

Esimerkkilaskelma

NR-ristikkoyläpohjan hiiltymämitoitus

16.10.2014

Sisällysluettelo

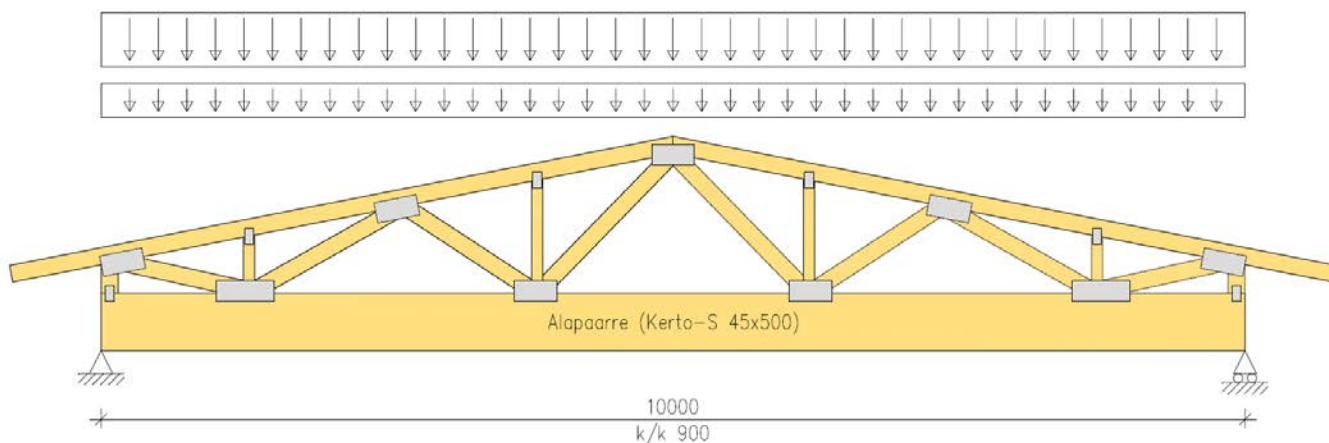
1	LÄHTÖTIEDOT.....	- 3 -
2	KUORMAT	- 3 -
3	MATERIAALI	- 4 -
4	YLEISTÄ MITOITUSMENETELMISTÄ.....	- 4 -
5	NR-YLÄPOHJAN TOIMINTA PALOTILANTEESSA.....	- 5 -
6	ALAPAARTEEN MITOITUS.....	- 5 -
6.1	NIMELLINEN JÄÄNNÖSPOIKKILEIKKAUS (alapuolinen palo).....	- 5 -
6.1.1	Kun NR-ristikon toimintakyky ei säily koko palonkestoaikaa (alapuolinen palo)	- 7 -
6.1.2	Kun NR-ristikon toimintakyky säilyy koko palonkestoajan (alapuolinen palo).....	- 7 -
6.2	TEHOLLINEN POIKKILEIKKAUS (yläpuolinen palo)	- 8 -
6.2.1	NR-ristikon toimintakyky ei säily koko palonkestoaikaa (yläpuolinen palo)	- 9 -
6.3	KIEPAHDUSKESTÄVYYS (alapuolinen palo)	- 10 -
6.4	ALAPAARTEEN TAIPUMA (alapuolinen palo).....	- 11 -
6.5	LEIKKAUSKESTÄVYYS.....	- 11 -
6.6	TUKIPAINKESTÄVYYS.....	- 11 -
7	KIVIVILLALEVYJEN KANNATUSKOOLAUKSEN MITOITUS	- 12 -
8	KIEPAHDUSTUENNAN TOTEUTUS	- 13 -
9	KÄYTÄNNÖN TOTEUTUSRATKAISU	- 13 -

1 LÄHTÖTIEDOT

Rakennuspaikka:	Helsinki
Rakenne:	NR-ristikkoyläpohja P2-paloluokan puukerrostalossa
Seuraamusluokka:	CC2
Normit:	Puurakenteet: RIL 205-1-2009, RIL 205-2-2009, SFS EN 1995-1-1, SFS EN 1995-1-2 Kuormat: RIL 201-1-2008, SFS EN 1990, SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3 ja SFS EN 1991-1-4

2 KUORMAT

KUORMITUSTAPAU 1:



Tässä esimerkissä tarkastellaan vain yksi kuormitustapaus. Myös muut kuormitustapaukset tulee tutkia.

Kuormitustapaus 1: omapaino 100 % + lumi 100 %

OMAPAINO:

Yläpohjan omapaino $g_{k,1} = 0,8 \text{ kN/m}^2$

Ristikojako 900 mm

$$\Rightarrow p_{g,k,1} = k/k \cdot g_{k,1} \Rightarrow 0,9 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ kN/m}^2 = 0,72 \text{ kN/m}$$

\Rightarrow **Omapaino alapaarteelle $p_{g,k} = 0,72 \text{ kN/m}$**

LUMIKUORMA:

Lumikuorma maassa $s_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$

Katon muotokerroin $\mu = 0,8 \Rightarrow$ lumikuorma katolla $q_{s,k} = \mu \cdot s_k \Rightarrow 0,8 \cdot 2,75 \text{ kN/m}^2 = 2,2 \text{ kN/m}^2$

Ristikojako 900 mm

\Rightarrow **Lumikuorma alapaarteelle, $p_{q,s,k} = k/k \cdot q_{s,k} \Rightarrow 0,9 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ kN/m}^2 = 2,0 \text{ kN/m}$**

PALOTILANTEEN KUORMA ALAPAARTEELLE:

$$p_{fi} = p_{g,k} + \psi_{1,1} \cdot p_{q,k}$$

$$\Rightarrow p_{fi} = 0,72 \text{ kN/m} + 0,5 \cdot 2,0 \text{ kN/m} = 1,72 \text{ kN/m}$$

3 MATERIAALI

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-2-2009)

Kerto-S 45x500

$$k_h = \left(\frac{300}{500}\right)^{0,12} = 0,94 \leq 1,2$$

palkin korkeus yli 300 mm

⇒ taivutuslujuuden ominaisarvon pienennyskerroin $k_h = 0,94$

Muunnoskerroin ja virumaluku

⇒ palotilanteessa $k_{mod,fi}$ = määräytyy mitoitusmenetelmän mukaan

⇒ palotilanteessa k_{def} = ei tarkastella

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

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

⇒ ominaislujuuden muunnoskerroin kertopuulle $k_{fi} = 1,1$ (kertoimella muutetaan 5 % fraktiiliarvot 20 % fraktiiliksi)

⇒ taivutuslujuuden ominaisarvo $f_{m,k} = 44,0 \text{ N/mm}^2$

⇒ taivutuslujuuden 20 % fraktiili normaalilämpötilassa $f_{m,k,20} = k_{fi} \cdot k_h \cdot f_{m,k} = 45,5 \text{ N/mm}^2$ (kaava 2.4)

⇒ kimmomoduulin ominaisarvo $E_{0,05} = 11600 \text{ N/mm}^2$

⇒ kimmomoduulin ominaisarvo $E_{mean} = 13800 \text{ N/mm}^2$

Hiililymisnopeus

Kerto-S

⇒ $\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$ (taulukko 3.2)

⇒ $\beta_n = 0,70 \text{ mm/min}$ (nimellinen hiililymisnopeus sis. kulmapyörytykset ja halkeamat) (taulukko 3.2)

Sahatavara C18

⇒ $\beta_n = 0,80 \text{ mm/min}$ (nimellinen hiililymisnopeus sis. kulmapyörytykset ja halkeamat) (taulukko 3.2)

4 YLEISTÄ MITOITUSMENETELMISTÄ

EN 1995-1-2 ja RIL 205-2 käsittelevät välipohjarakenteiden palomitoitusta alapuolista palorasitusta vastaan, mutta yläpohjan mitoitusmenetelmä puuttuu. RIL 205-2 mukainen välipohjan mitoitusmenetelmä soveltuu välipohjille, joiden ontelot ovat kokonaan tai osaksi täytetty kivivillalla. NR-ristikkoyläpohjassa alapaarteiden tason rakenne on välipohjarakenteen kaltainen, mutta alapaarteiden päällä ei ole levytystä. Välipohjassa palkiston päällä on levytys, joka estää kuumien kaasujen läpikäymisen, minkä seurauksena välipohjarakenne kuumenee sisältä. NR-ristikkoyläpohjassa alapaarteiden päältä puuttuvan levytyksen seurauksena kuumat kaasut pääsevät rakenteen läpi, jolloin rakenne pääsee jäähtymään. Toisaalta levytyksen puuttumisen takia kuumat kaasut pääsevät paremmin kulkemaan rakenteen läpi varsinkin, kun lämmöneristeen tiheys on alhainen. Tämä taas vaikuttaa sekä rakenteen kantavuuteen että osastoivuuteen.

5 NR-YLÄPOHJAN TOIMINTA PALOTILANTEESSA

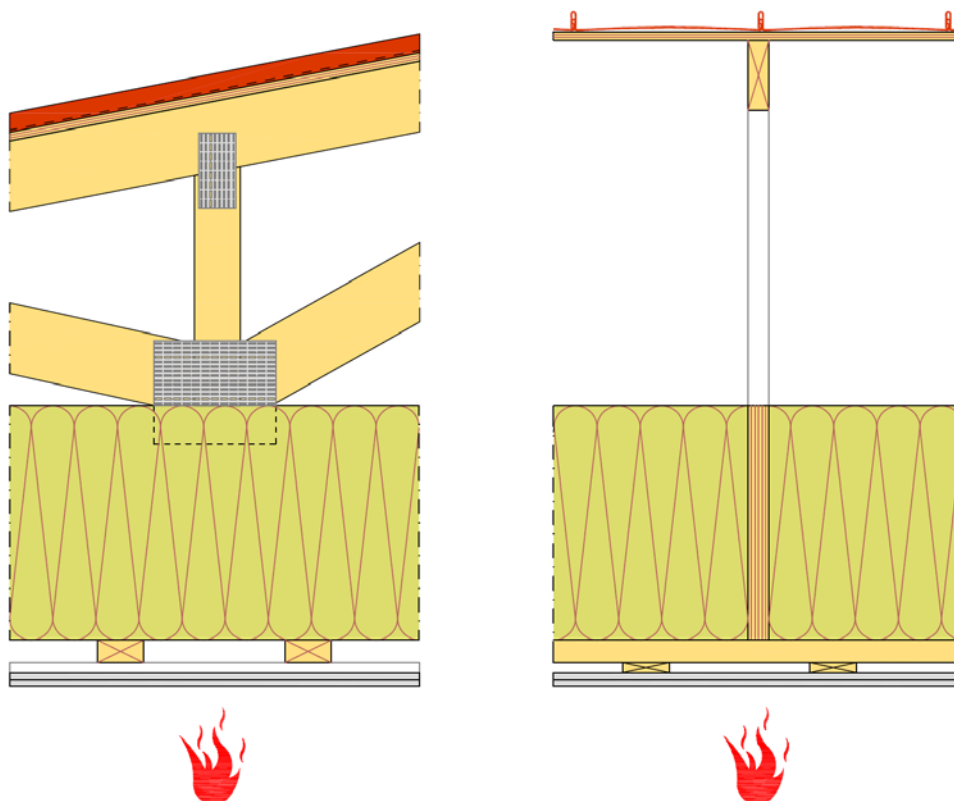
Yläpuolisessa palossa (ullakkopalossa) NR-ristikko menettää toimintakykynsä, jolloin yläpohjan kantavuus mitoitetaan alapaarteena toimivan palkin varaan. Mikäli alapuolisessa palossa alapaarteiden alapinnassa oleva levytys menettää palosuojauskykynsä vaadittuna palonkestoajana, voidaan yläpohjan kantavuus mitoitetaan alapaarteena toimivan palkin varaan kuten yläpuolisessa palossa. Toinen vaihtoehto tällaisessa tapauksessa on tarkastella NR-ristikkoa ristikkona, jonka alapaarre on hiiltynyt alapinnastaan. Tämä edellyttää kuitenkin, että alapaarteissa olevat naulalevyt ovat kivivillalevyjen sisällä tai muulla tavoin suojattuja, jotta naulalevyt pystyvät toimimaan normaalisti koko palonkestoajan. Teräksen lujuus alkaa pudota noin 400 °C:ssa, mutta sitä ennen puu alkaa hiiltä noin 300 °C:ssa. Puun hiiltyminen naulalevyn kohdalla johtaa tavallisesti naula-levyntartunnan peittämiseen.

6 ALAPAARTEEN MITOITUS

6.1 NIMELLINEN JÄÄNNÖSPOIKKILEIKKAUS (alapuolinen palo)

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-2-2009)

Tarkastellaan alapaarteiden hiiltymistä alapuolisessa 60 minuutin palossa, kun alakatossa on tavallinen kipsikartonkilevy 13 mm + palokipsilevy 15 mm (palon puolella). Alapaarteiden välissä on 500 mm levykivivillaa 30 kg/m³, joka suojaa alapaarteiden pystysuuntaisia sivuja koko vaaditun palonkestoajan. Kivivillalevyt kannatetaan alakatossa olevalla koolauksella 48x98 k400, joka altistuu palolle, kun alakaton levytyksen palosuojauskyky päättyy. Näin ollen koolaus tulee palomitoittaa. Tarkastellaan seuraavassa rakenteen mitoitusta RIL 205-2 kohdan 5.2 mukaisella välipohjan mitoitusmenetelmällä, vaikka se ei suoraan sovelukaan kyseiselle yläpohjalle (välipohjan yläpinnan levytys puuttuu). Kyseisellä mitoitusmenetelmällä saadaan kuitenkin jonkinlainen käsitys rakenteen palonkestosta.



Alapaarre hiiltyy vain alapinnasta, koska kivivillalevyt suojaavat palkin pystysuuntaisia sivuja.

Nimellinen hiiltymisnopeus ennen levyjen murtumista

- hiiltymisen alkaa ennen levytyksen murtumista, koska levytyksessä käytetään palokipsilevyä

$b = 45 \text{ mm}$ (alapaarteen leveys)

$k_s = 1,3$ (taulukko 5.1)

$k_2 = 0,85$ (taulukko 5.2-FI)

$k_n = 1,5$ (vakio) (luku 5.2.1S)

$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$ (taulukko 3.2)

$\beta_{n2} = k_s \cdot k_2 \cdot k_n \cdot \beta_0 = 1,3 \cdot 0,85 \cdot 1,5 \cdot 0,65 = 1,08 \text{ mm/min}$ ($t_{ch} \leq t \leq t_f$) (kaava C.1)

Nimellinen hiiltymisnopeus levyjen murtumisen jälkeen

$b = 45 \text{ mm}$ (alapaarteen leveys)

$k_s = 1,3$ (taulukko 5.1)

$k_3 = 5,0$ (taulukko 5.2-FI)

$k_n = 1,5$ (vakio) (luku 5.2.1S)

$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$ (taulukko 3.2)

$\beta_{n3} = k_s \cdot k_3 \cdot k_n \cdot \beta_0 = 1,3 \cdot 5,0 \cdot 1,5 \cdot 0,65 = 6,3 \text{ mm/min}$ ($t > t_f$) (kaava C.2)

Nimellinen hiiltymissyvyyden mitoitusarvo

$\beta_{n2} = 1,08 \text{ mm/min}$

$t_f = 45 \text{ min}$ (taulukko 5.2-FI)

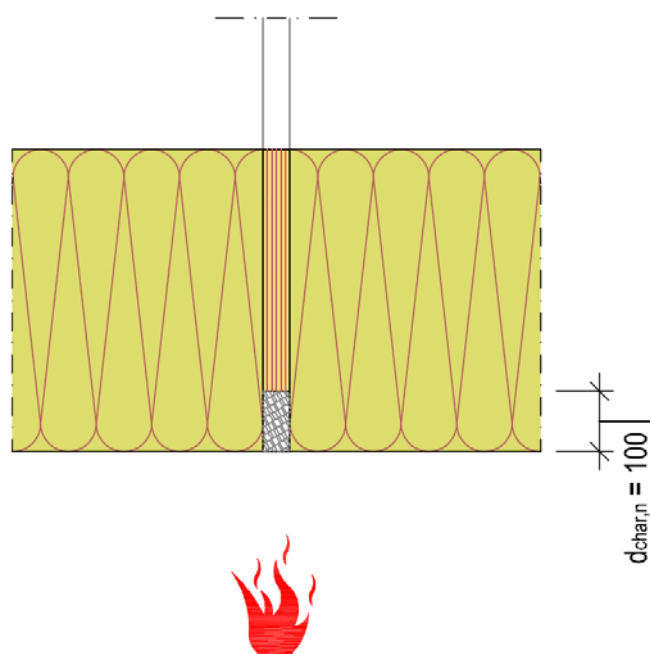
$t_{ch} = 40 \text{ min}$ (taulukko 5.2-FI)

$\beta_{n3} = 6,30 \text{ mm/min}$

$t = 60 \text{ min}$

$d_{char,n} = \beta_{n2} \cdot (t_f - t_{ch}) + \beta_{n3} \cdot (t - t_f) = 1,08 \cdot (45 - 40) + 6,30 \cdot (60 - 45) \approx 100 \text{ mm}$ (kaava 5.1S)

Alapaarteen alapinnasta hiiltyy noin 100 mm alapuolisen 60 minuutin palon aikana, jolloin nimellinen jäännöspoikkileikkaus on 45 x 400.



6.1.1 Kun NR-ristikon toimintakyky ei säily koko palonkestoajaa (alapuolinen palo)

Tapauksessa, jossa NR-ristikko menettää toimintakykynsä, mitoitetaan yläpohjan kantavuus alapaarteena toimivan palkin varaan.

Taivutuskestävyys

$$M_{f_i, \max} = \frac{p_{f_i} \cdot L^2}{8} \Rightarrow M_{f_i, \max} = \frac{1,72 \cdot 10^2}{8} = 21,5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d,f_i} = \frac{6 \cdot M_{f_i}}{b_{f_i} \cdot h_{f_i}^2} = \frac{6 \cdot 21,5 \cdot 10^6}{45 \cdot 400^2} = 18,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{d_{char}}{h} = \frac{100}{500} = 0,2 \text{ (palorasitus vetopuolella)}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$k_{mod,fi} = 0,9 \text{ (taulukko 5.4S)}$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{m,k,20}}{\gamma_{M,fi}} = 0,9 \cdot \frac{45,5}{1,0} = 40,95 \text{ N/mm}^2 \text{ (kaava 2.1)}$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} \leq f_{m,d,fi} \Rightarrow 18,0 \text{ N/mm}^2 < 40,95 \text{ N/mm}^2 (44 \% \text{ OK kestää})$$

Taivutusjännitys jäi 60 min palorasituksen jälkeen paljon pienemmäksi kuin taivutuskestävyys, joten palkki kestää suuremman palorasituksen (mitoitusmenetelmän soveltaminen varmallalla puolella).

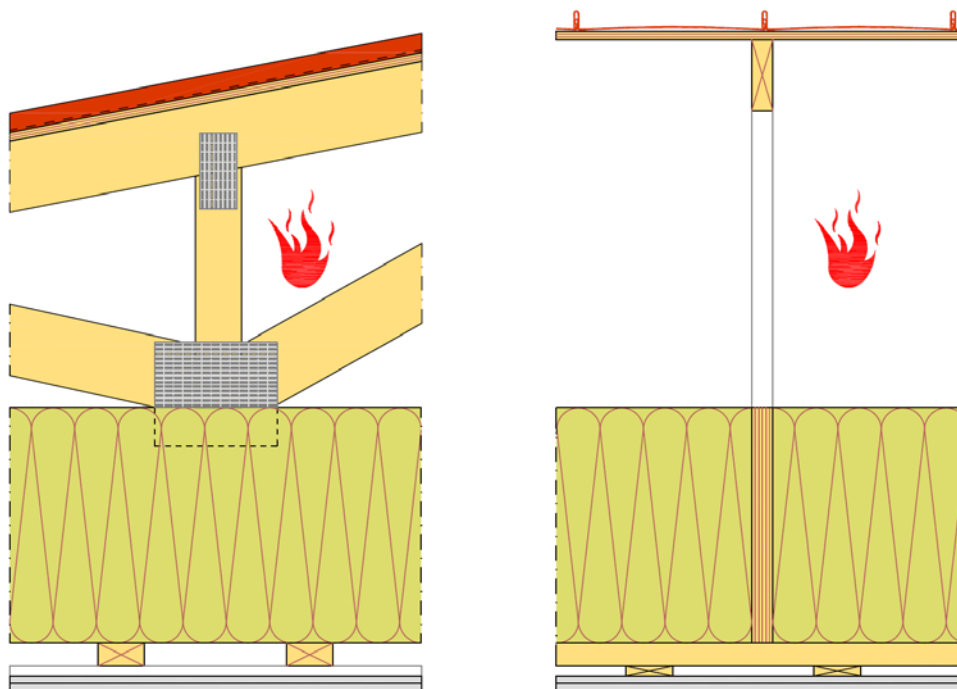
6.1.2 Kun NR-ristikon toimintakyky säilyy koko palonkestoajan (alapuolinen palo)

Tapauksessa, jossa alapaarteen naulalevyt ovat suojattuna koko palonkestoajan, toimii NR-ristikko ristikkona, jonka alapaarteen alapinnasta on hiiltynyt 100 mm (nimellinen jäännöspoikkileikkaus 45x400). Tässä tapauksessa NR-ristikkosuunnittelija mitoittaa ristikon siten, että alapaarteen hiiltymä huomioidaan mitoituksessa. Päärakennesuunnittelija esittää hiiltymissyvyyden NR-ristikon tilauskaaviossa ja selostaa muutenkin NR-ristikon oletetun toiminnan palotilanteessa.

6.2 TEHOLLINEN POIKKILEIKKAUS (yläpuolinen palo)

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-2-2009)

Yläpuolisessa palossa NR-ristikko menettää toimintakykynsä, joten yläpohjan kantavuus mitoitetaan alapaarteen varaan. Tarkastellaan alapaarteen hiiltymistä yläpuolisessa 60 minuutin palossa. Alapaarteiden välissä on 500 mm levykivillää 30 kg/m³, joka suojaa alapaarteen pystysuuntaisia sivuja koko vaaditun palonkestoajan. Kivivillalevyt kannatetaan alakatossa olevalla koolauksella, joka ei altistu palolle yläpuolisessa palossa.



Määritetään alapaarteen tehollinen hiiltymissyvyys, kun alapaarre hiiltyy yläpinnasta. Oletetaan, että yläpaarteen päällä ei ole mitään palosuojaukseen (levyvillan päällä oleva mahdollinen puhallusvilla ei pysy paikoillaan palossa), joten hiiltyminen alkaa suoraan puupinnalta.

Nimellinen hiiltymissyvyyden mitoitusarvo

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ mm} \quad (\text{kaava 3.2})$$

Tehollinen hiiltymissyvyys

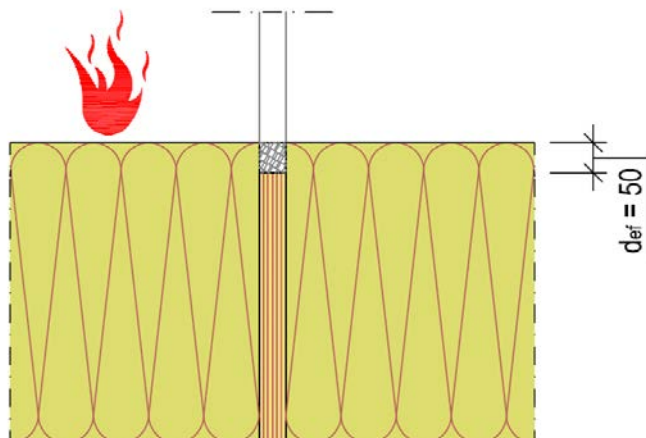
$$t \geq 20 \text{ min}$$

$$k_0 = 1,0 \quad (\text{taulukko 4.1})$$

$$d_0 = 7,0 \text{ mm} \quad (\text{luku 4.2.2})$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 42 + 1,0 \cdot 7 = 49 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm} \quad (\text{kaava 4.1})$$

Alapaarteen yläpinnasta hiiltyy noin 50 mm yläpuolisen 60 minuutin palon aikana, jolloin tehollinen poikkileikkaus on 45 x 450.



6.2.1 NR-ristikon toimintakyky ei säily koko palonkestoaikaa (yläpuolinen palo)

Tapauksessa, jossa NR-ristikko menettää toimintakykynsä, mitoitetaan yläpohjan kantavuus alapaarteena toimivan palkin varaan.

Taivutuskestävyys

$$M_{fi,max} = \frac{p_{fi} \cdot L^2}{8} \Rightarrow M_{fi,max} = \frac{1,72 \cdot 10^2}{8} = 21,5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{6 \cdot M_{fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = \frac{6 \cdot 21,5 \cdot 10^6}{45 \cdot 450^2} = 14,2 \text{ N/mm}^2$$

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

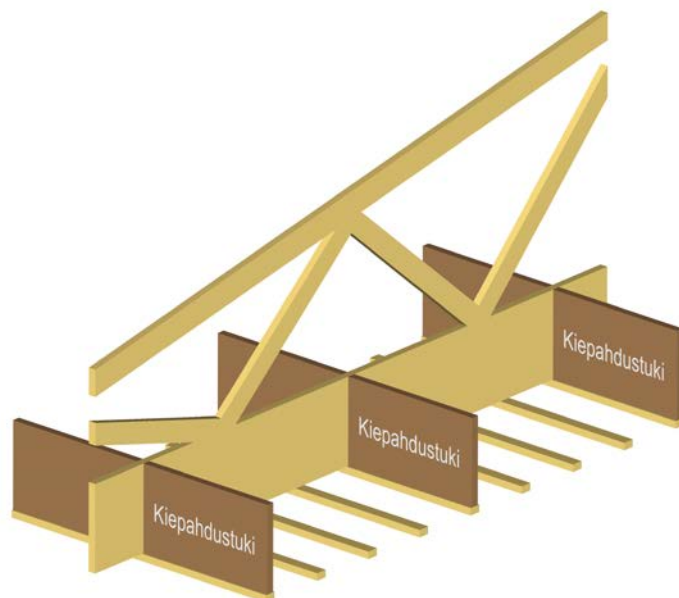
$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{m,k,20}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \cdot \frac{45,5}{1,0} = 45,5 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 2.1})$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} \leq f_{m,d,fi} \Rightarrow 14,2 \text{ N/mm}^2 < 45,5 \text{ N/mm}^2 (31 \% \text{ OK kestä})$$

6.3 KIEPAHDUSKESTÄVYYS (alapuolinen palo)

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-1-2009)

Kohdista 6.1.1 ja 6.2.1 havaitaan, että alapuolinen palo on määräävä tapaus taivutuskestävyyden kannalta. Alapaarteen kiepahdustukien jako $a = 1000$ mm. Kiepahdustukina käytetään alapaarteiden väliin asennettuja palkkeja.



$$\ell_{ef,fi} = a + 2 \cdot h_{fi} = 1000 + 2 \cdot 400 = 1800 \text{ mm} \quad (\text{luku 6.3.3}) \quad (\text{käytetään } a\text{-mittaa sellaisenaan} \rightarrow \text{varmalla puolella})$$

$$c = 0,58$$

$$\sigma_{m,crit,fi} = \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot \ell_{ef,fi}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,58 \cdot 45^2}{400 \cdot 1800} \cdot 11600 = 18,9 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 6.31.1S})$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{k_h \cdot f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,fi}}} = \sqrt{\frac{0,94 \cdot 44}{18,9}} = 1,48 \quad (\text{kaava 6.30})$$

$$k_{crit,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} = \frac{1}{1,48^2} = 0,46 \quad (\text{kaava 6.34})$$

$$M_{fi,max} = \frac{p_{fi} \cdot L^2}{8} \Rightarrow M_{fi,max} = \frac{1,72 \cdot 10^2}{8} = 21,5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{6 \cdot M_{fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = \frac{6 \cdot 21,5 \cdot 10^6}{45 \cdot 400^2} = 18,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{d_{char}}{h} = \frac{100}{500} = 0,2 \quad (\text{palorasitus vedetyllä puolella})$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$k_{mod,fi} = 0,9 \quad (\text{taulukko 5.4S})$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{m,k,20}}{\gamma_{M,fi}} = 0,9 \cdot \frac{45,5}{1,0} = 40,95 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 2.1})$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} \leq k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi} \Rightarrow 18,0 \text{ N/mm}^2 < 0,46 \cdot 40,95 \text{ N/mm}^2 = 18,8 \text{ N/mm}^2 \quad (96 \% \text{ OK kestä}) \quad (\text{kaava 6.33})$$

6.4 ALAPAARTEEN TAIPUMA (alapuolinen palo)

Taipumaa ei yleensä tarvitse tarkastaa palotilanteessa ellei siitä ole vaaraa muille rakenteille ja rakenteiden palosuojauksille. Tarkastetaan kuitenkin alapaarteen taipuma varmuuden vuoksi. Kohdista 6.1.1 ja 6.2.1 havaitaan, että alapuolinen palo on määräävä tapaus taipuman kannalta.

Taipuma tasaisesta kuormasta

$$I_{y,fi} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = \frac{45 \cdot 400^3}{12} = 240 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\omega_{fi} = \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{fi} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I_{y,fi}} \Rightarrow \frac{5}{384} \cdot \frac{1,72 \cdot 10000^4}{13800 \cdot 240 \cdot 10^6} = 68 \text{ mm}$$

6.5 LEIKKAUSKESTÄVYYS

Ei tarvitse tarkastaa palotilanteessa, koska palkin poikkileikkaus on suorakaide (ks. RIL 205-2-2009 luku 4.3.1).

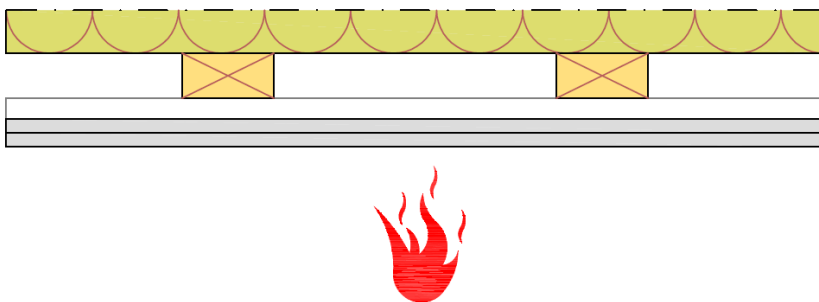
6.6 TUKIPAINEKESTÄVYYS

Ei tarvitse tarkastaa palotilanteessa (ks. RIL 205-2-2009 luku 4.3.1).

7 KIVIVILLALEVYJEN KANNATUSKOOLAUKSEN MITOITUS

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-2-2009)

Tarkastellaan alapaarteen alapinnassa olevan koolauksen hiiltymistä alapuolisessa 60 minuutin palossa, kun alakatossa on tavallinen kipsikartonkilevy 13 mm + palokipsilevy 15 mm (palon puolella).



Koolaus hiiltyy kolmelta sivulta samanaikaisesti, koska koolaus on tyhjässä ontelossa.

Nimellinen hiiltymisnopeus ennen levyjen murtumista

- hiiltymisen alkaa ennen levytyksen murtumista, koska levytyksessä käytetään palokipsilevyä

$$k_2 = 0,85 \quad (\text{taulukko 5.7})$$

$$\beta_n = 0,80 \text{ mm/min} \quad (\text{taulukko 3.2})$$

$$\beta_{n2} = k_2 \cdot \beta_n = 0,85 \cdot 0,80 = 0,68 \text{ mm/min} \quad (t_{ch} \leq t \leq t_f) \quad (\text{kaava 5.4S})$$

Nimellinen hiiltymisnopeus levyjen murtumisen jälkeen

$$k_3 = 2,0 \quad (\text{taulukko 5.7})$$

$$\beta_n = 0,80 \text{ mm/min} \quad (\text{taulukko 3.2})$$

$$\beta_{n3} = k_3 \cdot \beta_n = 2,0 \cdot 0,80 = 1,6 \text{ mm/min} \quad (t > t_f) \quad (\text{kaava 5.5S})$$

Nimellinen hiiltymissyvyyden mitoitusarvo

$$\beta_{n2} = 0,68 \text{ mm/min}$$

$$t_f = 45 \text{ min} \quad (\text{taulukko 5.7})$$

$$t_{ch} = 40 \text{ min} \quad (\text{taulukko 5.7})$$

$$\beta_{n3} = 1,60 \text{ mm/min}$$

$$t = 60 \text{ min}$$

$$t_a = \frac{25 - (t_f - t_{ch}) \cdot k_2 \cdot \beta_n}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f = \frac{25 - (45 - 40) \cdot 0,85 \cdot 0,80}{2 \cdot 0,80} + 45 = 58,5 \text{ min} \quad (\text{kaava 3.9})$$

t_a = aika, jolloin hiiltymisen on edennyt 25 mm:n syvyyteen ja hiiltymisnopeus palautuu normaaliksi.

$$d_{char,n} = \beta_{n2} \cdot (t_f - t_{ch}) + \beta_{n3} \cdot (t_a - t_f) + \beta_n \cdot (t - t_a) \quad (\text{kaava 5.3S})$$

$$d_{char,n} = 0,68 \cdot (45 - 40) + 1,60 \cdot (58,5 - 45) + 0,80 \cdot (60 - 58,5) = 26,2 \text{ mm}$$

Tehollinen hiiltymissyvyys

$$t \geq 20 \text{ min ja } t > t_{ch}$$

$$k_0 = 1,0 \quad (\text{taulukko 4.1})$$

$$d_0 = 7,0 \text{ mm} \quad (\text{luku 5.2.2S})$$

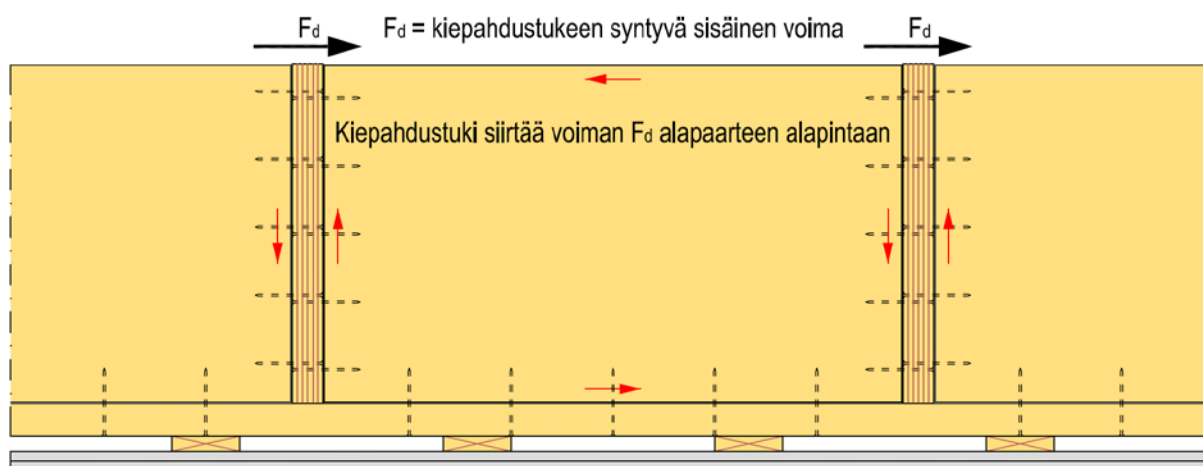
$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 26,2 + 1,0 \cdot 7 = 33 \text{ mm} \quad (\text{kaava 5.2S})$$

Valittu koolauspuu 98x48 on riittävä, koska 60 min palon jälkeen siitä jää jäljelle jäännöspoikkileikkaus 46x22 ja tehollinen poikkileikkaus 32x15, jonka voidaan olettaa kantavan kivivillalevyt ajanhetkellä 60 min.

Käytännön toteutusratkaisuissa on suositeltavaa käyttää alakatossa 15 mm + 15 mm palokipsilevytystä, jolloin puurakenteet on palosuojattu 60 minuuttiin. Tällöin puurakenteissa ei tapahdu hiiltymää 60 minuutin palon aikana, jolloin alakaton koolauksena voidaan käyttää tavallista lautakoolausta.

8 KIEPAHDUSTUENNAN TOTEUTUS

Kohdassa 6.3 tarkastettiin alapaarrepalkin kiepahduskestävyys. Laskelmasta voidaan tehdä johtopäätös, että alapaarrepalkki tarvitsee aina kiepahdustuennan. Kiepahdustuenta voidaan toteuttaa erilaisilla tavoilla, mutta luonteva tapa sen toteuttamiseen on alla olevassa kuvassa esitetty menetelmä. Tällöin kiepahdustuenta liitoksineen on palosuojattuna ja se hiiltyy ylä- ja/tai alapinnastaan riippuen alakaton levytyksen palosuojauskyvystä. Kiepahdustuet siirtävät voiman F_d alapaarteen alapintaan, josta se johdetaan jäykisteelle tai alakattolevytykselle, mikäli levytys on palotilanteessa toimintakykyinen levyjäykisteeksi.



9 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUSRATKAISU

NR-ristikkoyläpohjan alakattolevytyks on järkevää tehdä siten, että se kestää koko palonkestoajan. Tällöin saavutetaan seuraavat edut:

- alakaton koolauksena voidaan käyttää lautaa (ei tarvitse palomitoitusta)
- NR-ristikko toimii alapuolisessa palossa ristikkona (ei tarvitse palomitoitusta alapuoliselle palolle)
- kiepahdustuenta tarvitaan vain yläpuolista paloa varten
- kiepahdustuennan toteutus on yksinkertaista, koska alakattolevytyks vastaanottaa alapaarteiden välissä olevien kiepahdustukien voimat (alakattolevytyks ei altistu palolle yläpuolisessa palossa)
- käyttötaposastointi huoneiston ja ullakon välillä toteutuu automaattisesti.