISHETKI

t_f

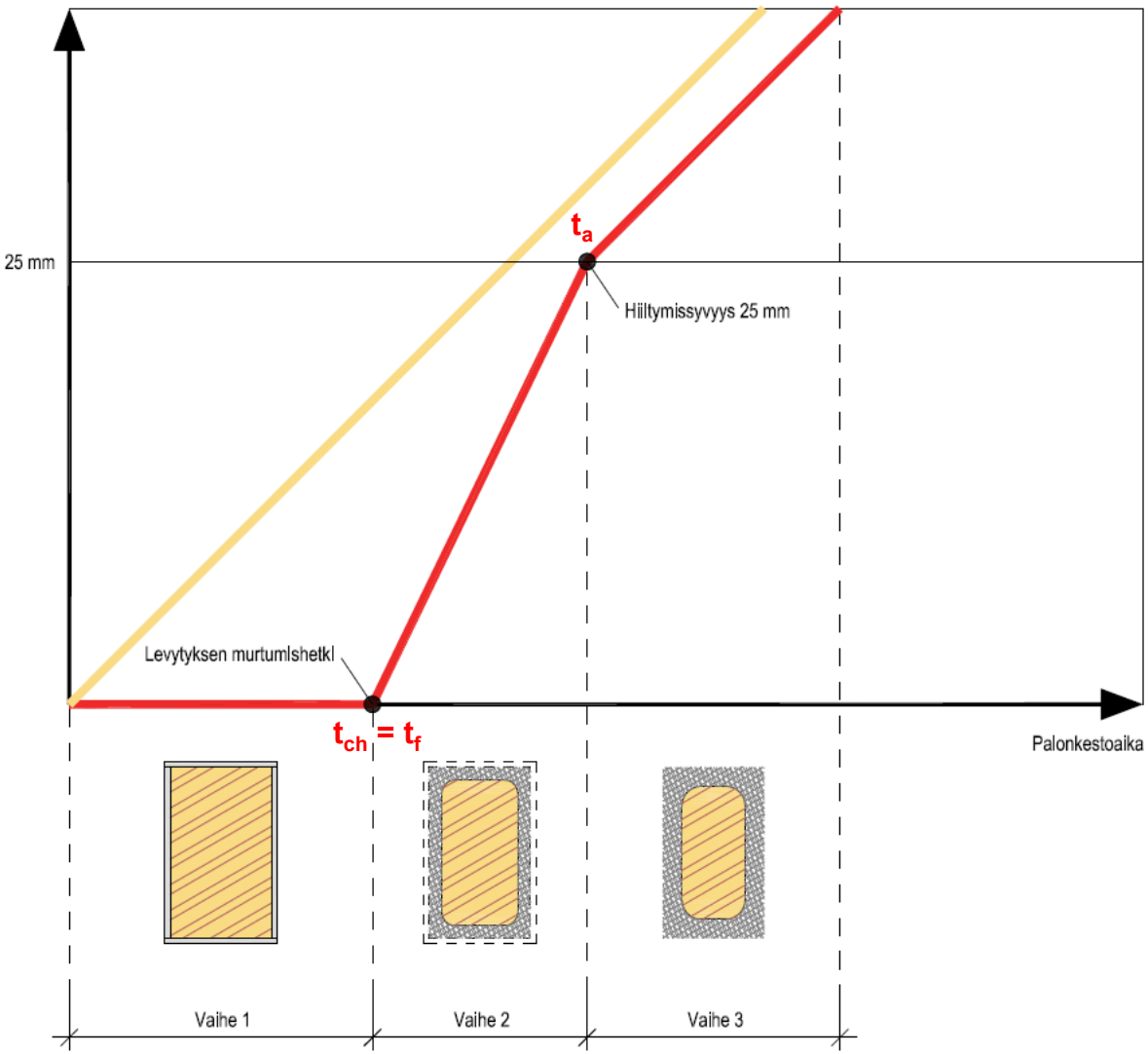
↓

HETKI, JOLLOIN HIILTYMISNOPEUS PALAUTUU NORMAALIKSI

(hiiltymissyvyys 25 mm)

t_a

Tavallinen kipsilevy tai puulevy



Vaihe 1: Levytys suojaa [1] (ei hiiltymää)

Vaihe 2: Levytys murtunut (nopea hiiltyminen)

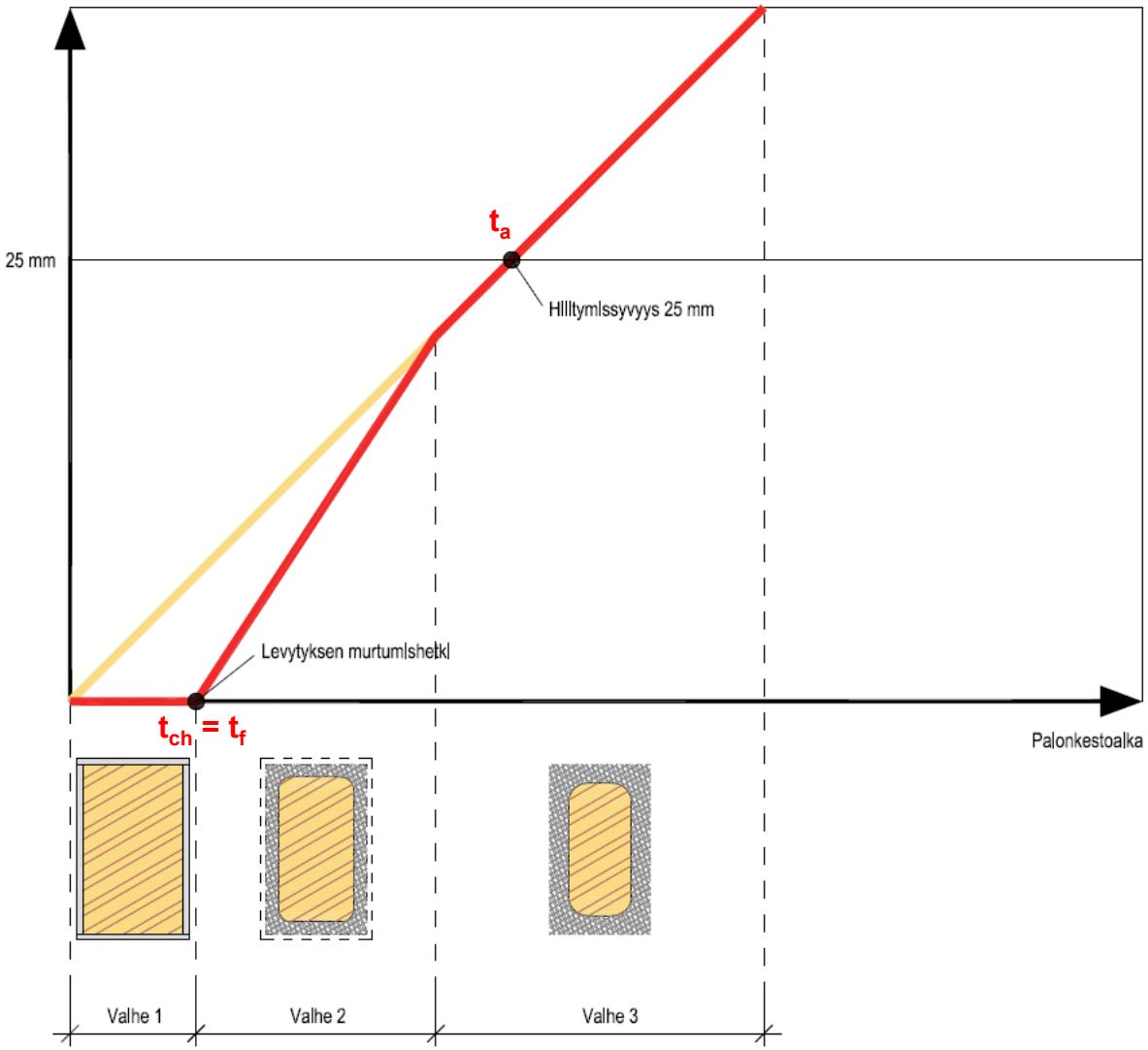
Vaihe 3: Puurakenne hiiltyy sille ominaisella nopeudella

[1] Levytys koostuu tavallisesta kipsilevystä, puulevystä tai näiden yhdistelmästä

= Suojaamattoman puurakenteen hiiltymissyvyyden kasvu

= Palosuojatun puurakenteen hiiltymissyvyyden kasvu

Tavallinen kipsilevy tai puulevy



Valhe 1: Levytys suojaa [1] (ei hiiltymää)

Vaihe 2: Levytys murtunut (nopea hiiltyminen)

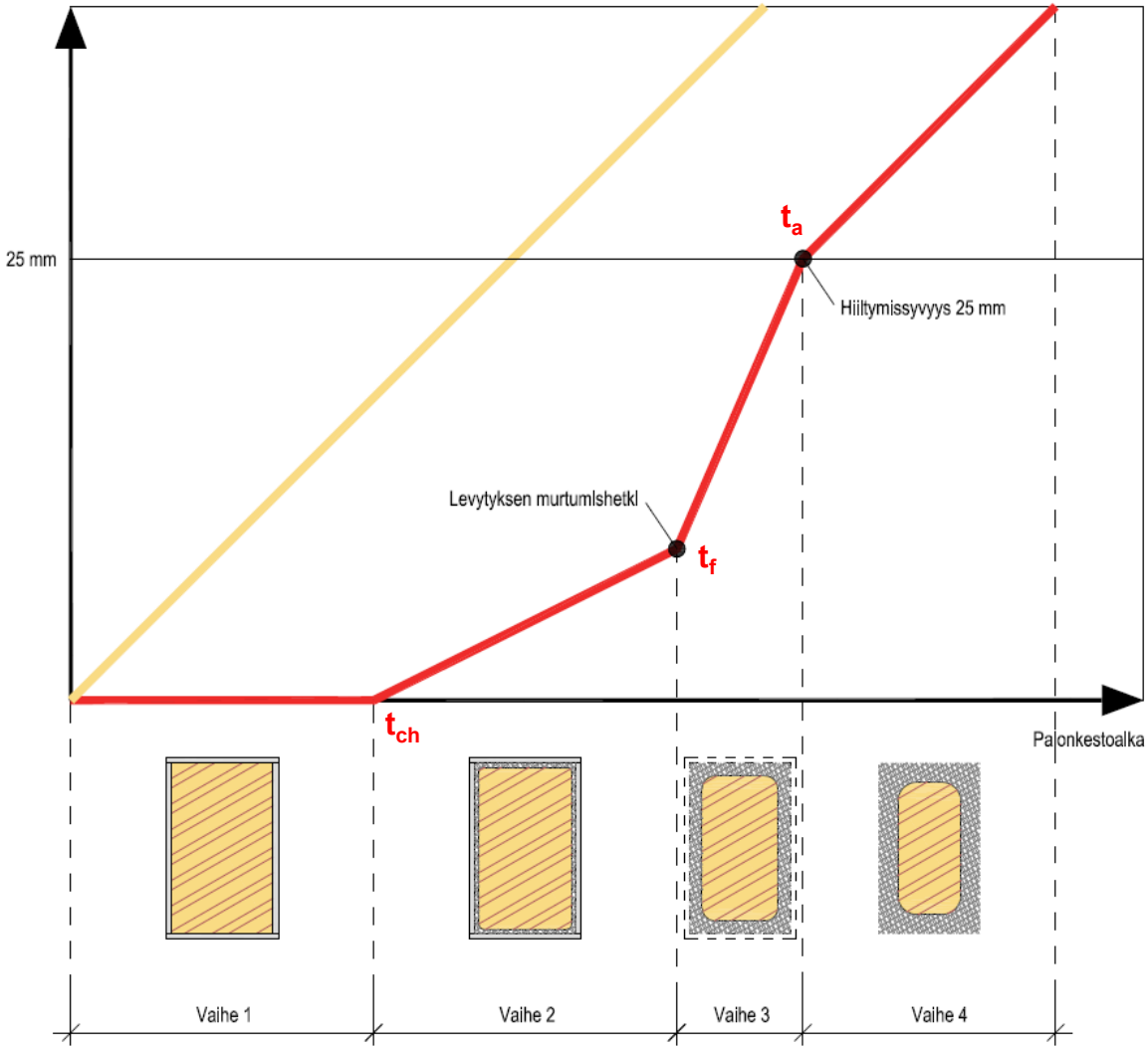
Vaihe 3: Puurakenne hiiltyy sille ominaisella nopeudella

[1] Levytys koostuu tavallisesta kipsilevystä, puulevystä tai näiden yhdistelmästä

= Suojaamattoman puurakenteen hiiltymissyvyyden kasvu

= Palosuojatun puurakenteen hiiltymissyvyyden kasvu

Palokipsilevy (kivillalevy)



Vaihe 1: Levytys suojaa [1] (ei hiiltymää)

Vaihe 2: Levytys paikoillaan (hidas hiiltyminen levytyksen takana)

Vaihe 3: Levytys murtunut (nopea hiiltyminen)

Vaihe 4: Puurakenne hiiltyy siile ominaisella nopeudella

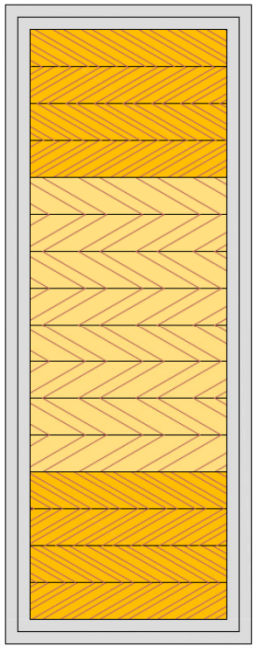
[1] Levytys koostuu palokipsilevystä tai palokipsilevyn ja puulevyn / tavallisen kipsilevyn yhdistelmästä

= Suojaamattoman puurakenteen hiiltymissyvyyden kasvu

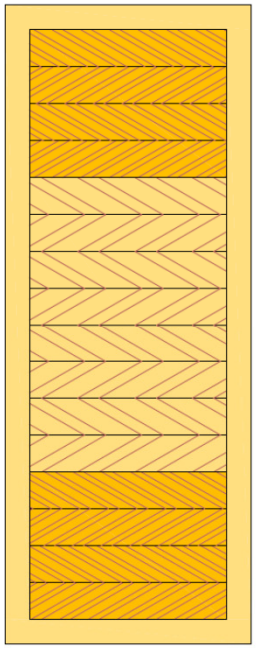
= Palosuojatun puurakenteen hiiltymissyvyyden kasvu

Palosuojattu palkki tai pilari

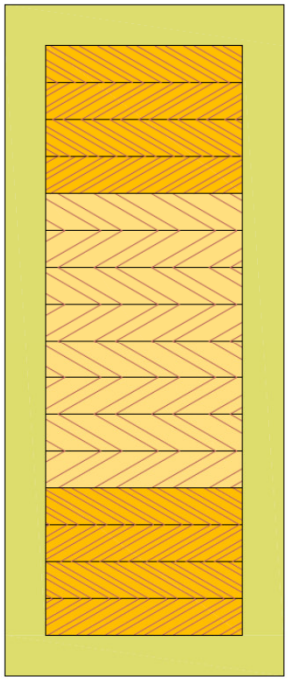
Kipsilevy



Puulevy



Kivivillalevy



HUOMIO!
Massiivisten puurakenteiden palosuojaaminen ei yleensä ole taloudellisesti järkevää

Taulukko 3.4S. Palkkien ja pilarien hiiltymisen alkamisaika t_{ch} palosuojauksen koostuessa eri kipsilevytyksistä ja kipsilevy-yhdistelmistä.

Kipsilevytyyppi	1. levyn paksuus (paloa vasten) [mm]	2. levyn paksuus [mm]	h_p [mm]	t_{ch}, kun sauma ≤ 2 mm [min]	t_{ch}, kun sauma > 2 mm [min]
H	9		9	11	2
A	12,5		12,5	21	12
F	12,5		12,5	21	12
F	15		15	28	19
F	18		18	36	27
2 x H	9	9	13,5	23	14
2 x A	12,5	12,5	18,75	38	29
A + H	12,5	9	17	33	24
2 x F	12,5	12,5	22,5	49	40
2 x F	15	15	27	61	52
2 x F	18	18	32,4	76	67
F + F	18	12,5	28	64	55
F + F	18	15	30	70	61
F + F	15	12,5	25	56	47
F + A	12,5	12,5	18,75	38	29
F + A	15	12,5	21,25	45	36
F + A	18	12,5	24,25	53	44

tyyppi A = tavallinen kipsilevy
tyyppi F = palokipsilevy
tyyppi H = tuulensuoja kipsilevy

$$t_{ch} = 2{,}8 \cdot h_p - 14 \quad (\text{saumat} \le 2\ \text{mm})$$

$$t_{ch} = 2{,}8 \cdot h_p - 23 \quad (\text{saumat} > 2\ \text{mm})$$

- Kivivillalevyjen murtumishetki t_f saadaan kaavalla (3.15S).

$$t_f = t_{ch} \qquad (3.15S)$$

Taulukon 3.3 mukaisilla kivivillalevyillä suojatuille palkeille tai pilareille lasketaan hiiltymisen alkamishetki t_{ch} seuraavasti:

$$t_{ch} = 0{,}07(h_{ins} - 20)\sqrt{\rho_{ins}} \qquad (3.13)$$

HUOMIO!

Palokipsilevyjen t_f-arvot puuttuvat tästä menetelmästä (määritetään kokeellisesti), joten hiiltymämitoitusta ei voi viedä loppuun

PUUINFO

Lähde: RIL 205-2

ESIMERKKI: Kipsilevytyksellä palosuojattu liimapuupalkki

PALOSUOJATTUNA

$t_{ch} = 38$ min (taulukosta)

$t_f = t_{ch} = 38$ min (tavallinen kipsilevy)

$\beta_n = 0{,}7$ mm/min (liimapuu)

$k_3 = 2$ (hiiltymisnopeuden välillä $t_f \ldots t_a$)

$$\min \begin{cases} t_a = 2 \cdot t_f = 2 \cdot 38 = 76 \text{ min} \\ t_a = \dfrac{25}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f = \dfrac{25}{2 \cdot 0{,}7} + 38 = \underline{56 \text{ min}} \end{cases}$$

Vaihe 1: ei hiiltymää

Vaihe 2: $\beta_{n2} = k_3 \cdot \beta_n = 2 \cdot 0{,}7 = 1{,}4$ mm/min

$d_{char,n} = \beta_{n2} \cdot (t_a - t_f) = 1{,}4 \cdot (56 - 38) = 25{,}2$ mm

Vaihe 3: $d_{char,n} = \beta_n \cdot (t - t_a) = 0{,}7 \cdot (60 - 56) = 2{,}8$ mm

Tehollinen hiiltymissyvyys

$k_0 = 1{,}0$ (t_{ch} > 20 min ja t > t_{ch})

$d_0 = 7$ mm (vakio)

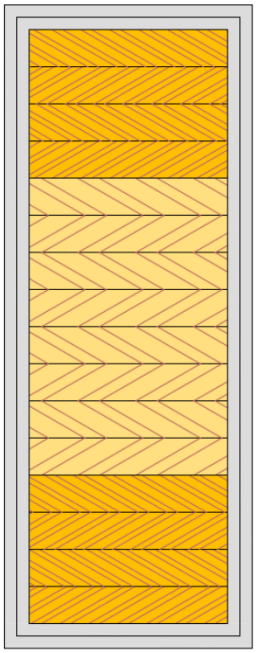
$d_{ef} = \sum d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = (25{,}2 + 2{,}8) + 1 \cdot 7 = \underline{35 \text{ mm}}$

PALOSUOJAAMATTOMANA

$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0{,}7 \cdot 60 = 42$ mm

$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 42 + 1 \cdot 7 = \underline{49 \text{ mm}}$

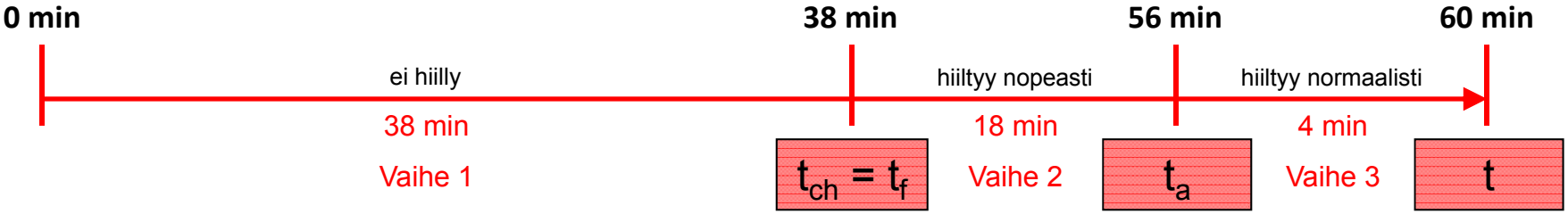
$\Rightarrow$ Massiivisen rakenteen suojaus ei ole järjevää



Rakenneosa: liimapuu

Palosuojaus: 2x kipsilevy 13 mm

Palonkestovaatimus: R 60



PUUINFO

ESIMERKKI: Kivivillalevytyksellä palosuojattu liimapuupalkki

PALOSUOJATTUNA

$t_{ch} = 0{,}07 \cdot (h_{ins} - 20) \cdot \sqrt{\rho_{ins}} = 0{,}07 \cdot (45 - 20) \cdot \sqrt{100} = 17{,}5 \text{ min}$

$t_f = t_{ch} = 17{,}5$ min (kivillalevy)

$\beta_n = 0{,}7$ mm/min (liimapuu)

$k_3 = 2$ (hiiltymisnopeuden välillä $t_f \ldots t_a$)

$$\min \begin{cases} t_a = 2 \cdot t_f = 2 \cdot 17{,}5 = \underline{35 \text{ min}} \\ t_a = \dfrac{25}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f = \dfrac{25}{2 \cdot 0{,}7} + 17{,}5 = 35{,}4 \text{ min} \end{cases}$$

Vaihe 1: ei hiiltymää

Vaihe 2: $\beta_{n2} = k_3 \cdot \beta_n = 2 \cdot 0{,}7 = 1{,}4$ mm/min

$d_{char,n} = \beta_{n2} \cdot (t_a - t_f) = 1{,}4 \cdot (35 - 17{,}5) = 24{,}5$ mm

Vaihe 3: $d_{char,n} = \beta_n \cdot (t - t_a) = 0{,}7 \cdot (60 - 35) = 17{,}5$ mm

Tehollinen hiiltymissyvyys

$k_0 = 1{,}0$ (t_{ch} > 20 min ja t > t_{ch})

$d_0 = 7$ mm (vakio)

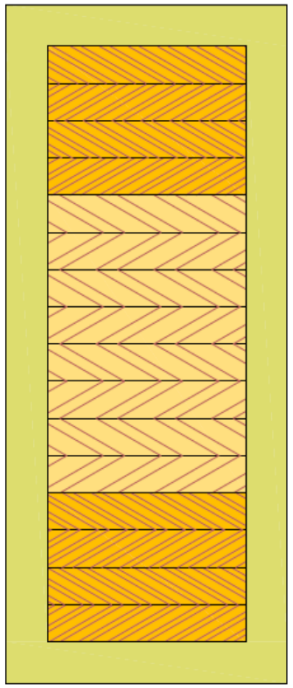
$d_{ef} = \sum d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = (24{,}5 + 17{,}5) + 1 \cdot 7 = \underline{49 \text{ mm}}$

PALOSUOJAAMATTOMANA

$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0{,}7 \cdot 60 = 42$ mm

$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 42 + 1 \cdot 7 = \underline{49 \text{ mm}}$

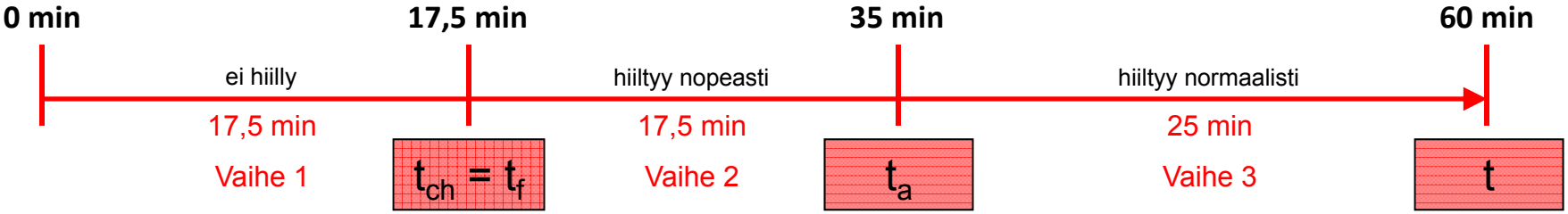
$\Rightarrow$ Massiivisen rakenteen suojaus ei ole järjevää



Rakenneosa: liimapuu

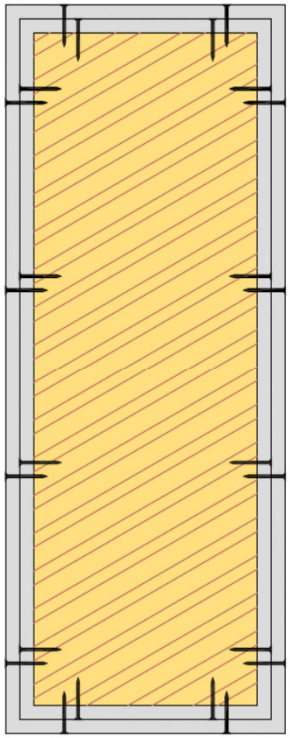
Palosuojaus: kivivillalevy 45 mm, 100 kg/m^3

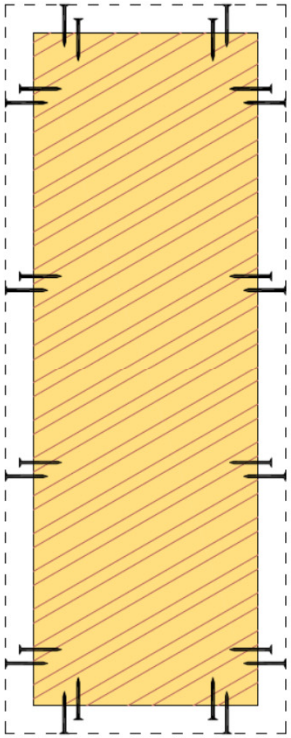
Palonkestovaatimus: R 60



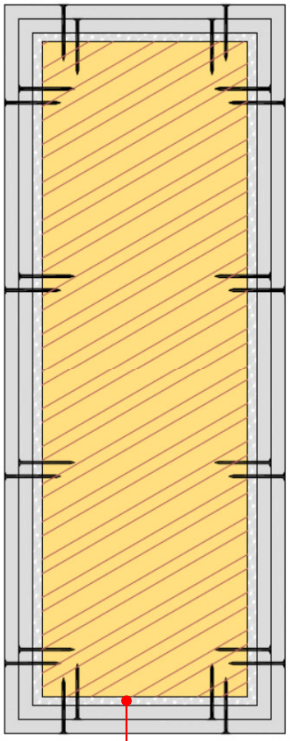
PUUINFO

Tavallinen kipsilevy tai puulevy
($t_{ch} = t_f$)





Palokipsilevy (kivillalevy)
($t_{ch} < t_f$)



Hiiltymää levytyksen takana

Liittimen vähimmäispituus

$$l_{f,req} = h_p + d_{char,0} + l_{a,\min}$$

h_p = levyn paksuus

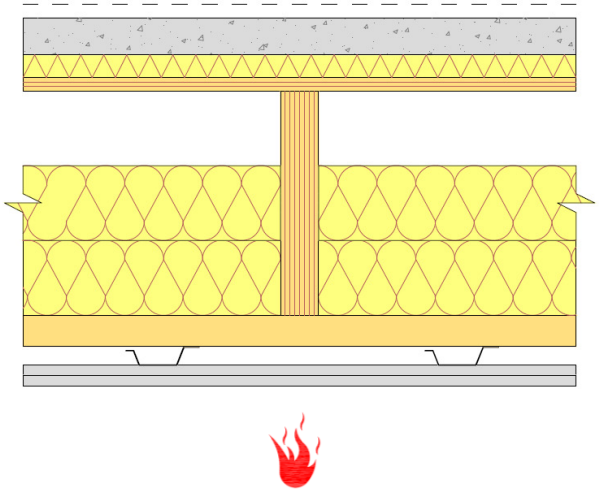
$d_{char,0}$ = hiiltymissyvyys puukannattajassa

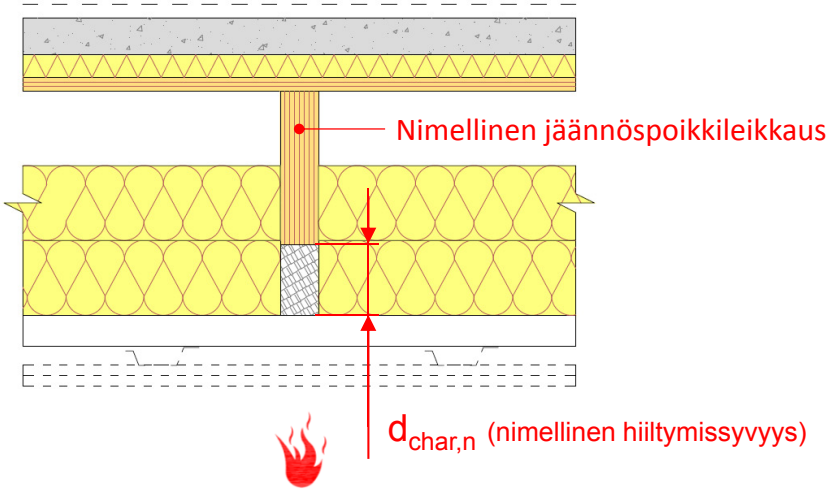
$l_{a,\min}$ = liittimen tunkeuman vähimmäisarvo hiiltymättömään puuhun, 10 mm

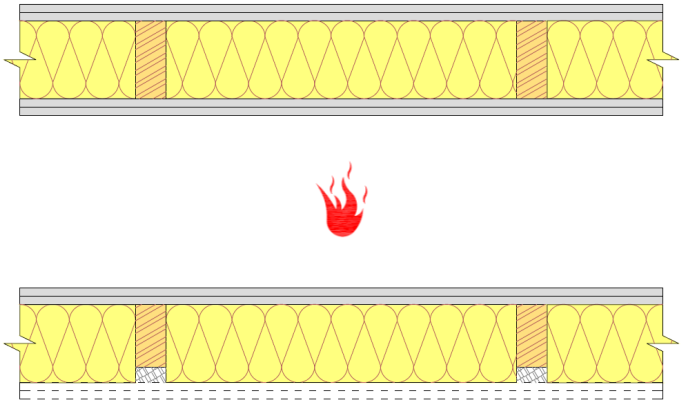
PUUINFO

Palosuojattu seinä- ja välipohjarakenne

Ontelo on eristeen täyttämä





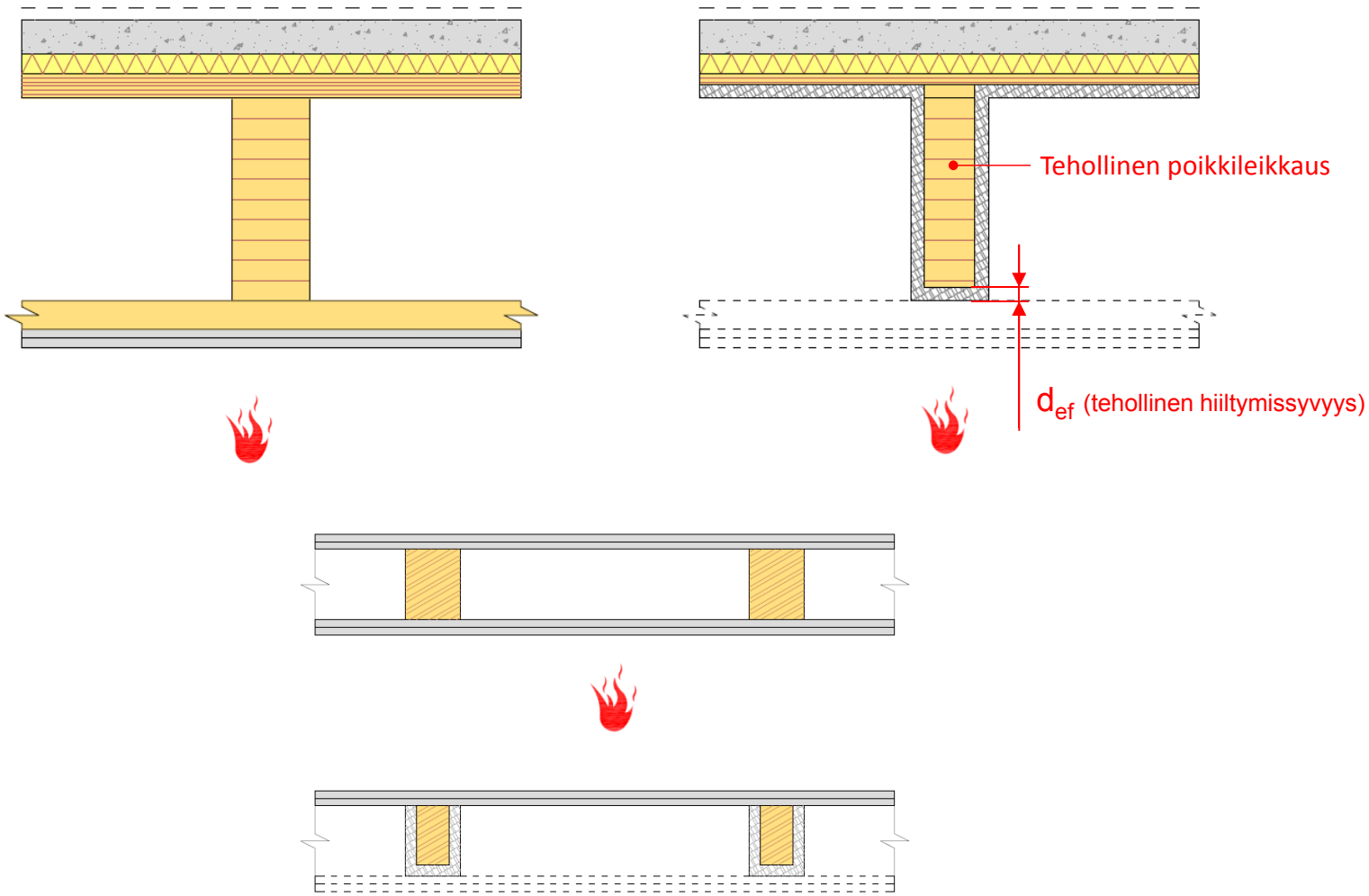


- Ontelot ovat joko kokonaan tai vähintään 100 mm paksulla kivivillalla täytettyjä
- Eristeen tiheyden tulee olla vähintään 28 kg/m^3
- Eristeen tulee olla rakenteen tulelle alttiilla puolella kannattajan syrjän tasolla siten, että se suojaa lappeita hiiltymiseltä
- Ontelon korkeus rajoitetaan arvoon $h_{ontelo}/h_{palkki} \leq 0,6$
- Ontelon korkeus saa olla enintään 300 mm
- Mikäli eriste on lasivillaa, käytetään **eristeettömän rakenteen** mitoitusmenetelmää

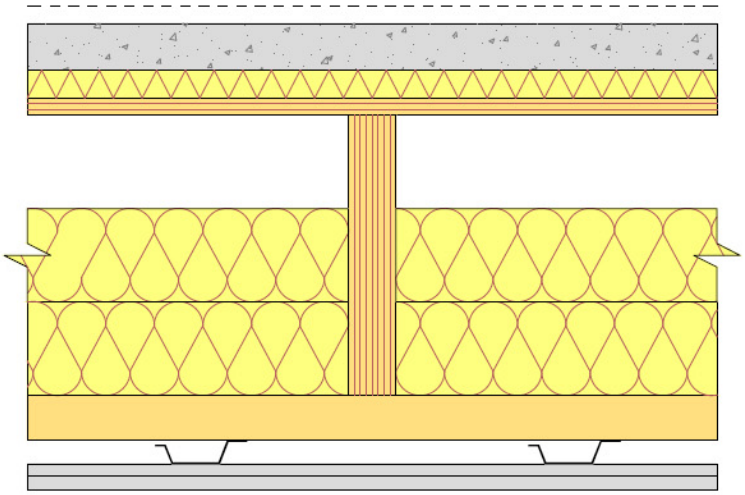
PUUINFO

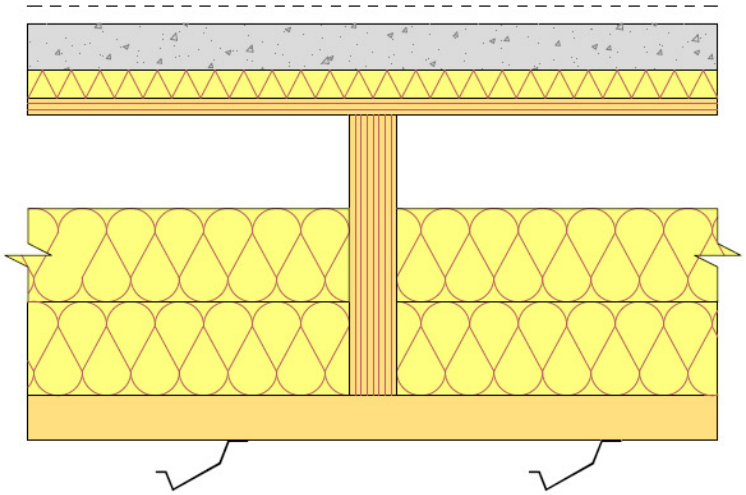
Palosuojattu seinä- ja välipohjarakenne

Ontelo on eristeetön



PUUINFO

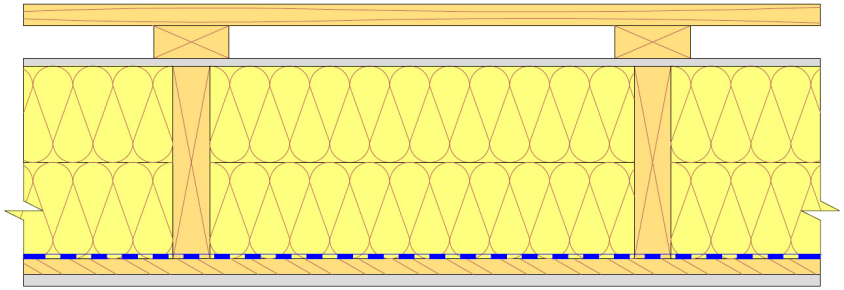




Suojaus koko palonkestoajalle, jolloin 60 min palon jälkeen

- Alakaton levytys on pudonnut
- Alakaton koolauksella ei ole palonkestovaatimuksia
- Villojen ei tarvitse pysyä ylhäällä
- Palkin poikkileikkaus ei ole muuttunut

ESIMERKKI: Puu- & Kipsilevytyksellä palosuojattu seinä



- Tuulensuojakipsilevy
- Rankarunko + Mineraalivilla
- Vaneri 18 mm + Palokipsikartonkilevy 15 mm

Taulukko 4.5S. Hiiltymisen alkamishetki t_{ch} ja levyjen murtohetki t_f sekä kertoimet k_2 ja k_3 seinärakenteissa.

Levytys	t_{ch} (min)	k_2	t_f (min)	k_3
A [1)]	15	-	15	1,0
2 x A [1)]	40	-	40	1,0
A + F [1,2)]	55	0,85	70	1,5
F [2)]	20	0,85	50	1,5
2 x F [2)]	65	0,60	> 90	-
PI + F [2,3)]	55	0,85	70	1,5
PI + A [1,3)]	40	-	40	1,0
H [4)]	10	-	10	1,5

[1)] 12,5 mm paksu kipsilevy, nimellistiheys vähintään 8,2 kg/m^2.
[2)] 15 mm paksu palokipsilevy, nimellistiheys vähintään 12,7 kg/m^2.
[3)] 12 mm paksu vaneri tai muu puulevy. Mikäli vanerin tai puulevyn paksuus d on suurempi kuin 12 mm, lisätään taulukon t_{ch}- ja t_f-arvoja määrällä Δt, kun $\Delta t = (d - 12) / \beta_0$
[4)] 9 mm paksu tuulensuojakipsilevy, nimellistiheys vähintään 7,2 kg/m^2.

Hiiltymisen alkamishetki

$\beta_0 = 1,0$ mm/min (vanerin hiiltymisnopeus)

$\rho_k = 400$ kg/m^3 (vanerin tiheys)

$h_p = 18$ mm (vanerin paksuus)

$$k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} = \sqrt{\frac{450}{400}} = 1,06$$

$$k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}} = \sqrt{\frac{20}{18}} = 1,05$$

$$\beta_{0,\rho,h} = \beta_0 \cdot k_\rho \cdot k_h = 1,0 \cdot 1,05 \cdot 1,06 = 1,1 \text{ mm/min}$$

$t_{ch} = 55$ min (puulevy 12 mm + palokipsikartonkilevy 15 mm)

Puulevy on tässä tapauksessa paksumpi kuin 12 mm, joten t_{ch}-aikaa saa suurentaa määrällä Δt

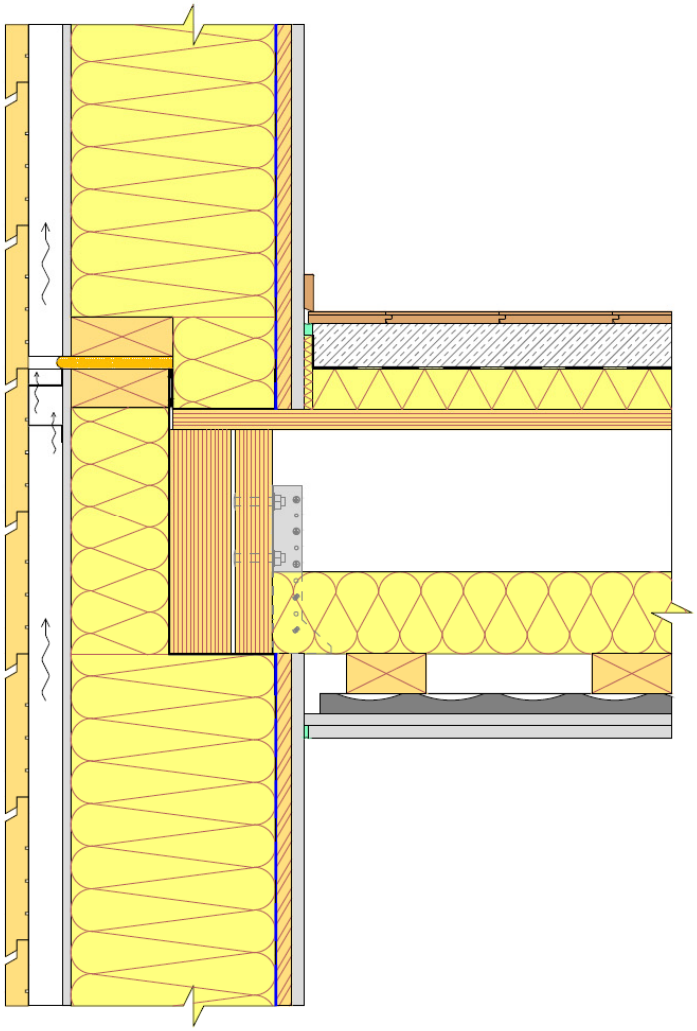
$$\Delta t = \frac{(d-12)}{\beta_0} = \frac{(18-12)}{1,1} = 5 \text{ min}$$

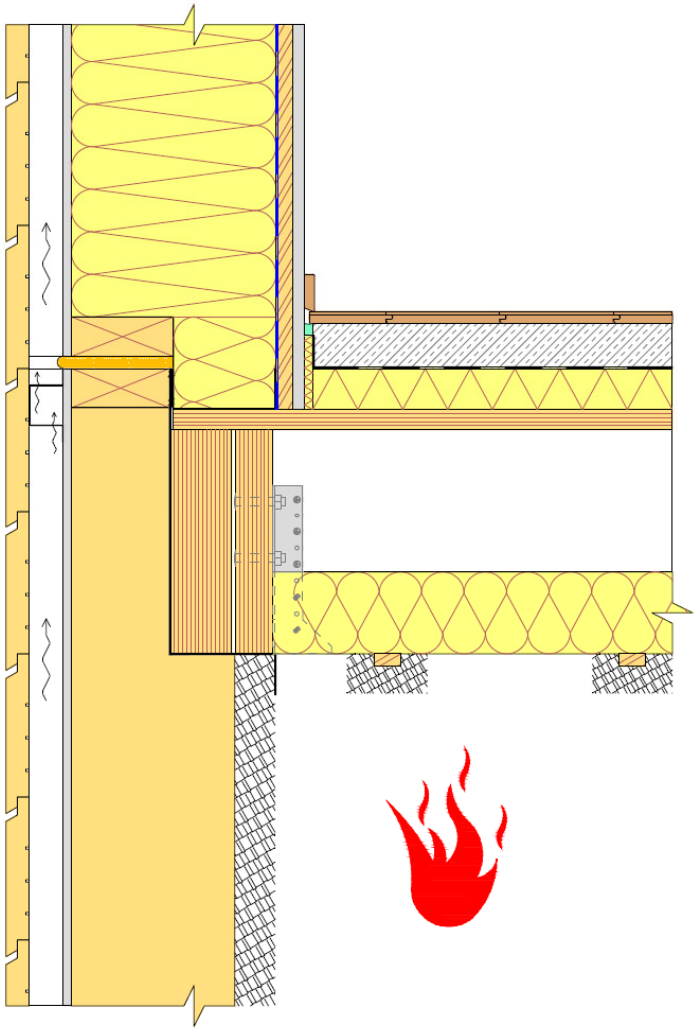
$$t_{ch} = 55 \text{ min} + 5 \text{ min} = 60 \text{ min}$$

Ulkoseinän runko ei hiilly 60 minuutin aikana.
Seinän lämmöneriste voi olla lasi- tai kivivillaa

PUUINFO

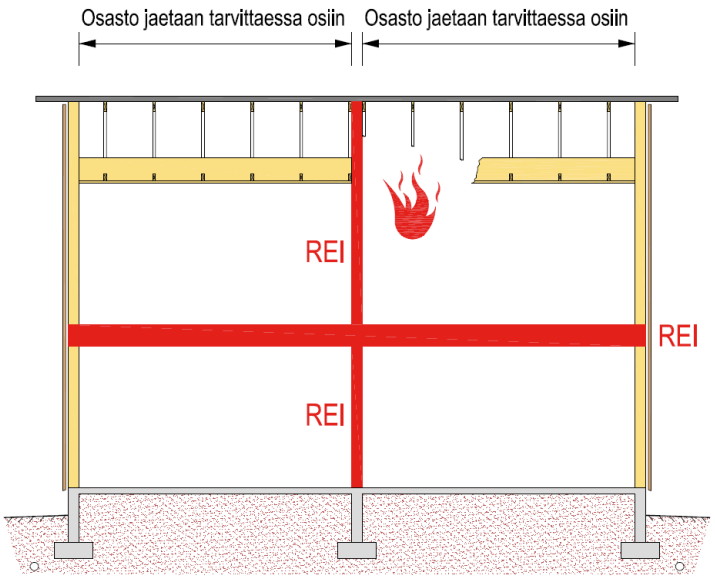
Lähde: RIL 205-2

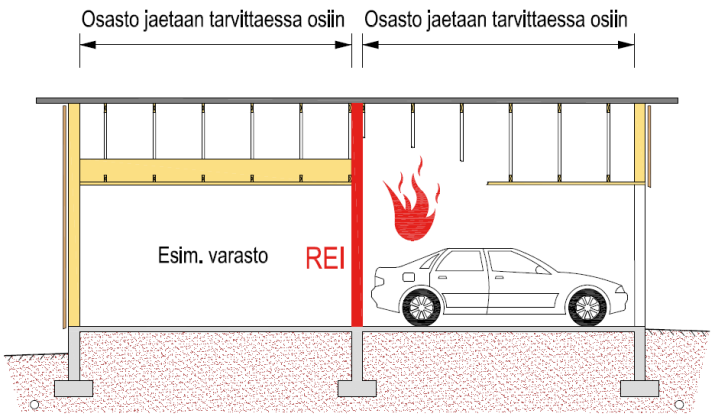


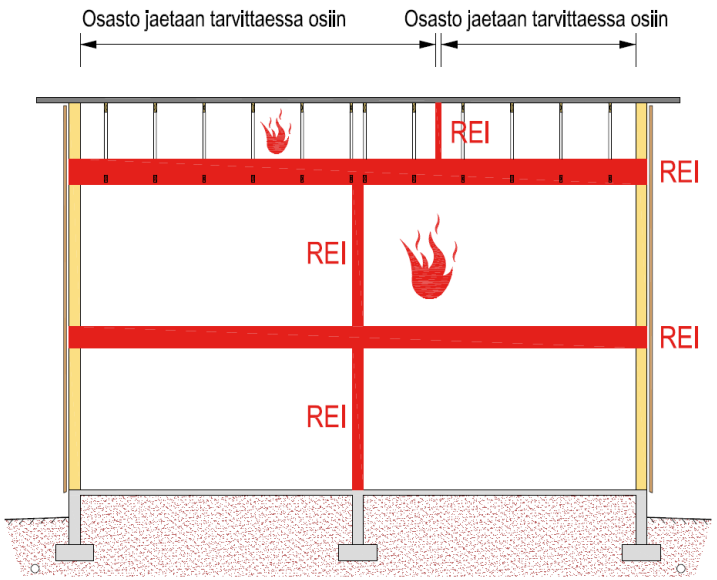


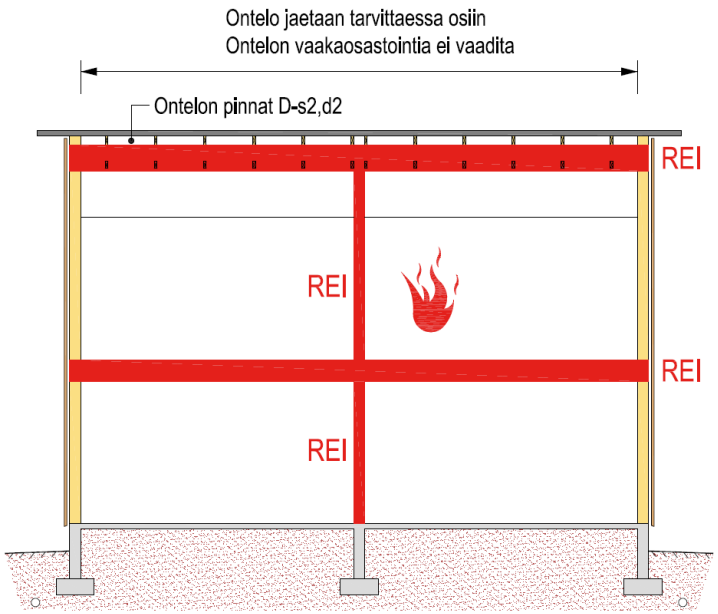
NR-yläpohjan palomitoitus

Kuvat: Larry Shapiro


Osasto jaetaan tarvittaessa osiin
Osasto jaetaan tarvittaessa osiin
REI
REI
REI

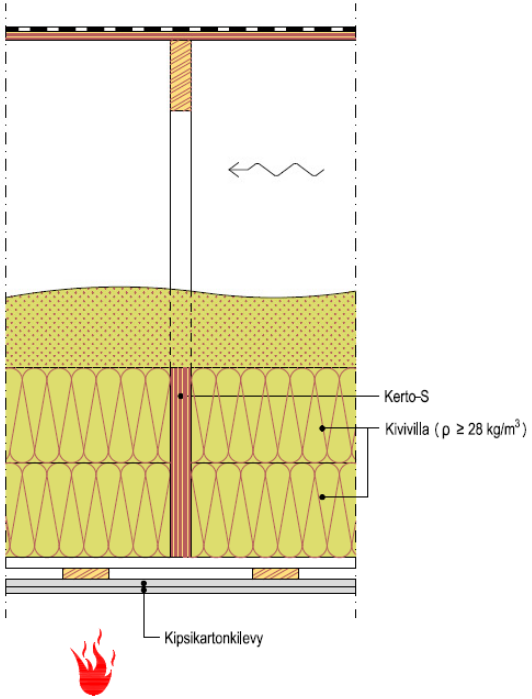

Osasto jaetaan tarvittaessa osiin
Osasto jaetaan tarvittaessa osiin
Esim. varasto
REI


Osasto jaetaan tarvittaessa osiin
Osasto jaetaan tarvittaessa osiin
REI
REI
REI
REI
REI


Ontelo jaetaan tarvittaessa osiin
Ontelon vaakaosastointia ei vaadita
Ontelon pinnat D-s2,d2
REI
REI
REI
REI

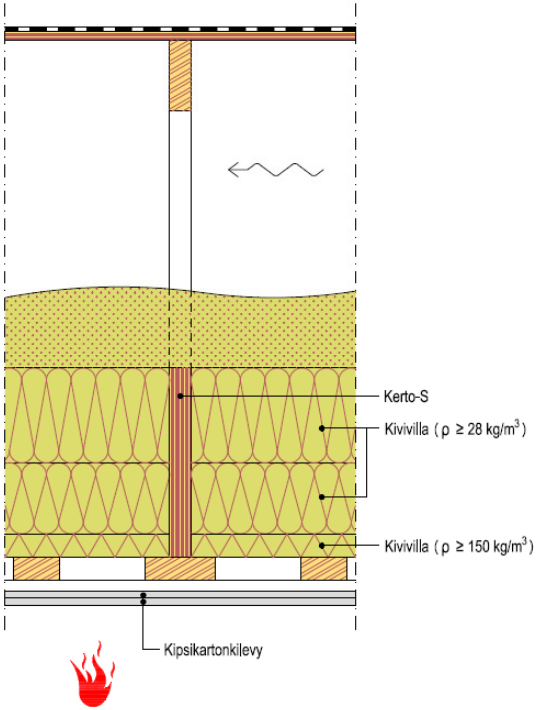
PUUINFO

Kuva: Puuinfo



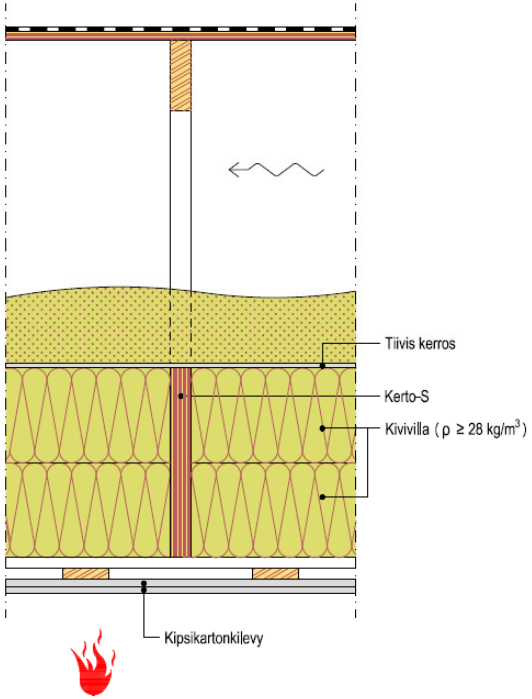
TAPAUS 1

Kerrososastointi toteutettu alapuolisella levytyksellä



TAPAUS 2

Kerrososastointi toteutettu kivivillalla 150 kg/m^3



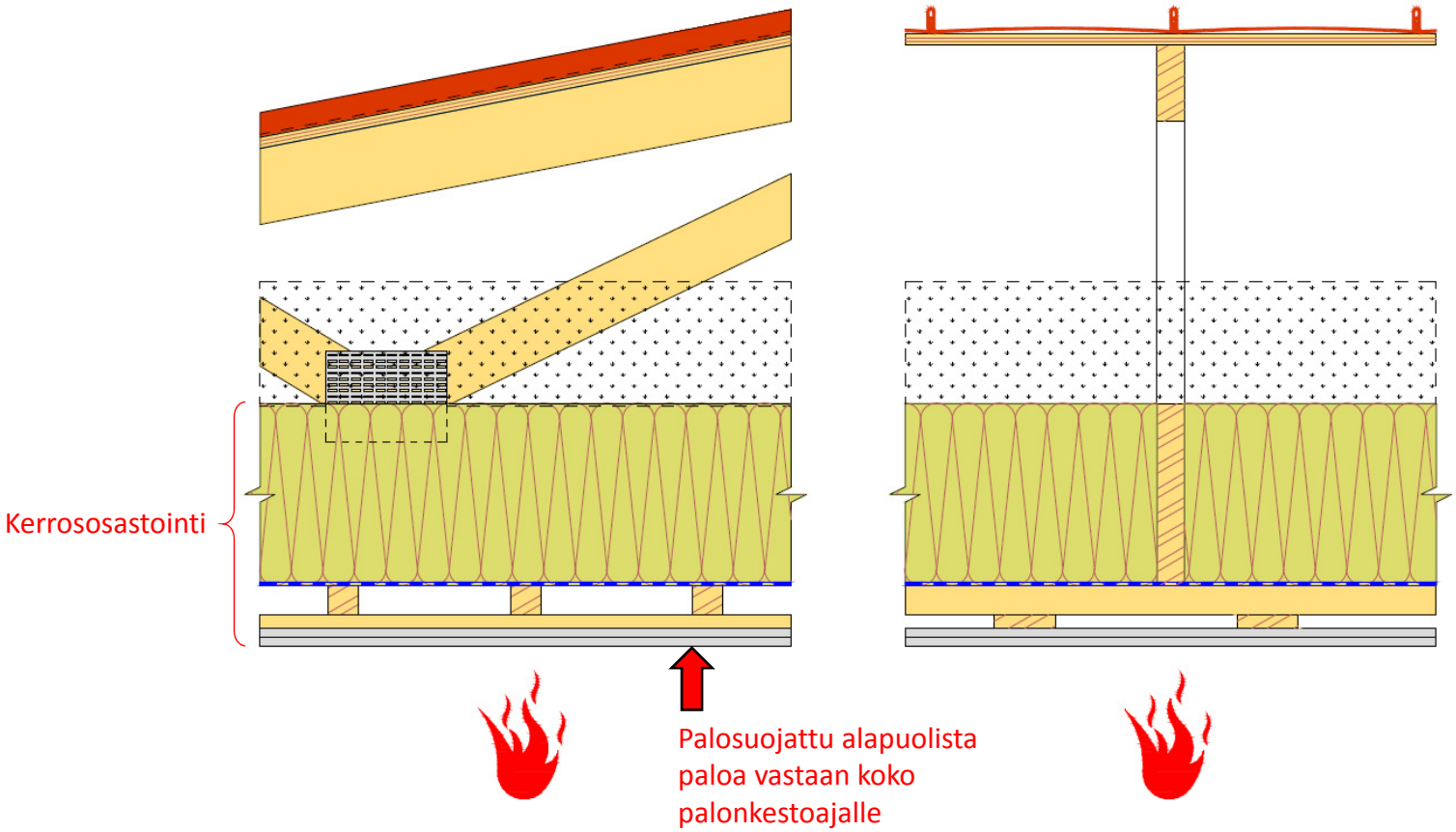
TAPAUS 3

Kerrososastointi toteutettu yläpuolisella levytyksellä

PUUINFO

Lähde: RIL 205-2

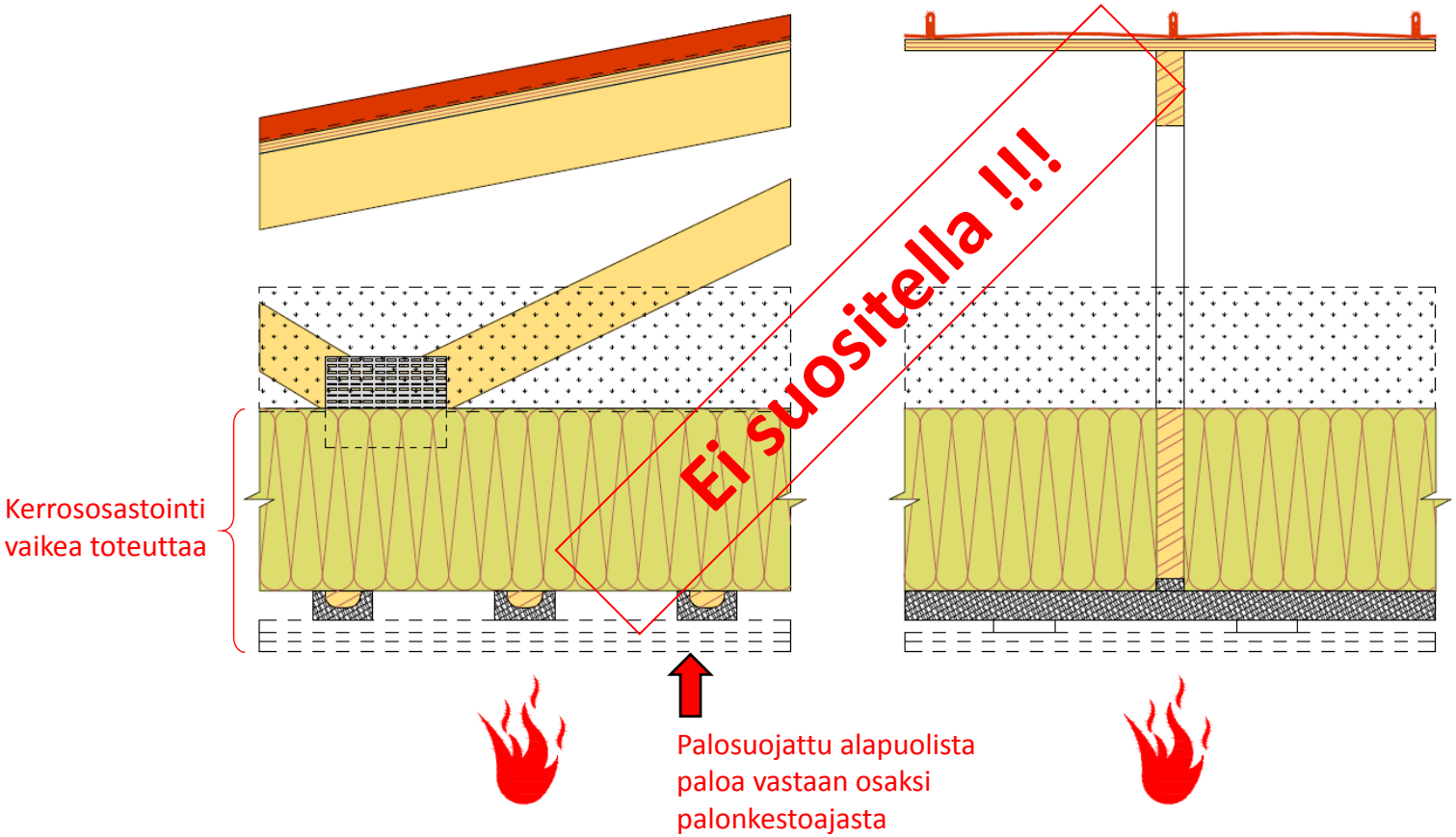
Alapuolinen palo



HUOMIO!

- NR-ristikko toimii palotilanteessa ristikkona

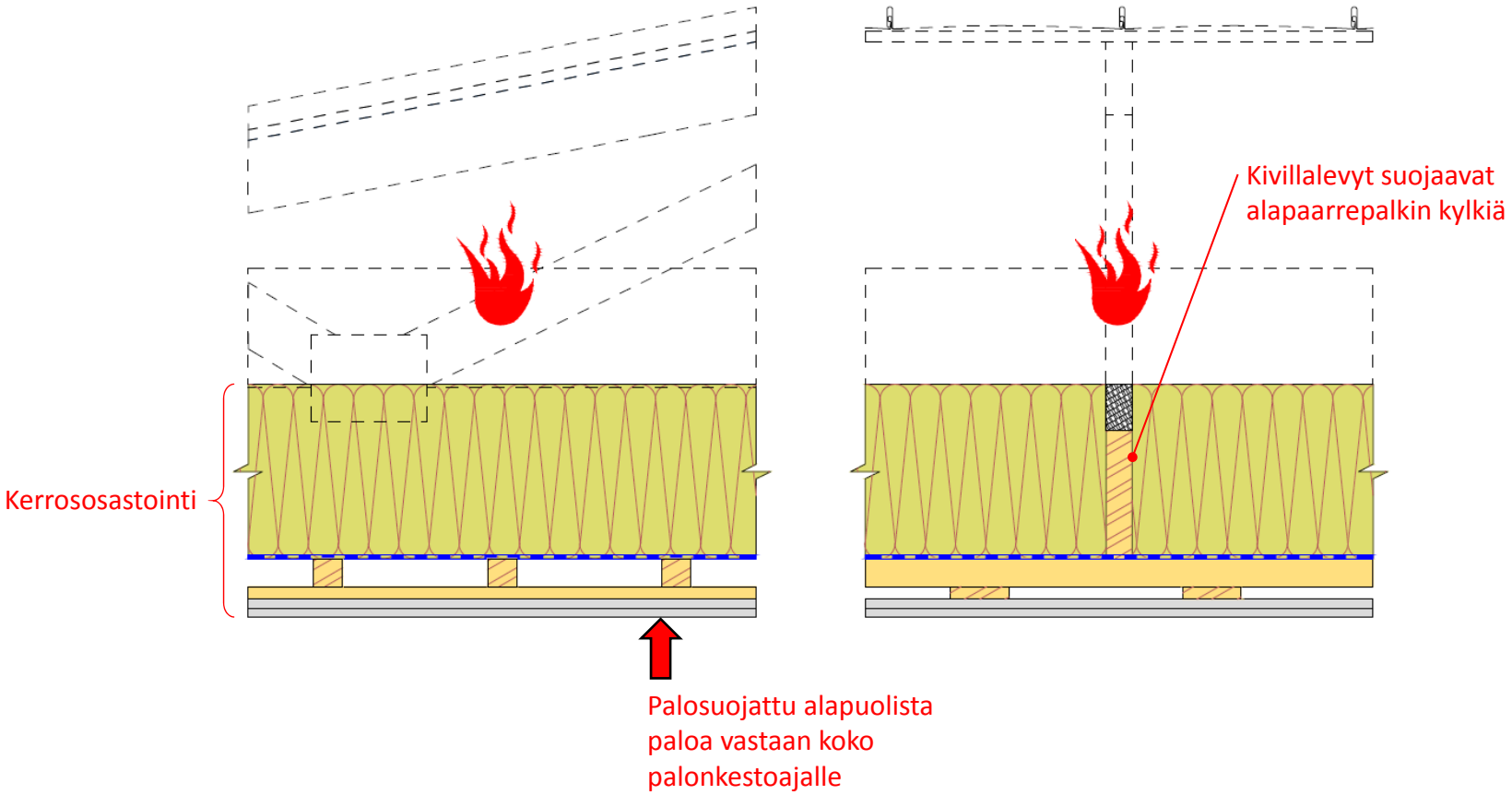
PUUINFO



HUOMIO!

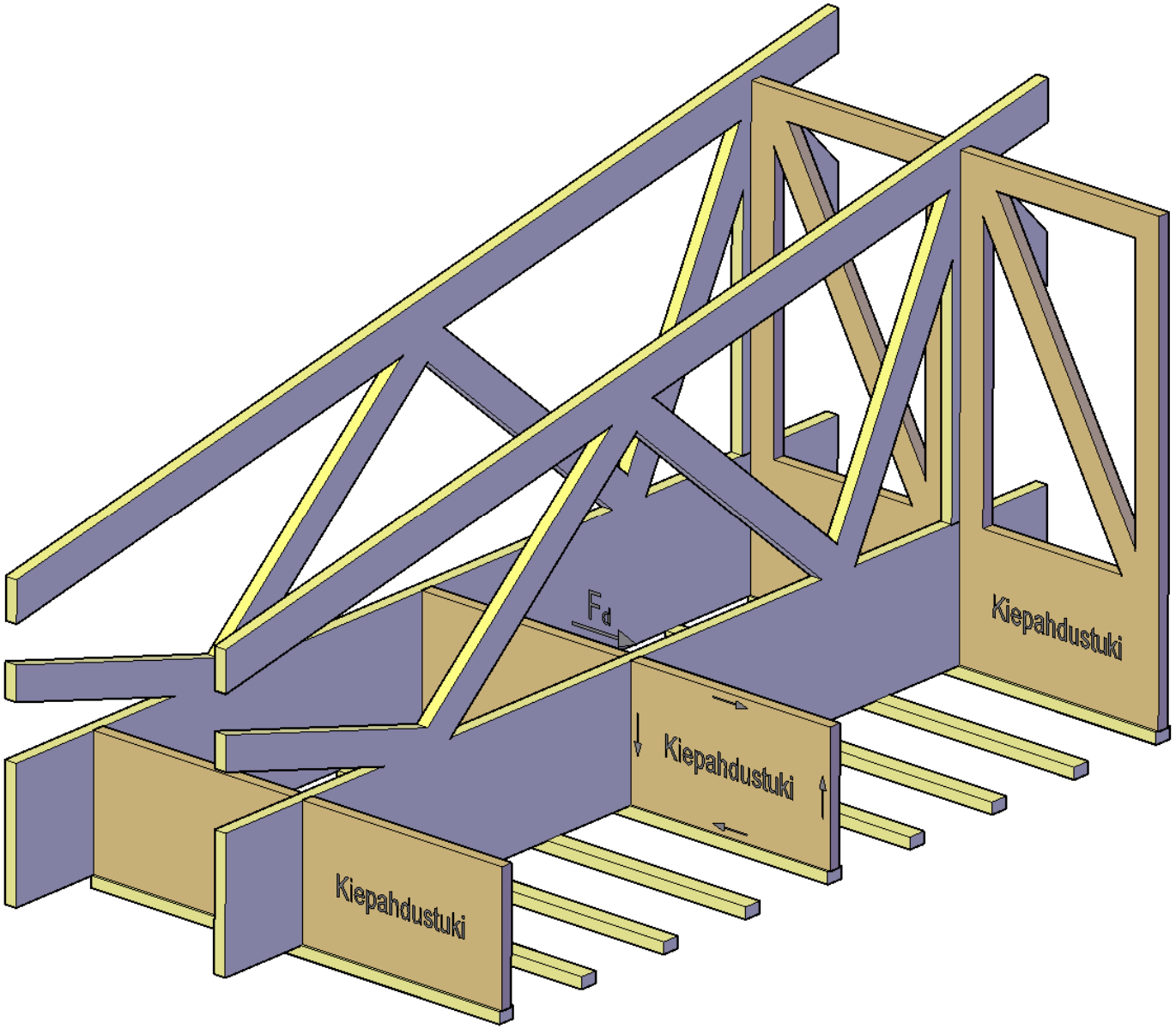
- NR-ristikko ei toimi palotilanteessa ristikkona (naulalevyt saattavat irrota alapaarteesta)
- Mitoitus alapaarrepalkin varaan

Yläpuolinen palo

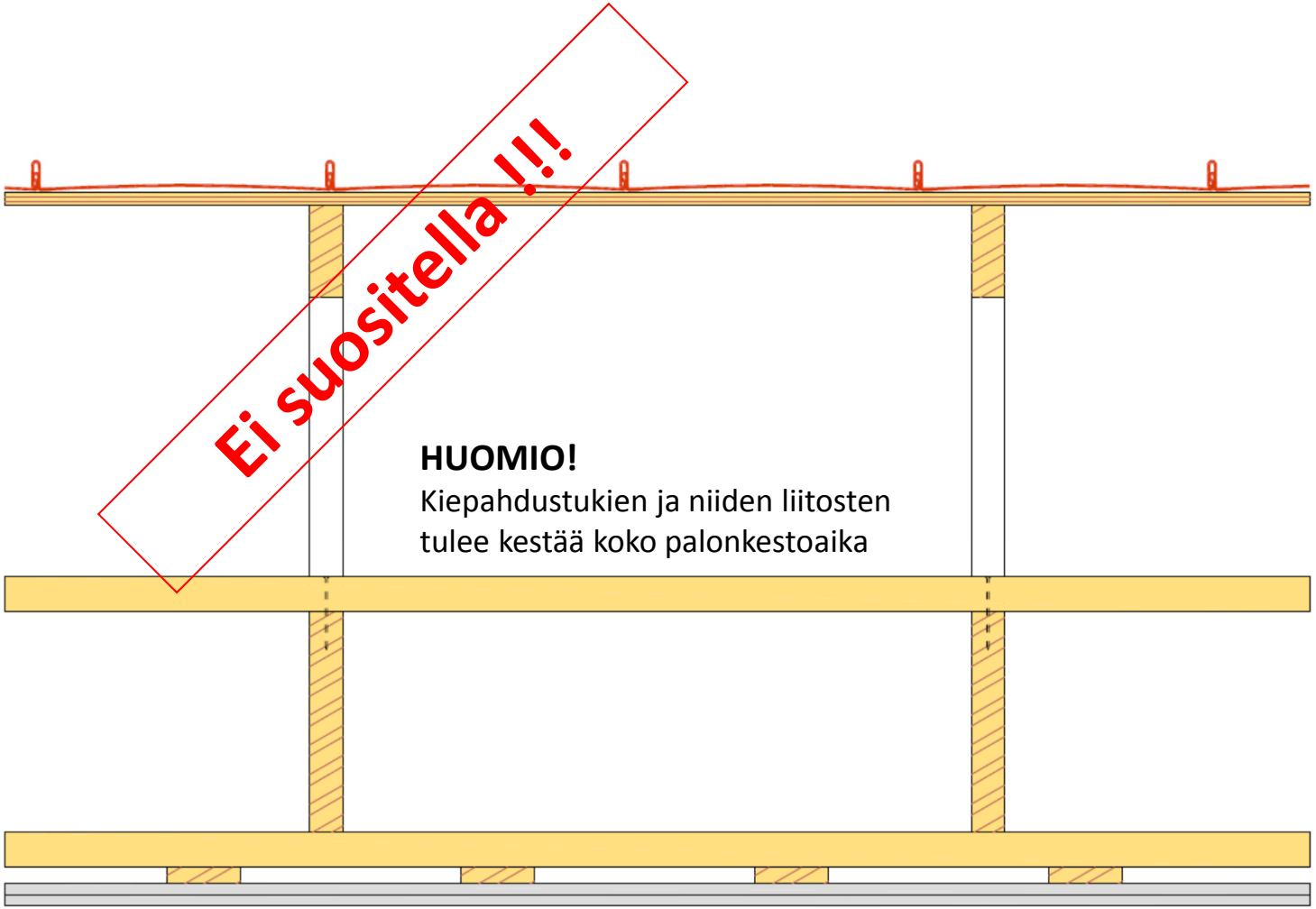


HUOMIO!

- NR-ristikko ei toimi palotilanteessa ristikkona (ristikon oletetaan sortuvan ullakkopalossa)
- Mitoitus alapaarrepalkin varaan

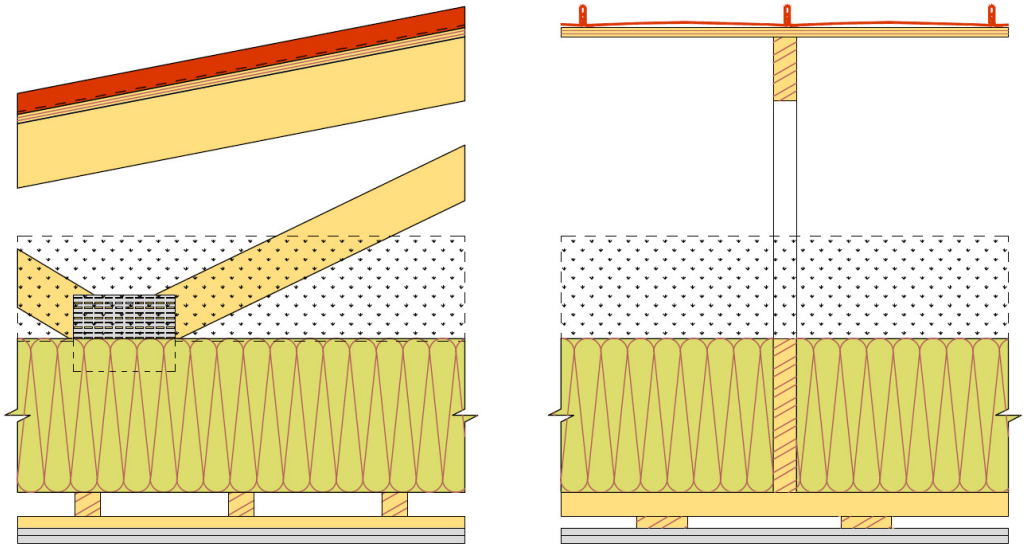


PUUINFO


Ei suositella !!!
HUOMIO!
Kiepahdustukien ja niiden liitosten
tulee kestää koko palonkestoaika

PUUINFO

Tyypillinen P2-paloluokan NR-yläpohja



Levykivivilla alapaarteen yläpinnan tasoon
→ suojaa alapaarteen kyljet ullakkopalossa

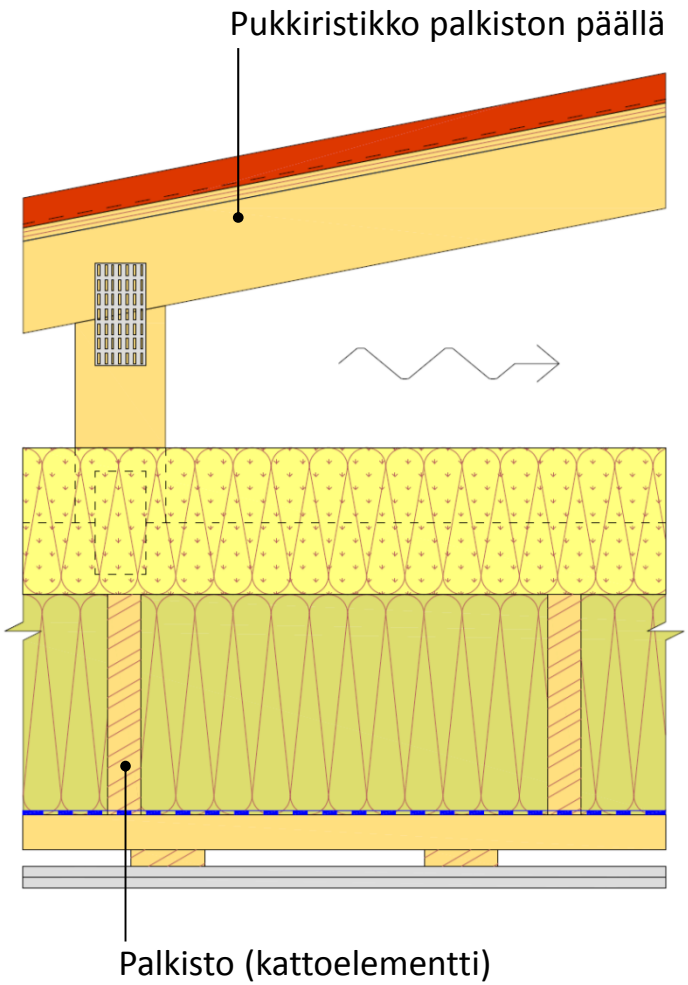
Puhallusmineraalivilla levyvillan päälle
→ yhtenäinen lämmöneristys

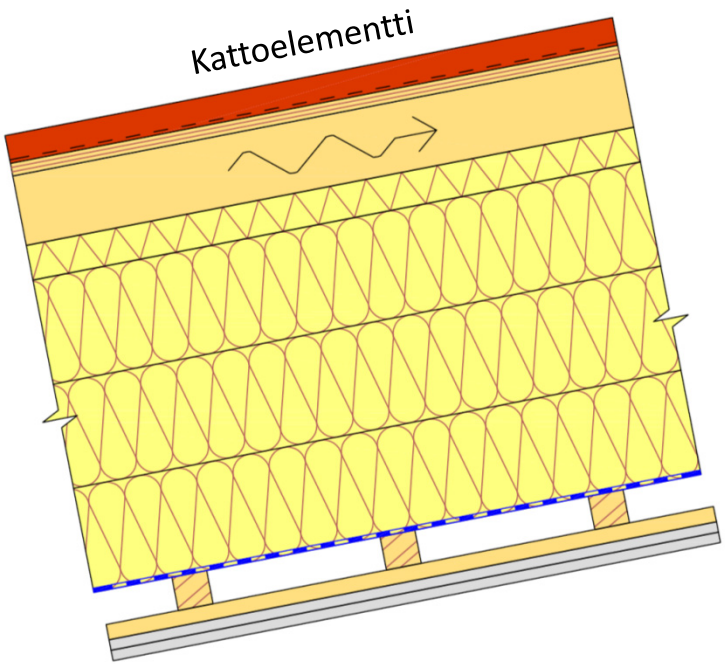
Kiepahdustuenta alapaarteiden väliin
→ kiepahdustuenta palosuojattu
→ kiepahdustuentavoimat siirtyvät alakattolevytykselle

Alakaton levytys 60 min
→ NR-ristikko toimii alapuolisessa palossa ristikkona eikä tarvitse palomitoitusta
→ alakaton koolaus ei hiilly eikä tarvitse palomitoitusta
→ kerrososastointi huoneiston ja ullakon välillä toteutuu automaattisesti

PUUINFO

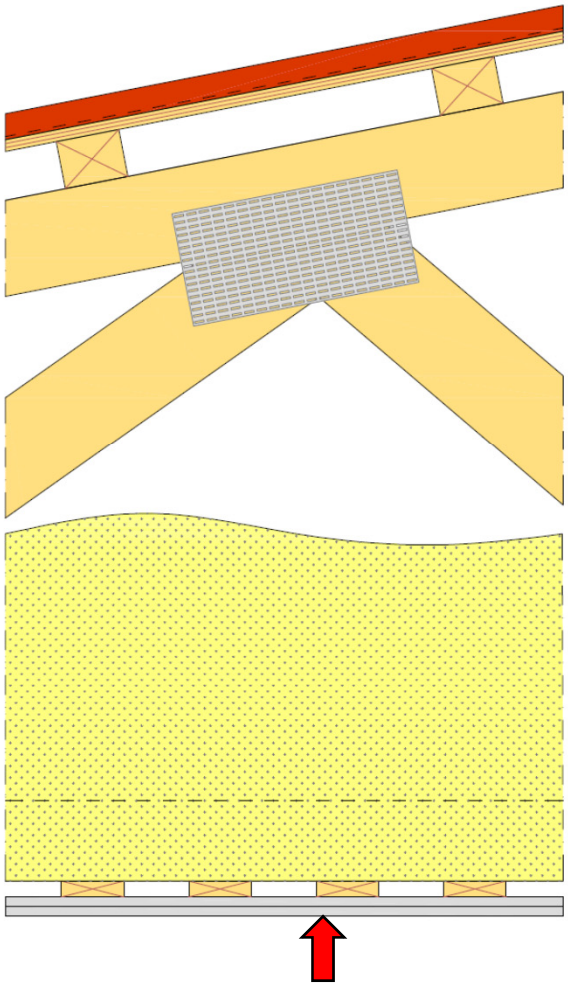
Muita P2-paloluokan yläpohjia

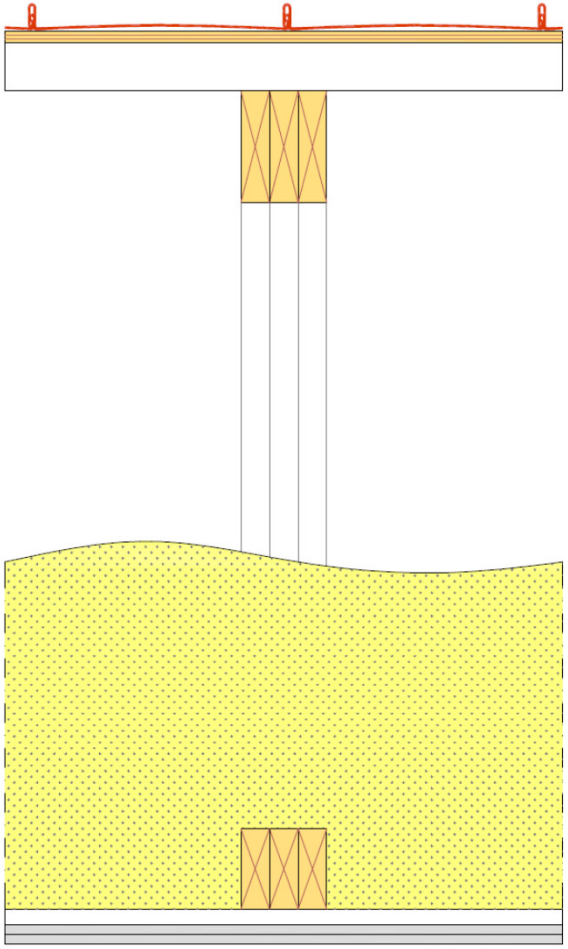




Paloristikko

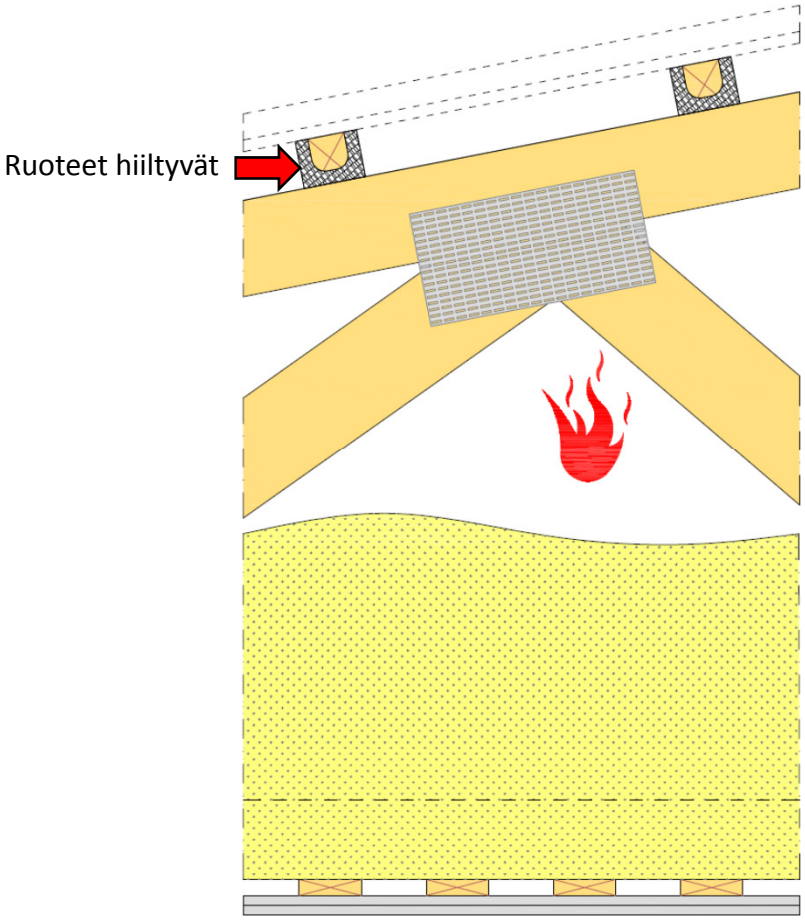
Kuva: Puuinfo

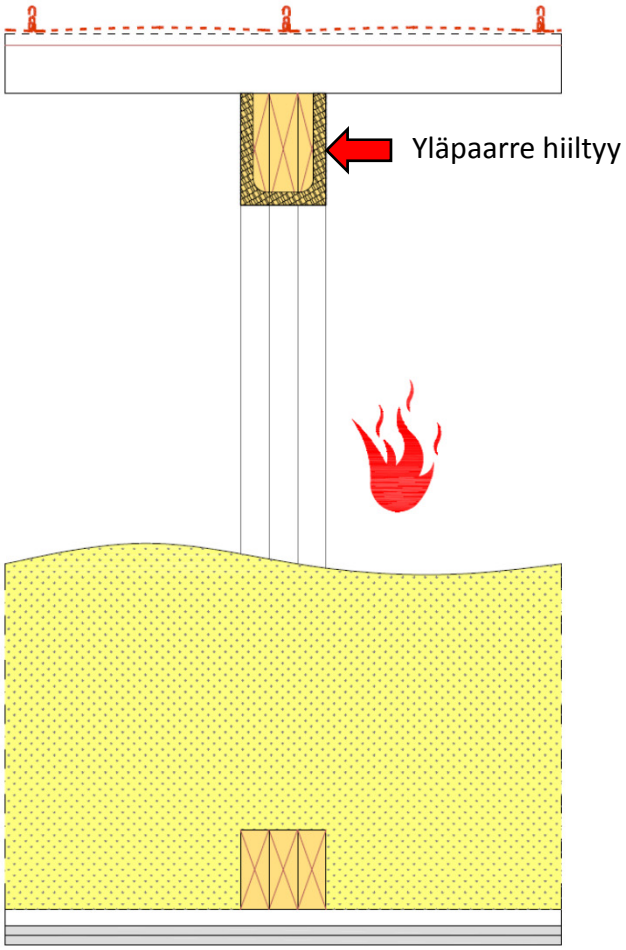




Palosuojattu alapuolista
paloa vastaan koko
palonkestoajalle

PUUINFO



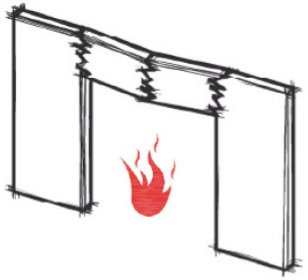


PUUINFO

PUUINFO

Kuva: Sweco

Osastoivuus

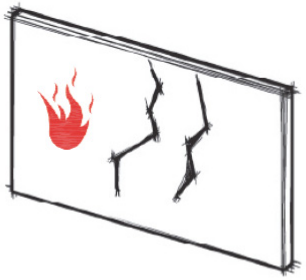


Kantavuus

R

Rakenneosan tulee säilyttää kantavuus vaaditun palonkestoajan

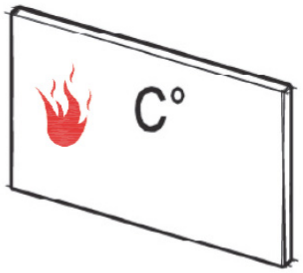
(koskee myös ei-kantavaa osastoivaa rakennusosaa)



Tiiviys

E

Rakenneosan tulee säilyttää savukaasu- ja lämpösäteilytiiviys vaaditun palonkestoajan



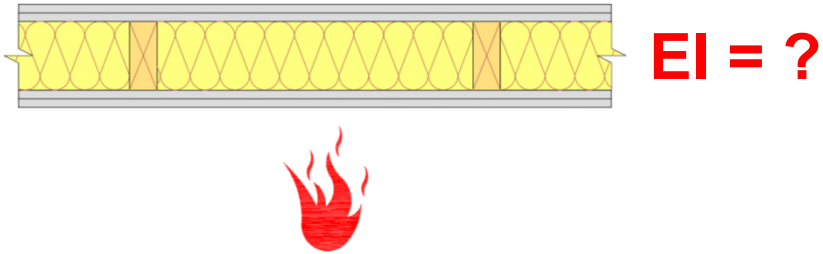
Eristävyys

I

Rakenneosan tulee säilyttää lämmöneristävyys vaaditun palonkestoajan

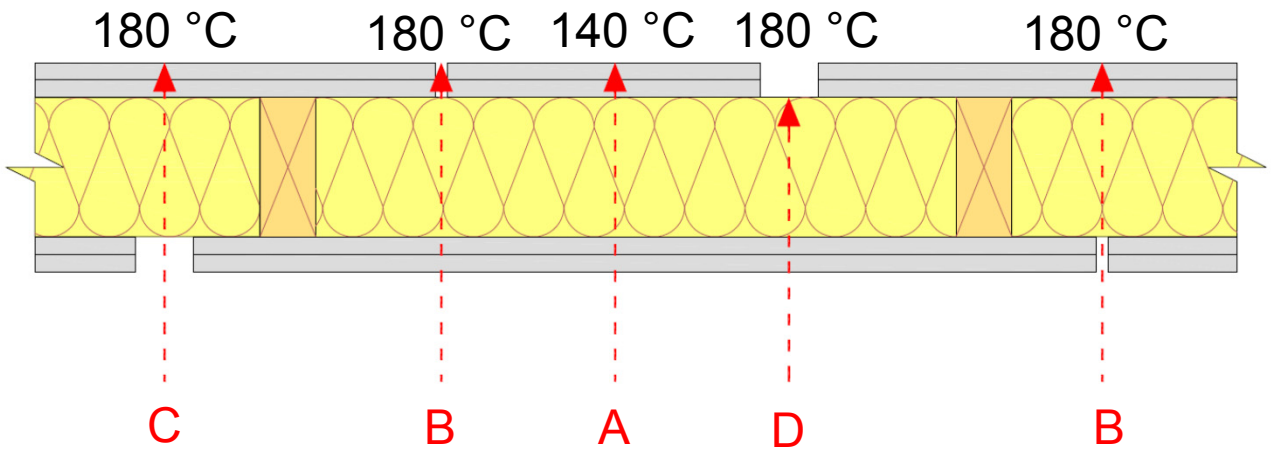
Osastoivaksi rakennusosaksi voidaan hyväksyä myös rakennusosa, joka kokonaan tai joltain osin täyttää vaatimukset vain tiiviyden E osalta. Tällöin henkilöiden poistuminen ei saa vaarantua eikä palo levitä toiseen palo-osastoon vaaditun palonkestävyysajan kuluessa. Esimerkki tällaisesta osastoivasta rakennusosasta on E-luokan lasipalo-ovi, jolla on riittävä suojaetäisyys poistumisreittiin sekä syttyviin rakenteisiin ja irtaimistoon.

PUUINFO



EI = ?

Lämpötilan nousu



PUUINFO

Kuva: Puuinfo

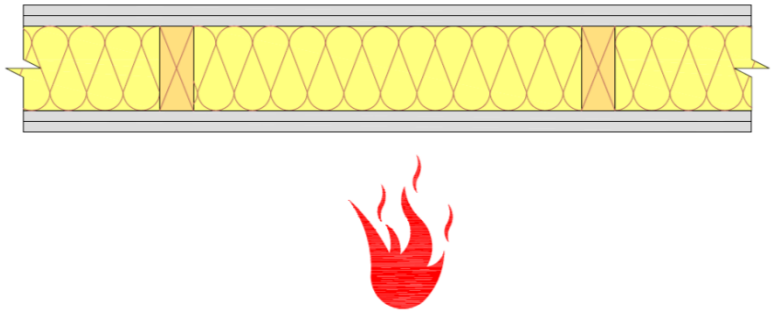
$$t_{ins} = \sum_i t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$$

$t_{ins,0,i}$ = kerroksen "i" eristävyyden perusarvo [min]

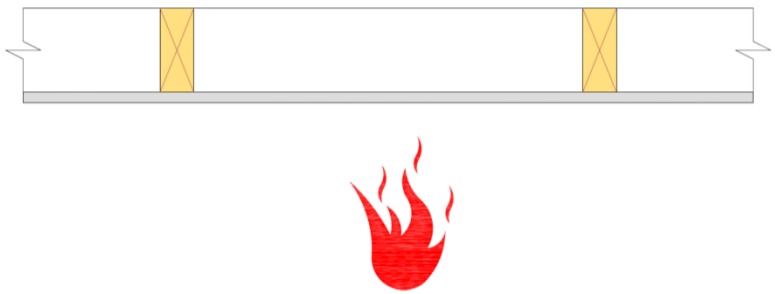
k_{pos} = sijaintikerroin

k_j = saumakerroin

Seinä 1

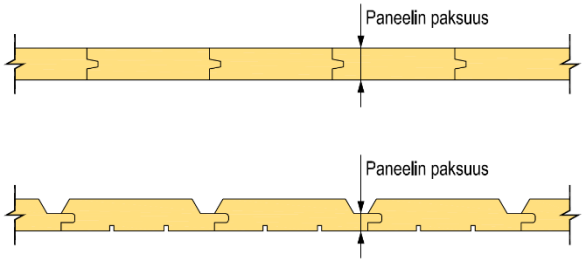


Seinä 2



Mitoitusmenetelmässä huomioitavaa

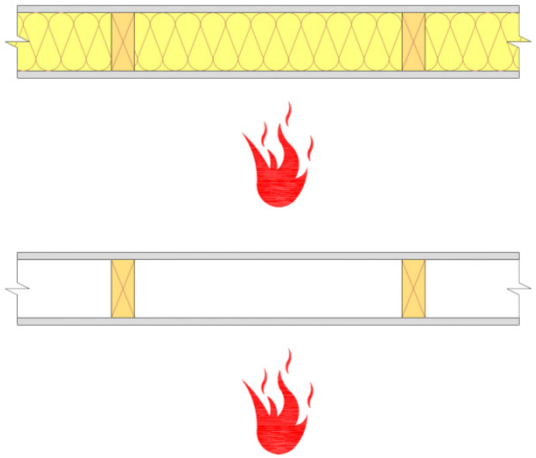
- kantava tai ei-kantava seinä
- korkeus enintään 4 m
- enintään EI 60 (standardipalo)
- seinä 1 → levytys molemmin puolin *(tiiviys E toteutuu vastapuolen levytyksellä)*
- seinä 2 → $t_{ins,0} \cdot k_j$ (sijaintikerrointa ei ole) *(tiiviys E saattaa olla haasteellista)*
- puupaneeli mahdollinen ($t_{ins,0}$ sisältää k_j-kertoimen)
- puupaneelin paksuus on sen ohuin kohta
- tyhjän ontelon (45…200 mm) $t_{ins,0}$ = 5 min



Eristävyyden perusarvo

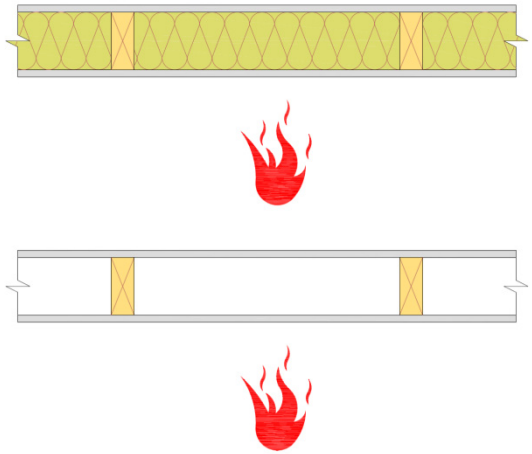
Taulukko 4.13S. Vanerin, lastulevyn, kuitulevyn, puupaneloinnin ja kipsilevyjen eristävyyden perusarvoja $t_{ins,0,i}$ [min] eri paksuisille levyille.

Levytys	Levytyksen paksuus					
Vanerit (ominaistiheys ≥ 450 kg/m^3) $t_{ins,0,i}$ [min]	9 mm 8	12 mm 11	15 mm 14	18 mm 17	21 mm 19	24 mm 22
Lastulevyt ja kuitulevyt (ominaistiheys ≥ 600 kg/m^3) $t_{ins,0,i}$ [min]	11 mm 12	12 mm 13				
Puupanelointi (ominaistiheys ≥ 400 kg/m^3) $t_{ins,0,i}$ [min]			15 mm 7	19 mm 9		
Kipsilevytyypit A, F, R tai H $t_{ins,0,i}$ [min]	9 mm 12	12,5 mm 17	15 mm 21			



Taulukko 4.15S. Lasi- ja kivivillan eristävyyden perusarvoja $t_{ins,0,i}$ [min] eri paksuisille ja tiheyksisille eristeille.

Eriste		Eristeen paksuus [mm]				
		70 mm	100 mm	120 mm	150 mm	200 mm
Lasivilla $t_{ins,0,i}$ [min], kun tiheys	15 kg/m^3	6	9	10	13	18
	20 kg/m^3	7	10	12	15	20
	26 kg/m^3	8	12	14	18	24
Kivivilla $t_{ins,0,i}$ [min], kun tiheys	26 kg/m^3	14	20	24	30	40
	37 kg/m^3	14	20	25	31	41
	50 kg/m^3	15	22	26	33	44



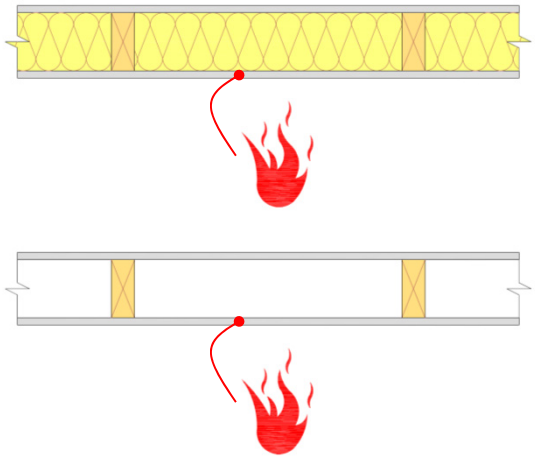
PUUINFO

Lähde: RIL 205-2

Sijaintikerroin

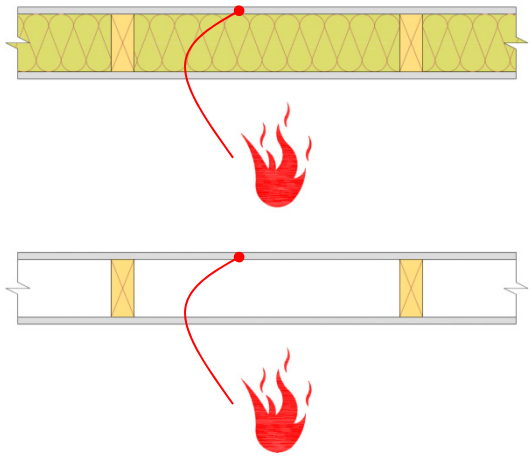
Taulukko 4.16S. Tulen puoleisen levytyksen sijaintikertoimet k_{pos}, kun levytys koostuu yhdestä vaneri-, lastulevy-, kuitulevy-, puupanelointi- tai kipsilevykerroksesta.

Tulen puoleinen levytys	Levytyksen sijaintikerroin, kun takana on kivi- tai lasivillaeristys						tyhjä ontelo
	Levyn paksuus						
Vaneri: (ominaistiheys ≥ 450 kg/m^3) k_{pos}	9 mm 0,72	12 mm 0,78	15 mm 0,84	18 mm 0,9	21 mm 0,96	24 mm 1,0	0,8
Lastulevyt ja kuitulevyt: (ominaistiheys ≥ 600 kg/m^3) k_{pos}	11 mm 0,76	12 mm 0,78					0,8
Puupanelointi: (ominaistiheys ≥ 400 kg/m^3) k_{pos}			15 mm 0,84	19 mm 0,92			0,8
Kipsilevytyypit: A, F, R tai H k_{pos}	9 mm 0,72	12,5 mm 0,79	15 mm 0,84				0,8



Taulukko 4.17Sa. Tulen vastakkaisen puolen levytyksen sijaintikertoimet k_{pos}, kun levytys koostuu yhdestä vaneri-, lastulevy-, kuitulevy-, puupanelointi- tai kipsilevykerroksesta ja ontelo on eristämätön tai eristetty kivivillalla.

Tulen puoleinen levytys	Levytyksen sijaintikerroin, kun levytyksen edessä on kivivillaeristys, jonka paksuus on			tyhjä ontelo
	45–95 mm	145 mm	195 mm	
Vaneri: paksuus 9–25 mm, ominaistiheys ≥ 450 kg/m^3	1,5	3,9	4,9	0,6
Lastulevyt ja kuitulevyt: paksuus 9–25 mm, ominaistiheys ≥ 600 kg/m^3	1,5	3,9	4,9	0,6
Puupanelointi: paksuus 15 tai 19 mm, ominaistiheys ≥ 400 kg/m^3	1,5	3,9	4,9	0,6
Kipsilevyt: tyyppi A, F, R tai H, paksuus 9–15 mm	1,5	3,9	4,9	0,7

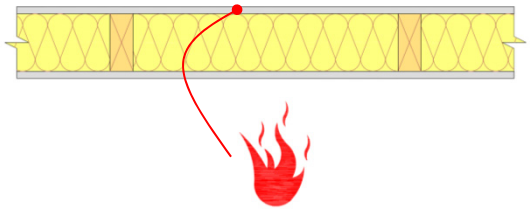


PUUINFO

Lähde: RIL 205-2

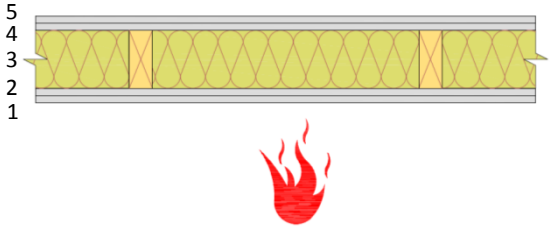
Taulukko 4.17Sb. Tulen vastakkaisen puolen levytyksen sijaintikertoimet k_{pos}, kun levytys koostuu yhdestä vaneri-, lastulevy-, kuitulevy-, puupanelointi- tai kipsilevykerroksesta ja ontelo on eristetty lasivillalla.

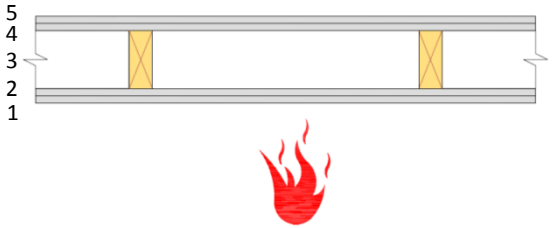
Tulen puoleinen levytys	Levytyksen sijaintikerroin, kun levytyksen edessä on lasivillaeristys					
	Levyn paksuus					
Vanerit: ominaistiheys ≥ 450 kg/m^3 k_{pos}	9 mm 0,46	12 mm 0,67	15 mm 0,88	18 mm 1,09	21 mm 1,3	24 mm 1,51
Lastulevyt ja kuitulevyt: ominaistiheys ≥ 600 kg/m^3 k_{pos}	11 mm 0,6	12 mm 0,67				
Puupanelointi: ominaistiheys ≥ 400 kg/m^3 k_{pos}			15 mm 0,45	19 mm 0,67		
Kipsilevytyypit: A, F, R tai H k_{pos}	9 mm 0,46	12,5 mm 0,71	15 mm 0,88			



Taulukko 4.18. Sijaintikertoimet k_{pos} seinille, joissa on kaksinkertainen levytys seinän molemmilla puolilla. Kerrosten numerointi kuvassa 4.12.

Seinän rakenne		Kerroksen numero				
		1	2	3	4	5
1, 2, 4, 5 3	Puulevy Tyhjä ontelo	0,7	0,9	1,0	0,5	0,7
1, 2, 4, 5 3	A- tai H-tyyppinen kipsilevy Tyhjä ontelo	1,0	0,8	1,0	0,8	0,7
1, 5 2, 4 3	A- tai H-tyyppinen kipsilevy Puulevy Tyhjä ontelo	1,0	0,8	1,0	0,8	0,7
1, 5 2, 4 3	Puulevy A- tai H-tyyppinen kipsilevy Tyhjä ontelo	1,0	0,6	1,0	0,8	0,7
1, 2, 4, 5 3	Puulevy Kivivillalevy	0,7	0,6	1,0	1,0	1,5
1, 2, 4, 5 3	A- tai H-tyyppinen kipsilevy Kivivillalevy	1,0	0,6	1,0	0,9	1,5
1, 5 2, 4 3	A- tai H-tyyppinen kipsilevy Puulevy Kivivillalevy	1,0	0,8	1,0	1,0	1,2
1, 5 2, 4 3	Puulevy A- tai H-tyyppinen kipsilevy Kivivillalevy	1,0	0,6	1,0	1,0	1,5

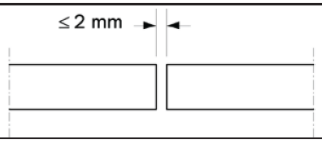
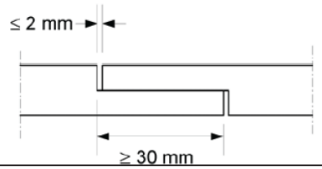
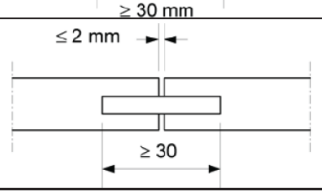
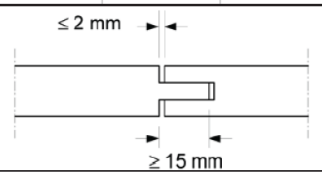
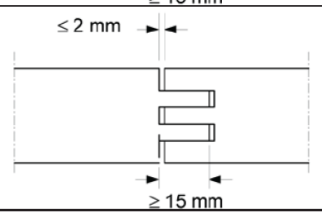




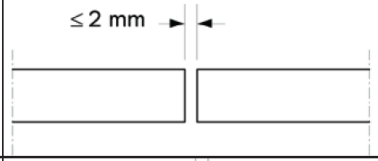
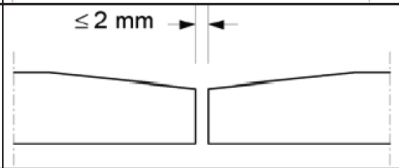
Lähde: RIL 205-2

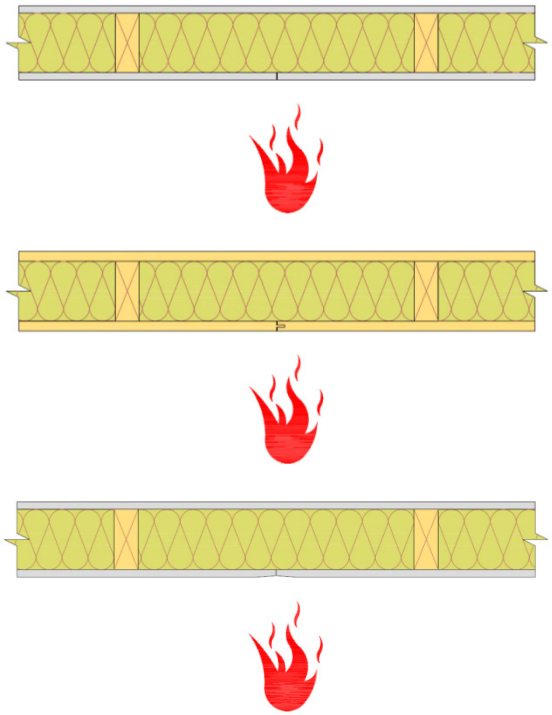
Saumakerroin

Taulukko 4.19. Puulevyjen saumakertoimet k_j, kun levyjä ei ole kiinnitetty takana olevaan puurankaan.

	Saumatyyppi	k_j
a		0,2
b		0,3
c		0,4
d		0,4
e		0,6

Taulukko 4.20. Kipsilevyjen saumakertoimet k_j, kun levyjä ei ole kiinnitetty takana olevaan puurankaan.

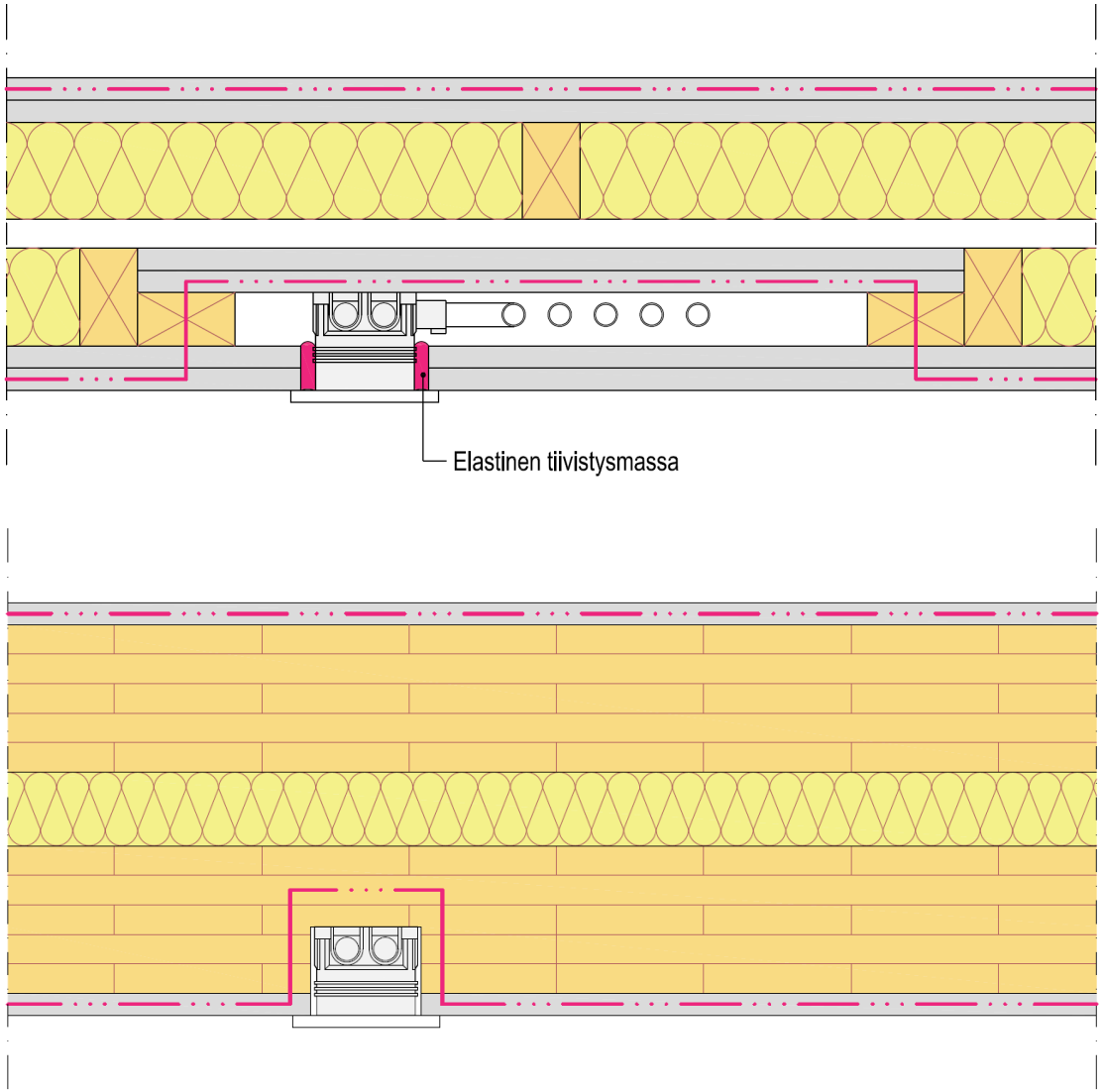
	Saumatyyppi	Tyyppi	k_j	
			Umpi-saumat	Avo-saumat
a		A, H, F	1,0	0,2
b		A, H, F	1,0	0,15



PUUINFO

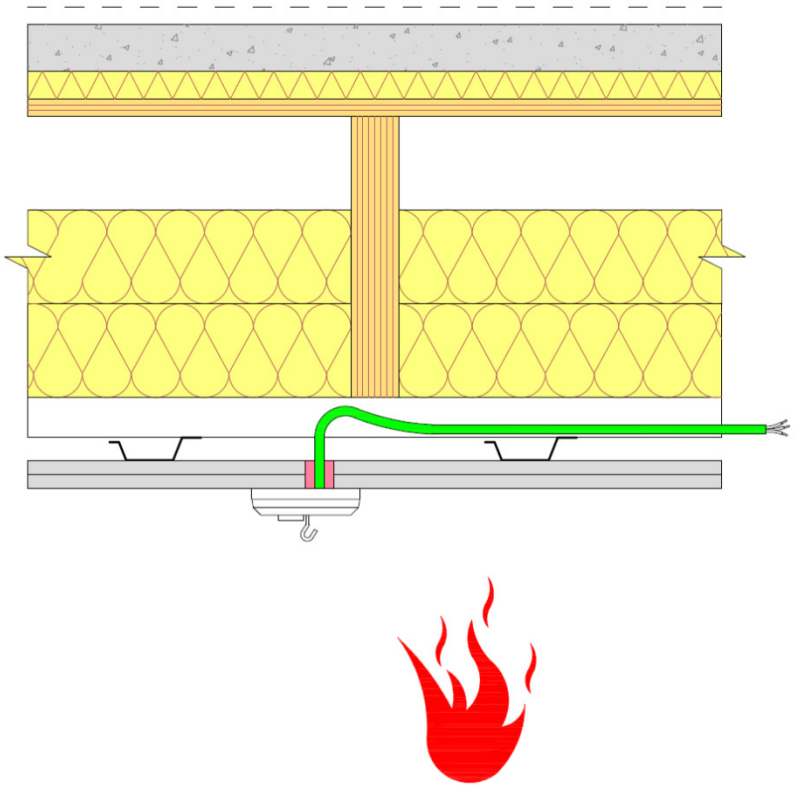
Lähde: RIL 205-2

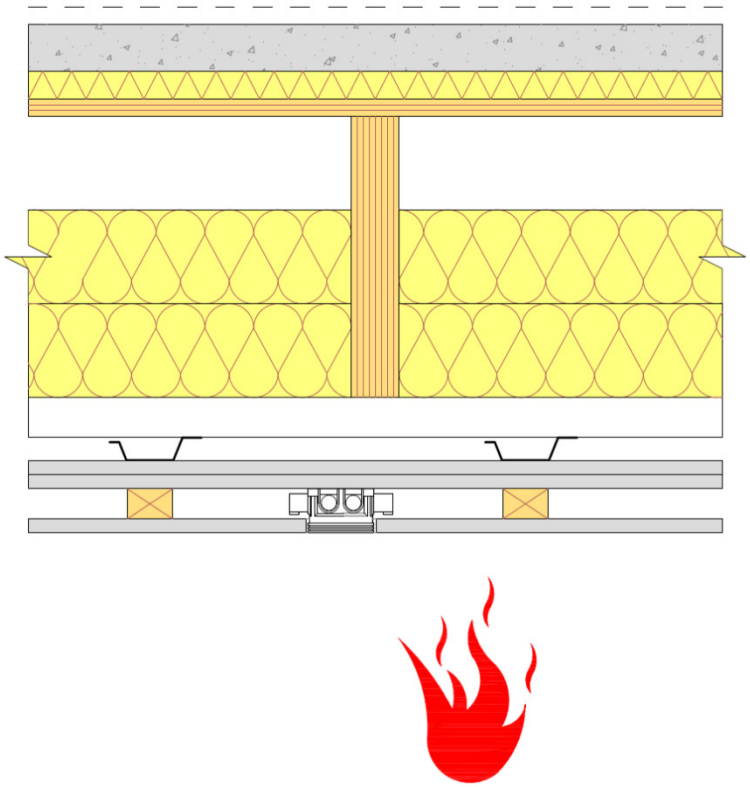
Osastoivan seinän läpivienti



PUUINFO

Osastoivan välipohjan läpivienti

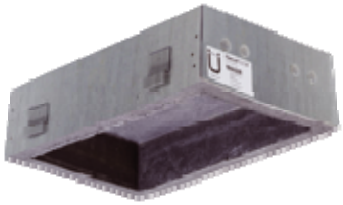


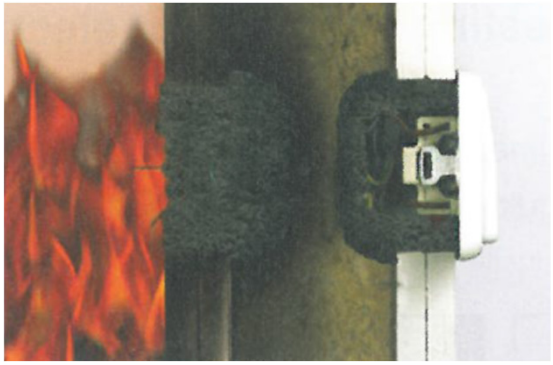


PUUINFO

Sähkölaitteiden palokatkoja

http://www.kaiser-elektro.de/

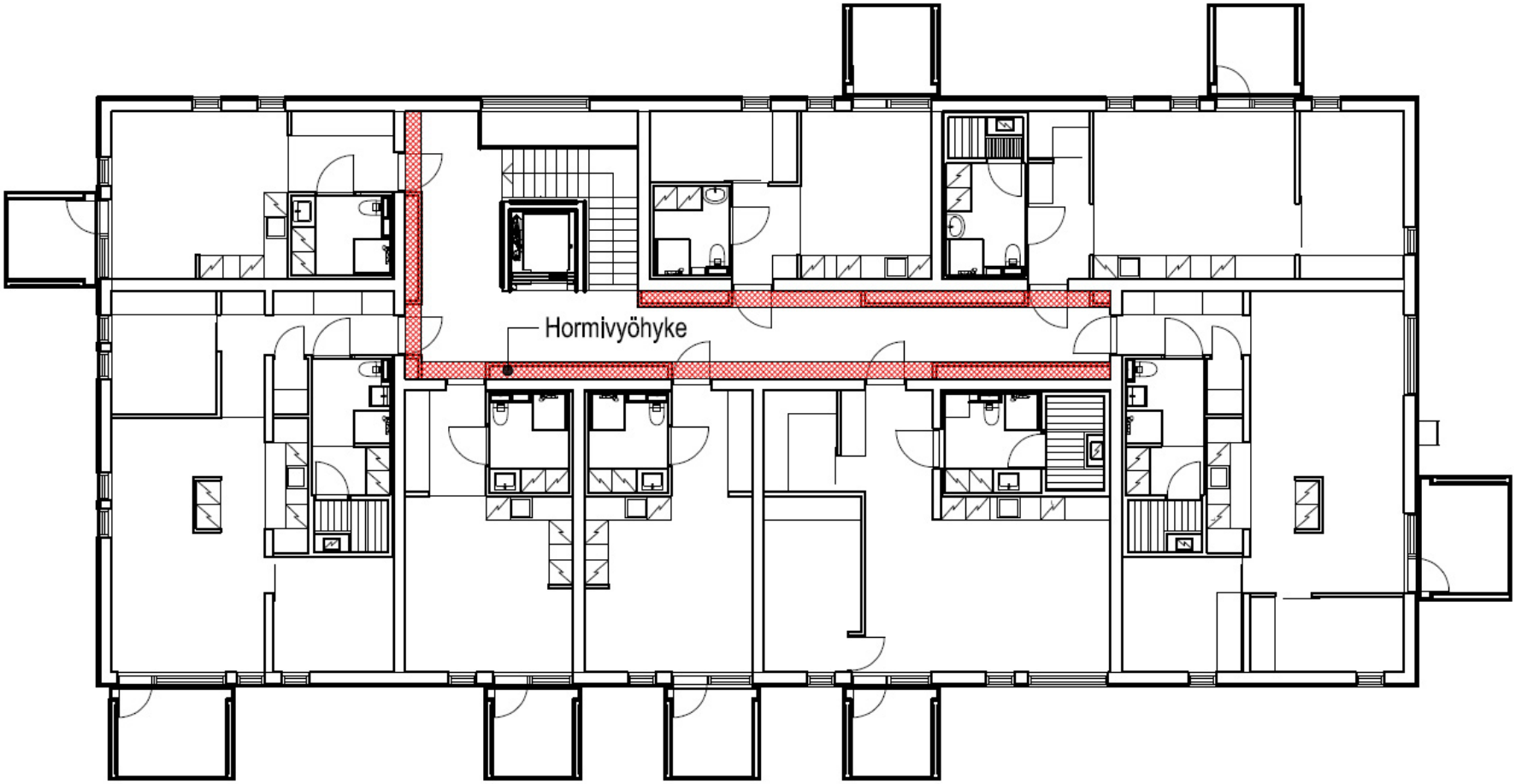




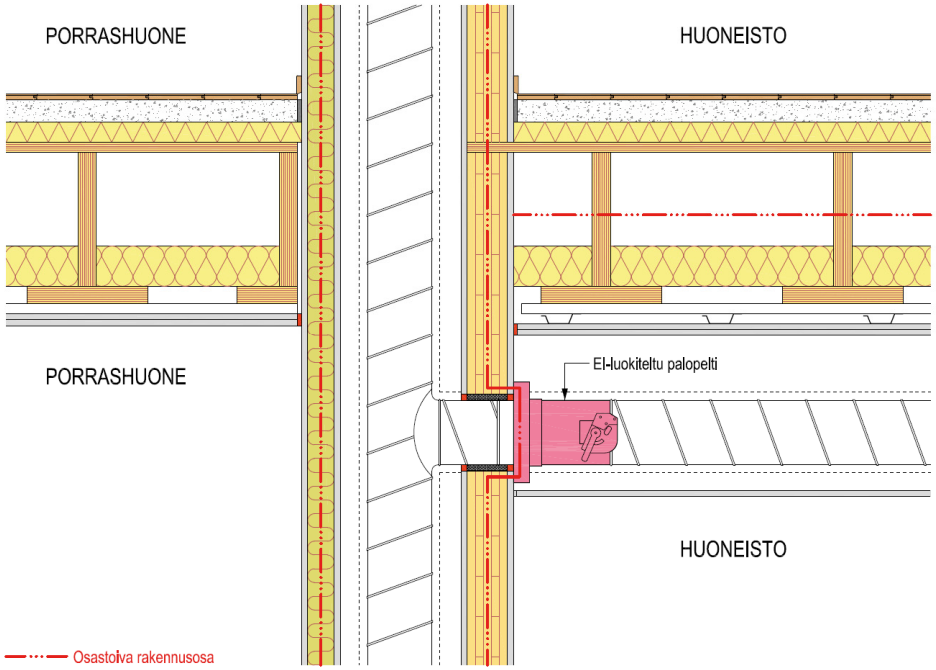
PUUINFO

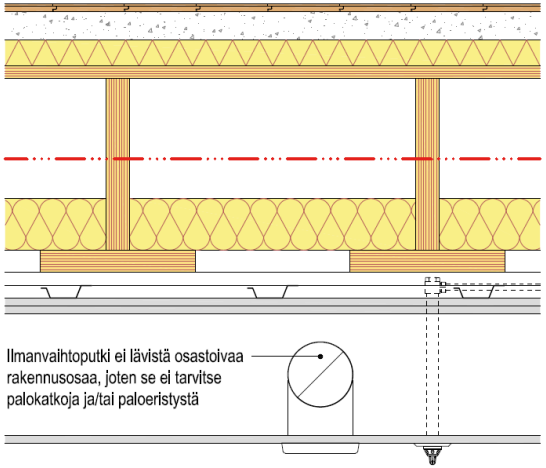
LVI-hormien sijainti

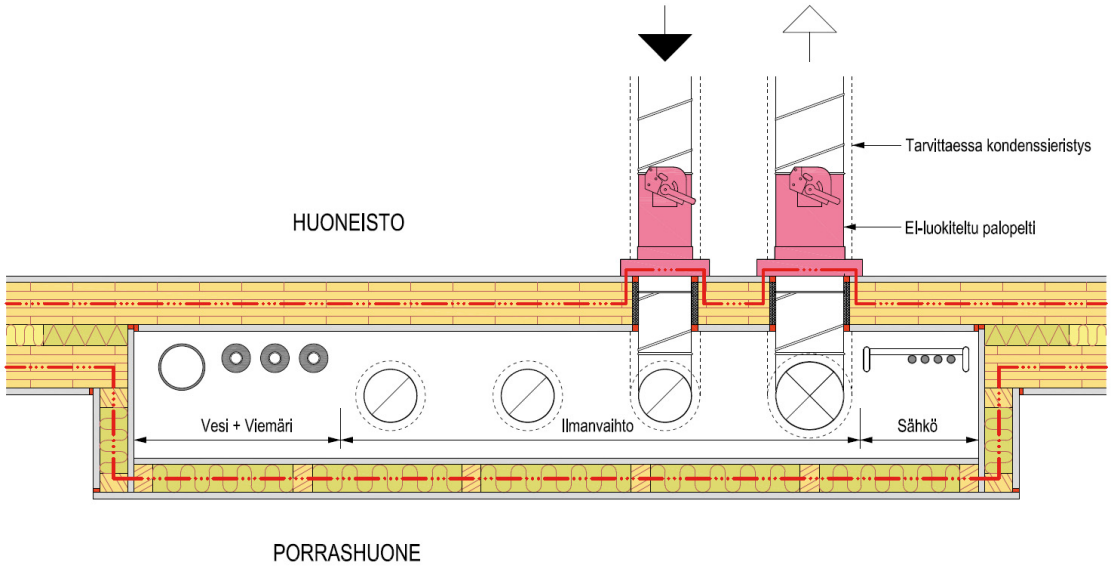
Läpivientien määrään ja tyyppiin voidaan vaikuttaa suunnitteluratkaisuilla !!

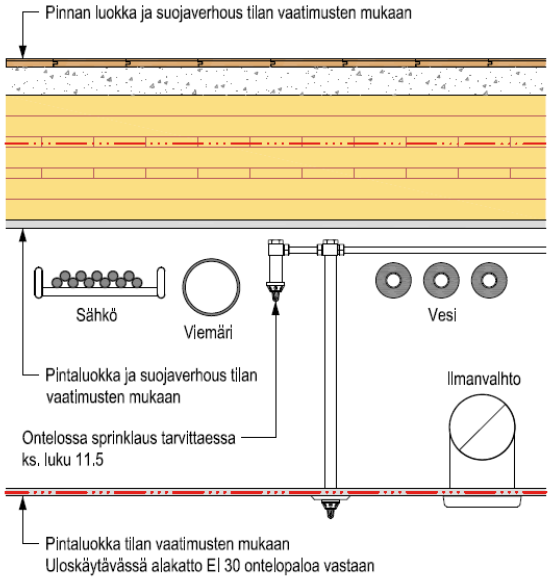


PUUINFO

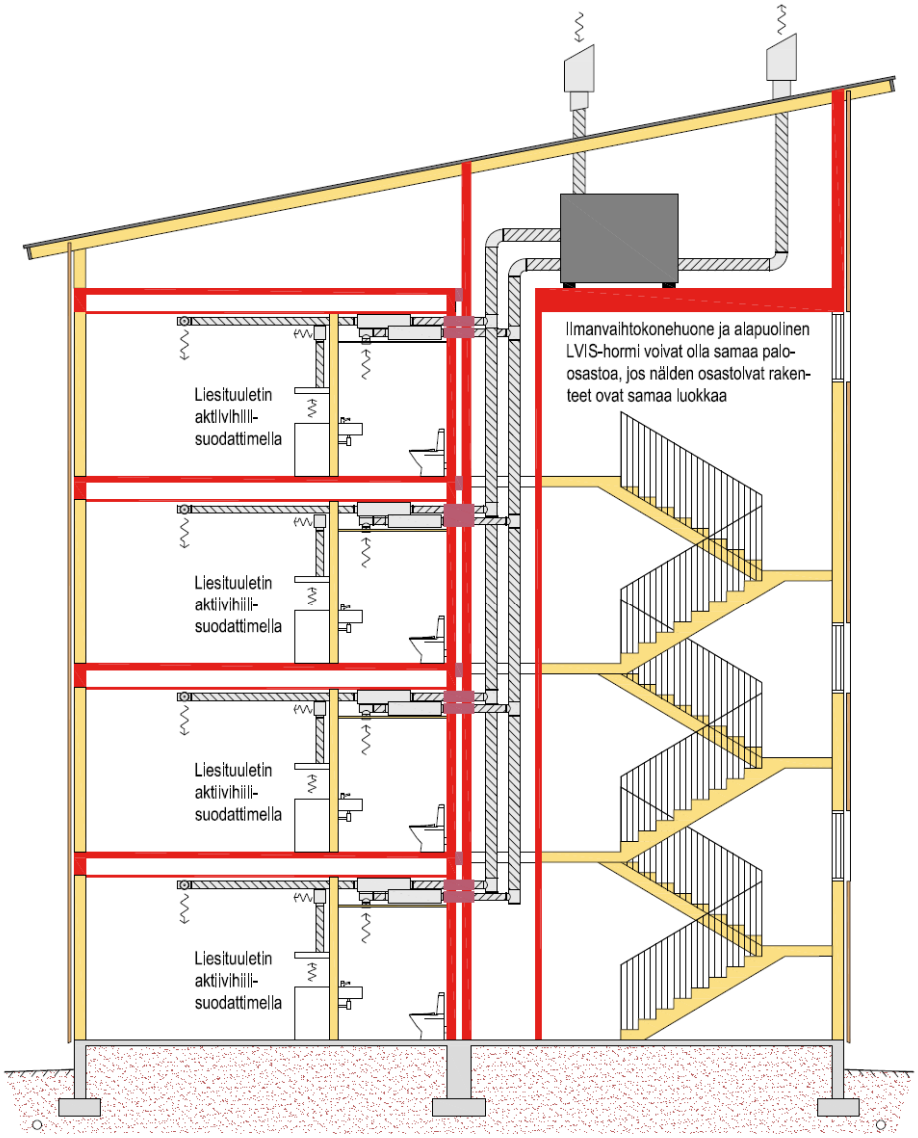

PORRASHUONE
HUONEISTO
PORRASHUONE
EI-luokiteltu palopelti
HUONEISTO
Osastoiva rakennusosa


Ilmanvaihtoputki ei lävistä osastoivaa rakennusosaa, joten se ei tarvitse palokatkoja ja/tai paloeristystä

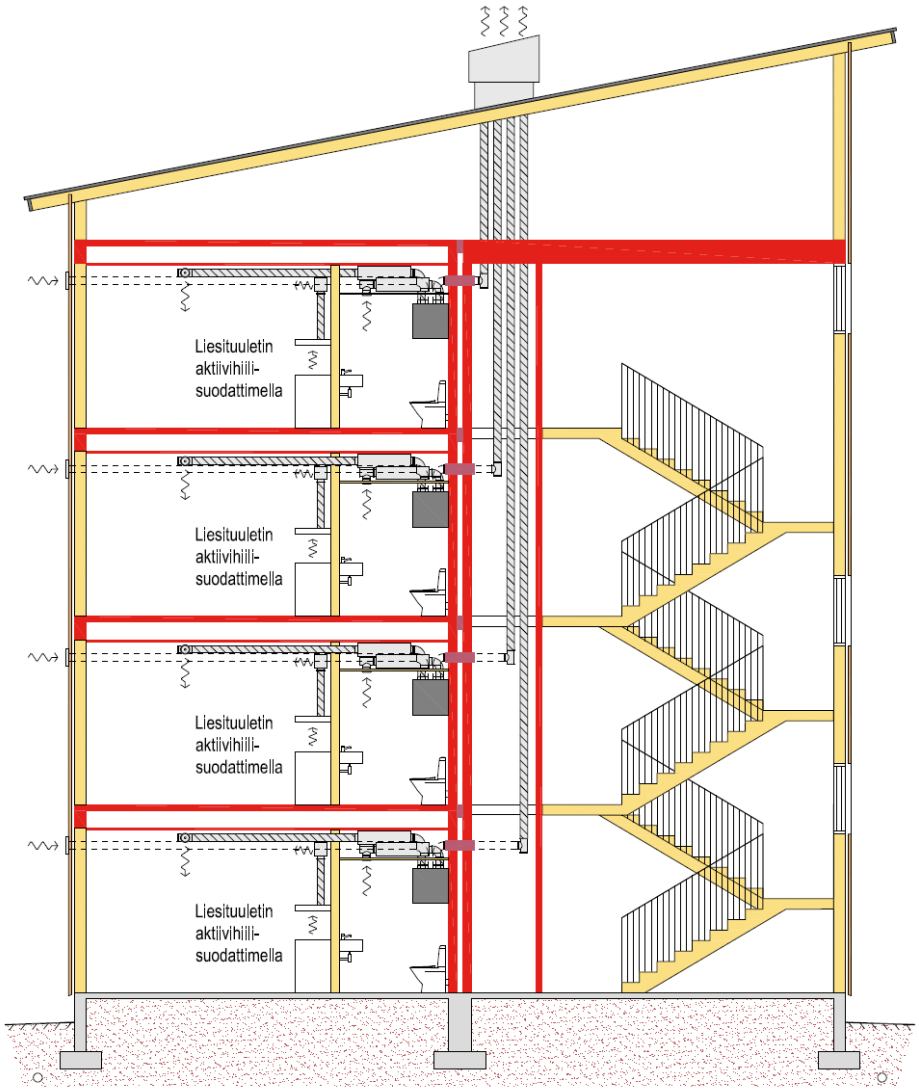

Tarvittaessa kondenssieristys
HUONEISTO
EI-luokiteltu palopelti
Vesi + Viemäri
Ilmanvaihto
Sähkö
PORRASHUONE


Pinnan luokka ja suojaverhous tilan vaatimusten mukaan
Sähkö
Viemäri
Vesi
Pintaluokka ja suojaverhous tilan vaatimusten mukaan
Ilmanvalhto
Ontelossa sprinklaus tarvittaessa ks. luku 11.5
Pintaluokka tilan vaatimusten mukaan
Uloskäytävässä alakatto EI 30 ontelopaloa vastaan

PUUINFO



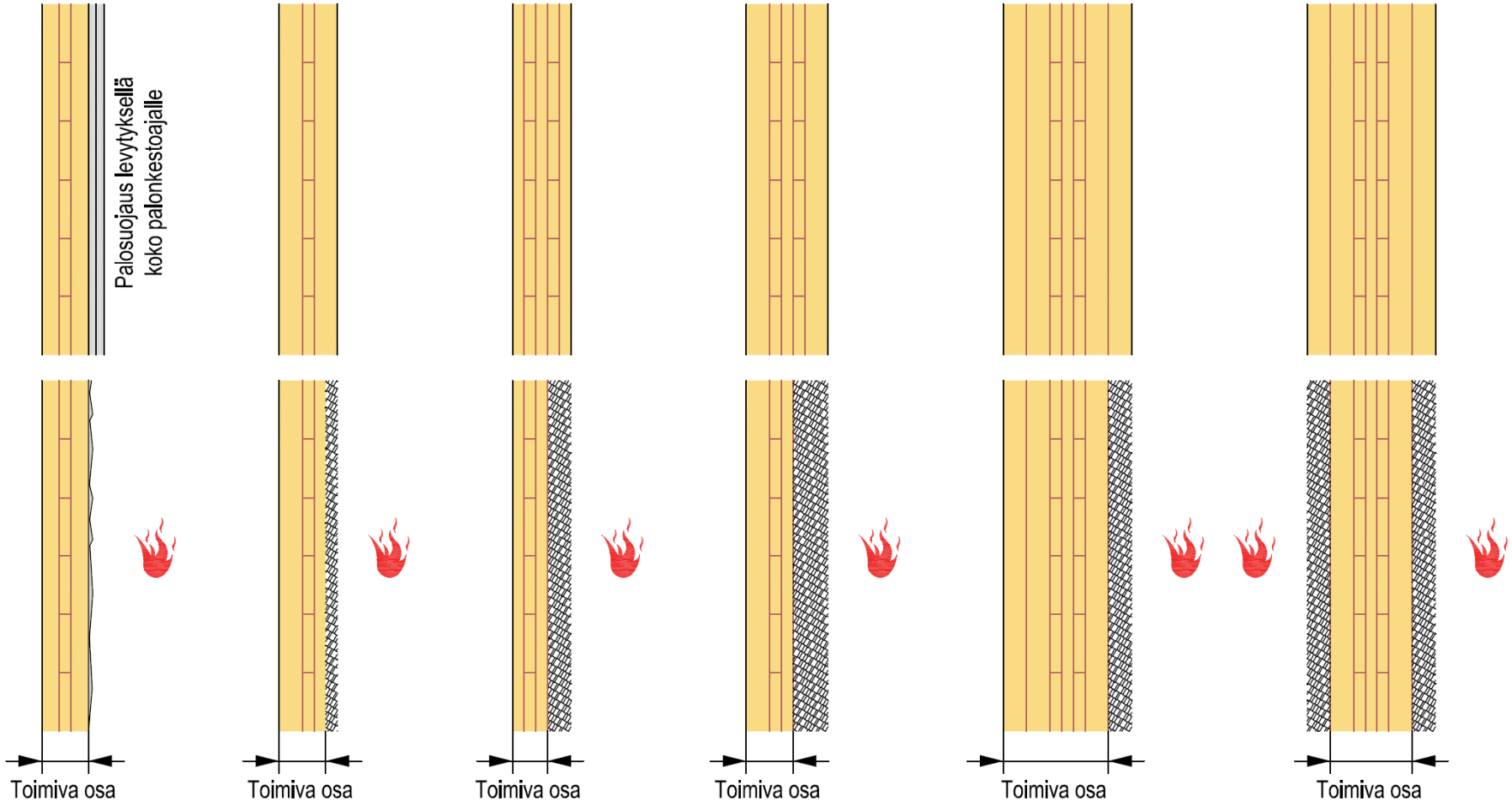
= osastoiva rakennusosa
= palokatko



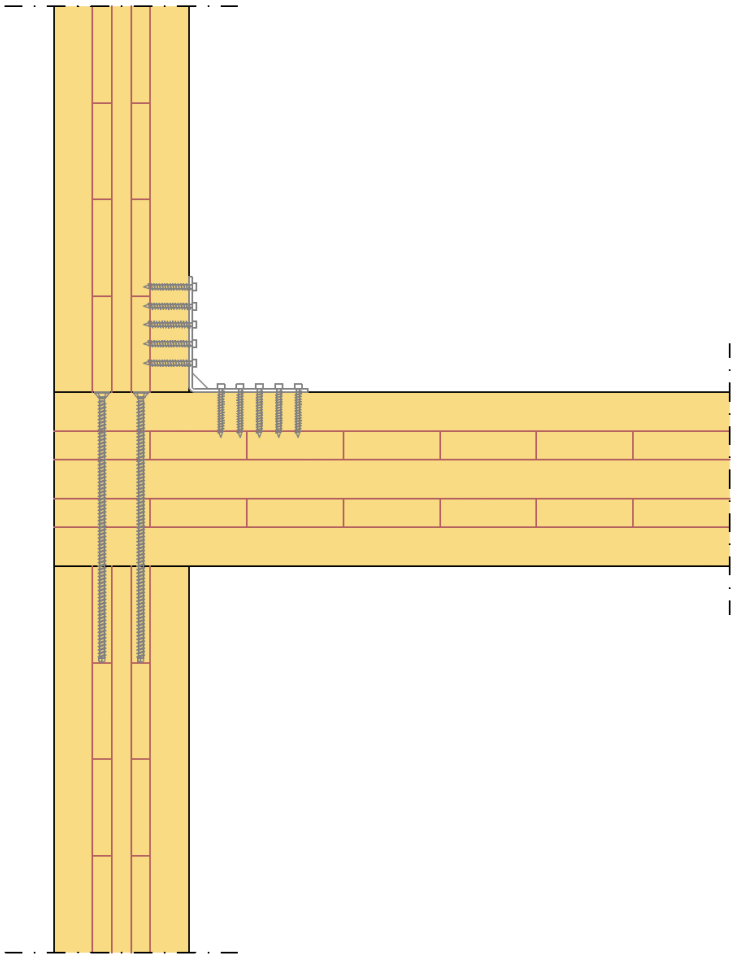
= osastoiva rakennusosa
= palokatko

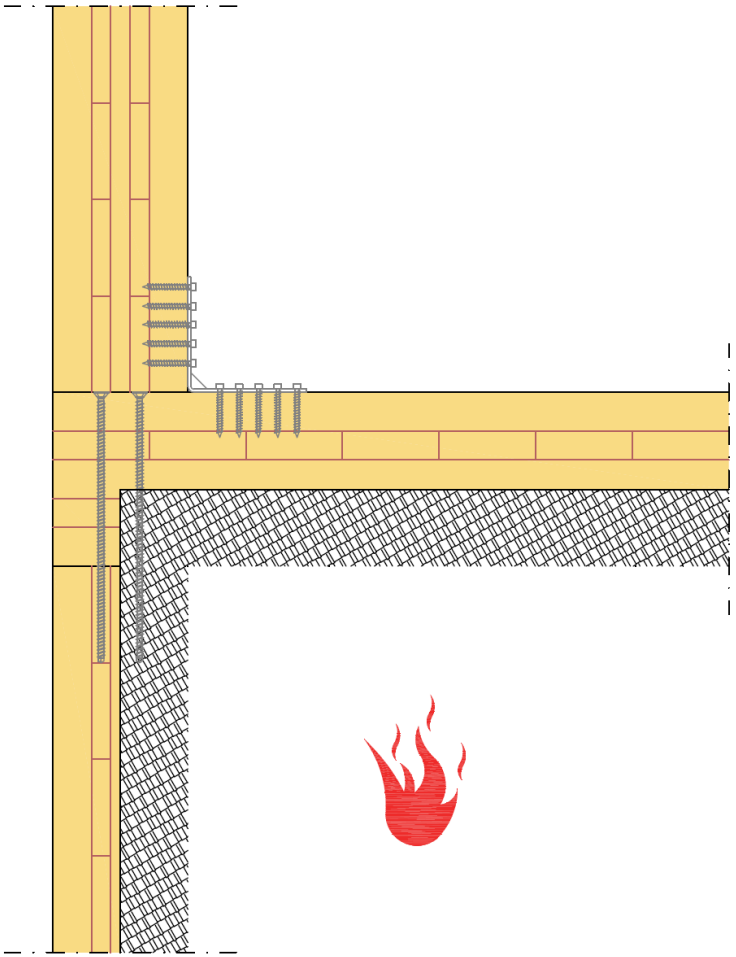
PUUINFO

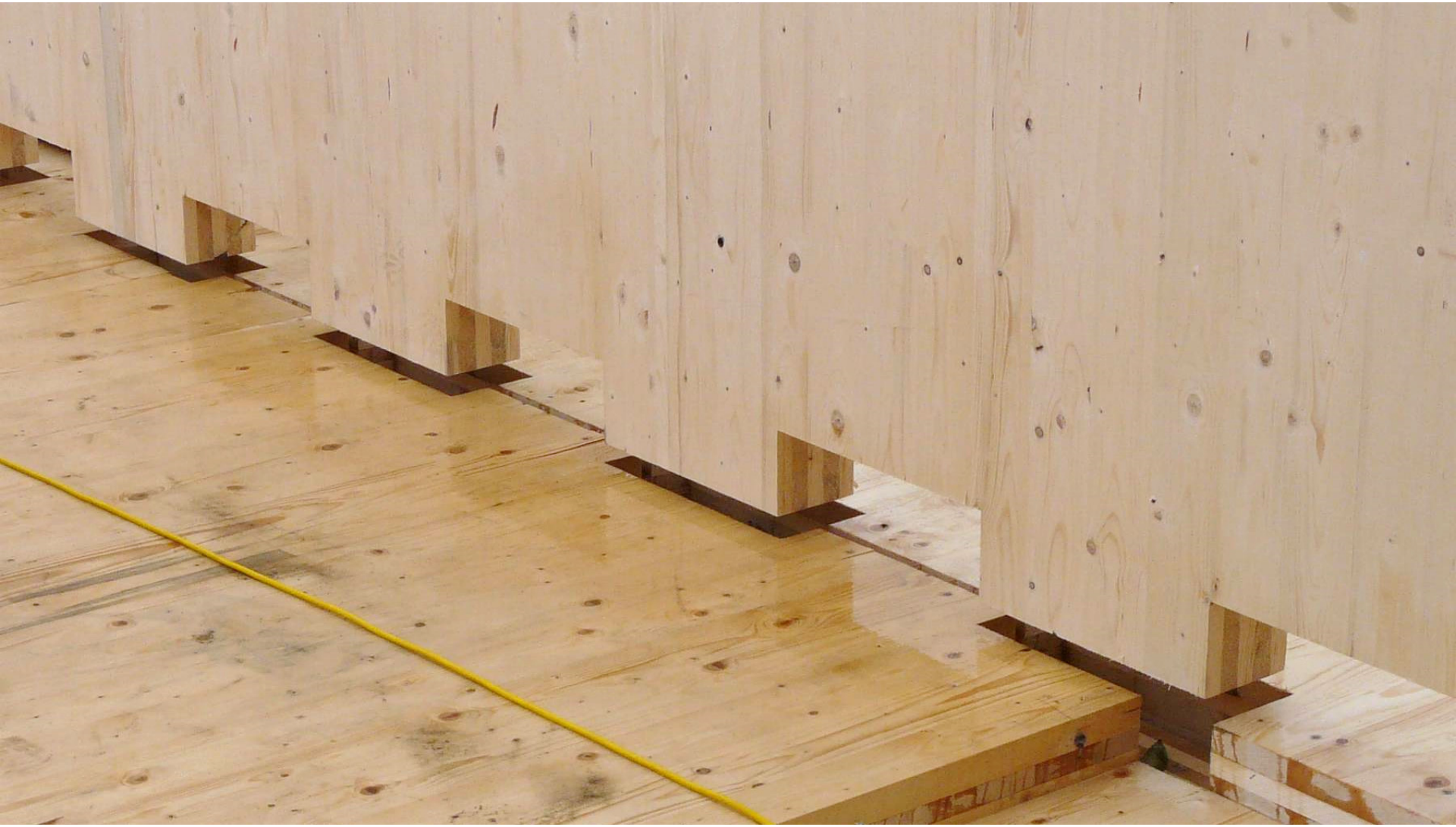
CLT-levyn palomitoitus



PUUINFO







PUUINFO

Kuva: Willmott Dixon Ltd

CLT-levyn hiiltyminen

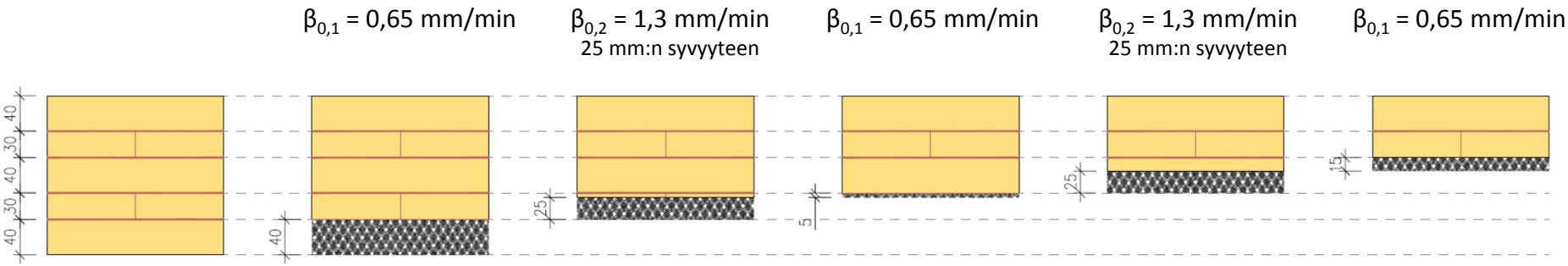
Stora Enso CLT-levy

Vaakarakenne

Pintalamellikerros ensimmäiseen liimasaumaan saakka $\beta_{0,1}$ = 0,65 mm/min

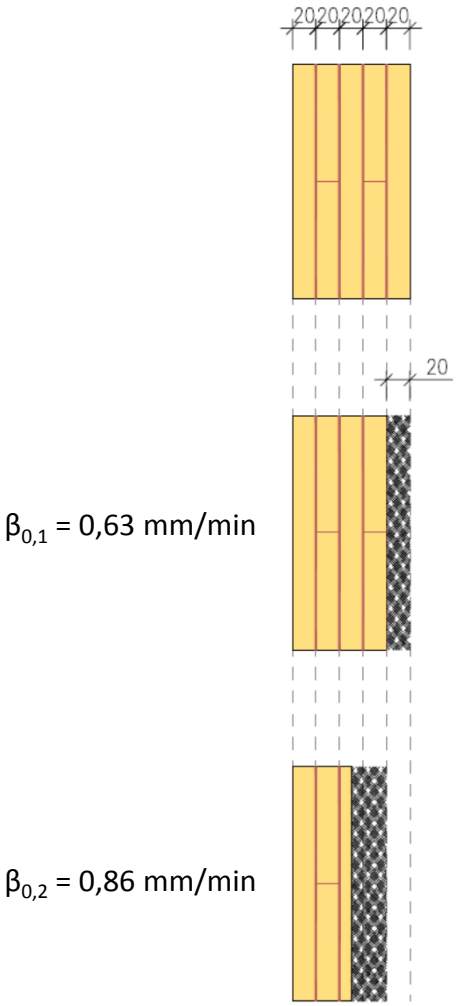
Lamellikerroksen putoamisen jälkeen $\beta_{0,2}$ = 1,3 mm/min 25 mm:n syvyyteen

25 mm:n hiiltymissyvyyden jälkeen seuraavaan liimasaumaan saakka $\beta_{0,1}$ = 0,65 mm/min



HUOMIO! Tässä esitetty CLT-levyn palomitoitusmenetelmä ei ole virallisesti hyväksytty Suomessa

PUUINFO



Pystyrakenne

Pintalamellikerros ensimmäiseen liimasaumaan saakka $\beta_{0,1}$ = 0,63 mm/min

Loput lamellikerrokset $\beta_{0,2}$ = 0,86 mm/min

HUOMIO! Tässä esitetty CLT-levyn palomitoitusmenetelmä ei ole virallisesti hyväksytty Suomessa

Vaakarakenteen hiiltyminen

Lamellikerros 1 hiiltyy nopeudella $\beta_{0,1} = 0{,}65$ mm/min liimasaumaan saakka

$d_1 = 40$ mm (lamellikerros 1)

$\beta_{0,1} = 0{,}65$ mm/min

$$t_1 = \frac{d_1}{\beta_{0,1}} = \frac{40}{0{,}65} = 61{,}5 \text{ min}$$

$d_{char,0,1} = 40$ mm

Lamellikerros 2 on paksuudeltaan 30 mm, joten 25 mm:n hiiltymä saavutetaan ennen liimasaumaa

Lamellikerros 2 hiiltyy 25 mm:n syvyyteen nopeudella $\beta_{0,2} = 1{,}3$ mm/min

$\beta_{0,2} = 1{,}3$ mm/min

$$t_2 = \frac{d_2}{\beta_{0,2}} = \frac{25}{1{,}3} = 19{,}2 \text{ min}$$

$d_{char,0,2} = 25$ mm

Lamellikerroksesta 2 jää jäljelle 5 mm, joka hiiltyy nopeudella $\beta_{0,1} = 0{,}65$ mm/min liimasaumaan saakka

$\beta_{0,1} = 0{,}65$ mm/min

$$t_3 = \frac{d_3}{\beta_{0,1}} = \frac{5}{0{,}65} = 7{,}7 \text{ min}$$

$d_{char,0,3} = 5$ mm

Lamellikerros 3 on paksuudeltaan 40 mm, joten 25 mm:n hiiltymä saavutetaan ennen liimasaumaa

Lamellikerros 3 hiiltyy 25 mm:n syvyyteen nopeudella $\beta_{0,2} = 1{,}3$ mm/min

Lamellikerros 3 ei kuitenkaan hiilly kokonaan 90 min palonkestoaikana

$\beta_{0,2} = 1{,}3$ mm/min

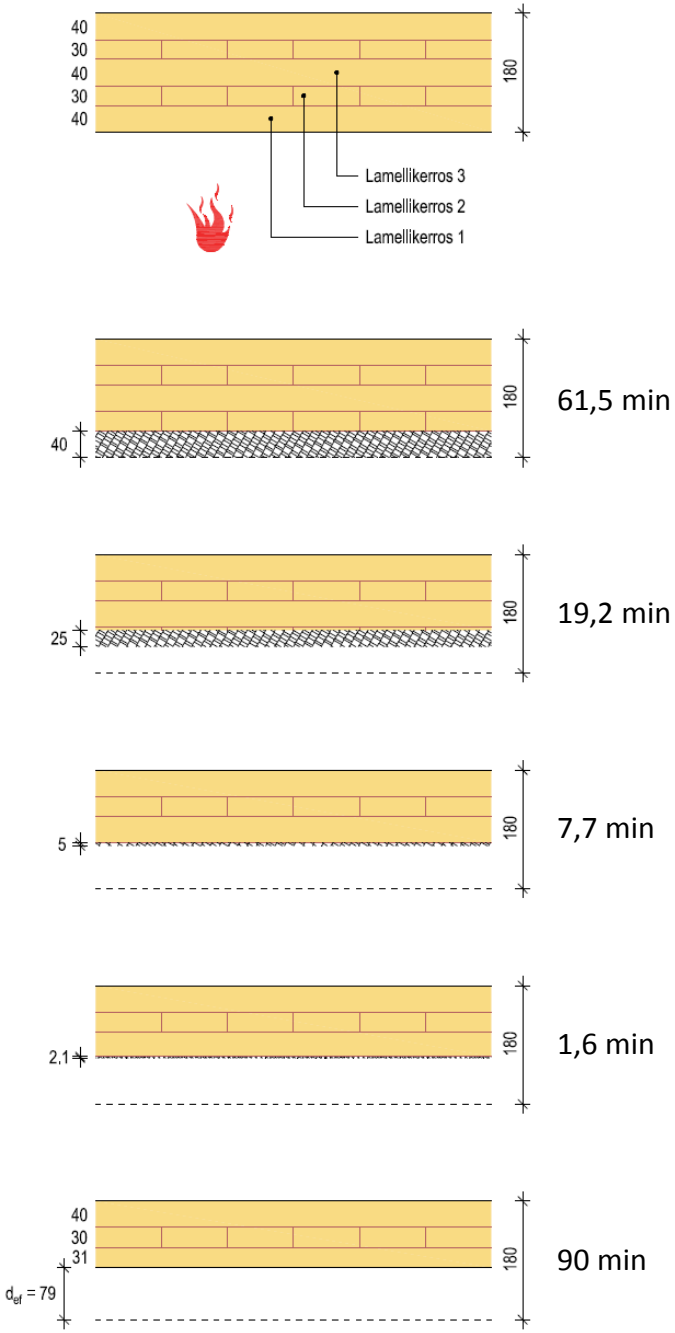
$t_4 = 90 - (t_1 + t_2 + t_3) = 90 - (61{,}5 + 19{,}2 + 7{,}7) = 1{,}6$ min

$d_{char,0,4} = \beta_{0,2} \cdot t_4 = 1{,}3 \cdot 1{,}6 = 2{,}1$ mm

$\sum d_{char,0} = d_{char,0,1} + d_{char,0,2} + d_{char,0,3} + d_{char,0,4} = 40 + 25 + 5 + 2{,}1 = 72{,}1$ mm

$t \geq 20$ min $\Rightarrow k_0 = 1{,}0$

$d_{ef} = \sum d_{char,0} + k_0 \cdot d_0 = 72{,}1 + 1 \cdot 7 = 79{,}1 \text{ mm} \approx 79$ mm



PUUINFO