



# NR-rakenteiden alapaarten ja alapaarrelitosten palotarkastelut

Kasimir Kesälahti

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talorakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

KESÄLAHTI, KASIMIR  
NR-rakenteiden alapaarten ja alapaarrelliitosten palotarkastelut

Opinnäytetyö 51 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Toukokuu 2020

---

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena oli tutustua NR-rakenteiden palotilanteen toimintaan ja selvittää, miten palotilanteen liitosmitoitusta toteutetaan ja mitoitetaan. Tärkeimpänä asiana oli saada toteutettua Sweco Rakennetekniikka Oy:n ristikoita suunnittelevalle osastolle työkalu, joka helpottaa ja nopeuttaa taitteellisten ristikoiden liitosmitoitusta palotilanteessa. Liitosten toteuttamiseen etsittiin vastauksia kirjallisuudesta.

Työssä lähdettiin liikkeelle palotilanteen perusasioista, kuten erilaisista palomääräyksistä ja paloluokista, jotta saataisiin ymmärrys, mihin rakenteiden suunnittelun tulee perustua. Erityisesti kiinnitettiin huomiota NR-rakenteiden toimintaan ja niitä koskeviin säädöksiin palotilanteessa. Viimeisissä luvuissa käytiin mitoitusterusteita läpi ja lopuksi työssä esitettiin polku, kuinka taitteellisen ristikon liitosmitoitusta tulee toteuttaa käyttäen NR-suunnitteluohjelmaa, sekä taitteellisia ristikoita varten muokattua Exceliä hyödyksi.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin NR-osastolle työkalu, joka helpottaa ja nopeuttaa taitteellisten ristikoiden liitosmitoitusta. Palotilanteen liitosasioihin jäi vielä paljon lisää kehitettävää ja tutkittavaa. Voidaankin todeta, että liitosasioiden palomitoitus on hyvinkin haastava asia ja siihen tarvitsee perehtyä vielä enemmän jatkossakin, jotta saadaan kehitettyä entistä paremmat työkalut suunnittelun tueksi.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

KESÄLAHTI, KASIMIR

Fire resistance in the Design of Lower Girder and Lower Girder Joints of Truss structures

Bachelor's thesis 51 pages, appendices 0 pages  
April 2020

---

The main purpose of this thesis was to examine the operation of truss structures in a fire situation, and to find out how a fire situation is taken into account in the dimensioning and implementation of joints. The most important objective was to implement a tool for the department of Sweco Structures Ltd, which focuses on designing wooden trusses. The goal was to make truss designing faster and more effective. Data on implementation methods was collected by a literature review.

The thesis begins with an investigation on the basics of fire situations, such as different fire regulations and fire classes, in order to gain understanding of what the design of structures should be based on. Particular attention was paid to the operation of truss structures and the related regulations concerning fire situations. In the last sections, the dimensioning criteria are reviewed, and a discussion is given on how the joint dimensioning of the folded truss should be implemented with the help of a truss designing program and the benefits of using Excel sheets.

As a result of the thesis, a tool was obtained for the Truss design department that facilitates and speeds up the joint sizing of folded trusses. There is still much more to be developed and researched in connection with the fire situation. It can be said that dimensioning joints to combat fire situations is a very challenging issue and needs to be studied even more in the future in order to develop better tools to support the design.

---

Key words: truss structure, truss, fire, fire situation

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	PALOLUOKITUS JA PUUN TOIMINTA TULIPALOSSA.....	6
	2.1 Palo-osastointi ja rakenteisiin liittyvät luokat .....	7
	2.2 Rakennustarvikkeille asetetut vaatimukset .....	10
	2.3 Puun toiminta palotilanteessa .....	12
	2.4 Puun palo-ominaisuuksien parantaminen .....	13
3	NR-RAKENTEITA KOSKEVAT PALOTURVALLISUUS JA SUUNNITTELUASIAAT .....	15
	3.1 NR-rakenteen puutavaralle asetetut vaatimukset.....	15
	3.2 Naulalevyille esitetyt vaatimukset.....	15
	3.3 NR-rakenteen palotilannetta koskevat säännöt.....	16
4	NR-RAKENTEEN TOIMINTA TULIPALOSSA .....	17
	4.1 Yläpuolinen palo.....	17
	4.2 Alapuolinen palo.....	18
	4.3 Paloristikko.....	19
5	RAKENTEEN PALOMITOITUKSEN PERIAATTEET.....	22
	5.1 Rakenteen mitoitusarvot .....	24
6	LIITOSTEN PALOMITOITUKSEN PERIAATTEET .....	27
	6.1 Palosuojatut liitokset .....	30
	6.2 Teräslevy puukappeleiden välissä .....	31
7	TAITTEELISEN RISTIKON MITOITUKSEN OHJE JA ESIMERKKI ...	33
	7.1 Liitosvanerin mitoitus.....	36
	7.1.1 Liitosvanerin taivutusmitoitus.....	36
	7.1.2 Liitosvanerin vetokestävyys .....	37
	7.1.3 Liitosvanerin leikkauskestävyys.....	37
	7.2 Mitoittava naularasitus .....	38
	7.2.1 Naulan kestävyys .....	41
8	LASKENTAPOHJA JA SEN KÄYTTÖ .....	43
9	POHDINTAA.....	50
	LÄHTEET.....	51

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää naulalevyristikon alapaarteen ja alapaarrelliitosten toimintaa palotilanteessa, sekä tutkia ja selvittää rakennuksille ja rakenteille asetetut palovaatimukset. Tarkoituksena on myös esittää palotilanteen mitoituksen perusteet ja peruseriaatteet, sekä esittää taitteellisen liitoksen esimerkkilaskelma.

Työssä esitetään rakennuksille asetettuja palovaatimuksia. Selvitetään naulalevyristikoiden toiminta ylä- ja alapuolisessa palotilanteessa, sekä esitetään tavat, miten NR-rakenteilla saavutetaan vaadittu palonkesto-aika. Työssä esitetään myös yleiset vaatimukset naulalevyristikoiden puutavaran, naulalevyjen ja itse rakenteen mitoittamiseen liittyen.

Työn tärkeimpänä tavoitteena on esittää jo edellä mainittuun taitteelliseen liitokseen selkeä ohje NR-suunnittelijoille, jotta saadaan yhtenäinen linja mitoitukseen. Opinnäytetyössä esitetään esimerkki kyseisen liitoksen mitoitukseen alusta loppuun, jossa esitetään muun muassa voimasuureiden selvittäminen mitoitusohjelmasta, sekä itse liitoksen mitoituksen kulku.

## 2 PALOLUOKITUS JA PUUN TOIMINTA TULIPALOSSA

Suomessa rakennuksissa käytetään kolmea eri paloluokkaa. Luokat ovat P1, P2 ja P3. Luokista P1 on kaikista tiukin vaatimuksiltaan. Paloluokka määräytyy rakennuksen koon ja käyttötavan mukaan. Omakotitalot ja rivitalot kuuluvat tavallisesti luokkaan P3, jossa rakenteille ei aseteta erityisvaatimuksia palonkeston suhteen. Eli suurin osa NR-rakenteistakin kuuluu P3 paloluokkaan, sillä suurin osa kohteista on pientaloja ja rivitaloja. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma)

Rakennuksen, joka kuuluu luokkaan P1 oletetaan kestävän tulipalossa sortumatta. Luokkaan P2 kuuluva rakennus on paloteknisiltä vaatimuksiltaan P1 luokkaa löyhempi. Haluttu turvallisuustaso toteutetaan asettamalla vaatimuksia pintamateriaaleille, sekä käyttämällä paloturvallisuutta parantavia laitteita, kuten esimerkiksi sprinklereitä. P3 luokan rakennuksille ei ole asetettu erityisvaatimuksia palonkeston suhteen. Turvallisuustaso saavutetaan rajoittamalla käyttötappaa ja kokoa. Olemassa on myös P0 luokka, joka tarkoittaa, että rakennus suunnitellaan kokonaan tai suurelta osin käyttäen oletettuun palonkehitykseen liittyvää menettelytapaa. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma)

TAULUKKO 3.2.1	RAKENNUKSEN KOKOA KOSKEVAT RAJOITUKSET		
Rakennuksen ominaisuus	Rakennuksen paloluokka		
	P1	P2	P3
<b>KERROSLUKU</b>			
- yleensä	ei rajoitusta	enintään 2	enintään 2
- asuinrakennus, työpaikkarakennus	ei rajoitusta	enintään 8	enintään 2
- tuotanto- tai varastorakennus, autosuoja	ei rajoitusta	enintään 2	enintään 1
<b>KORKEUS</b>			
- yleensä	ei rajoitusta	enintään 9 m	enintään 9 m
- asuinrakennus, työpaikkarakennus 3–4 krs.	ei rajoitusta	enintään 14 m	<i>ei sallittu</i>
- asuinrakennus, työpaikkarakennus 5–8 krs.	ei rajoitusta	enintään 26 m	<i>ei sallittu</i>
- yksikerroksinen tuotanto- tai varastorakennus	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 14 m
<b>KERROSALA</b>			
Kerrosala yleensä			
- yksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 2400 m <sup>2</sup>
- kaksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 1600 m <sup>2</sup>
- yli kaksikerroksinen	ei rajoitusta	enintään 12 000 m <sup>2</sup>	<i>ei sallittu</i>
Kerrosala tuotanto- ja varastorakennuksissa sekä autosuojissa			
- yksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei rajoitusta
- kaksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	<i>ei sallittu</i>
<b>Selostus</b>	<i>Rakennuksen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkausviivan korkeus maan pinnasta (MRA 58 §). Tarvittaessa lasketaan rakennuksen nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo.</i>		

KUVA 1 Rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset

Palokuormaryhmiä on kolme. Ryhmät määritellään palo-osaston käyttötarkoituksen mukaan tai se määritetään erikseen laskemalla. Ensimmäinen on alle  $600 \text{ MJ/m}^2$ , seuraava ryhmä on vähintään  $600 \text{ MJ/m}^2$ , mutta enintään  $1200 \text{ MJ/m}^2$ . Viimeinen ryhmä on yli  $1200 \text{ MJ/m}^2$ . Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat pääsääntöisesti asunnot, majoitustilat, hoitolaitokset jne. Toiseen luokkaan kuuluvat irtaimistovarastot, enintään 50 neliön varastot, sekä erilaiset moottoriajoneuvojen huolto- ja korjaustilat. Erilaisten tuotanto ja varastotilojen palokuorma määritetään tapauskohtaisesti. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma)

Rakennukset jaetaan eri ryhmiin niiden pääkäyttötavan perusteella. Ryhmät ovat: asunnot, majoitustilat, hoitolaitokset, kokoontumis- ja liiketilat, työpaikkatilat, tuotanto- ja varastotilat sekä autosuojat. Ryhmittely perustuu ajankohtiin, jolloin tiloja käytetään, sekä siihen, että kuinka hyvin käyttäjät tuntevat tilat ja osaavat pelastautua omatoimisesti. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma)

## **2.1 Palo-osastointi ja rakenteisiin liittyvät luokat**

Palo-osastointi tulee yleensä kyseeseen kaikissa rakennuksissa. Palo-osastointi tehdään rajoittamaan tulipalon ja siitä aiheutuvien savujen leviämistä varten. Osastoinnilla pyritään myös helpottamaan pelastustoimien tekemistä. Eri kerrokset ovat yleensä automaattisesti omia palo-osastojaan. Suurien omaisuusvahinkojen välttämiseksi pyritään osastot rajoittamaan sopivan kokoisiksi. Yleisimpiä palo-osastoja ovat asunhuoneistot, kattilahuoneet, sekä porrashuoneet. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma)

Käyttötapa	PALO-OSASTON ENIMMÄISALA		
	Rakennuksen paloluokka		
	P1	P2	P3
<b>KERROKSET</b>			
Asuinrakennukset	osastointi huoneistoittain	osastointi huoneistoittain	osastointi huoneistoittain
Majoitustilat ja hoitolaitokset			
- yöpymistilat	800 m <sup>2</sup>	800 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>
- muut tilat	1600 m <sup>2</sup>	1600 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>
Kokoontumis- ja liiketilat sekä työpaikkatilat	2400 m <sup>2</sup>	2400 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>
Tuotanto- ja varastotilat sekä autosuojat	harkinnan mukaan <sup>1)</sup>	harkinnan mukaan <sup>1)</sup>	harkinnan mukaan <sup>1)</sup>
<b>ULLAKOT JA YLÄPOHJAN ONTELOT</b>	1600 m <sup>2</sup>	1600 m <sup>2</sup>	alapuolisten osastojen mukaan <sup>2)</sup>
<b>KELLARIT</b>	800 m <sup>2</sup>	800 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>
<b>Taulukon huomautukset</b>	<sup>1)</sup>	Tuotanto- ja varastotilojen ohjeet ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E2 sekä autosuojien ohjeet osassa E4.	
	<sup>2)</sup>	Asuinrakennuksessa voidaan erityisestä syystä korvata palo-osastoinnilla enintään 200 m <sup>2</sup> osastoihin.	

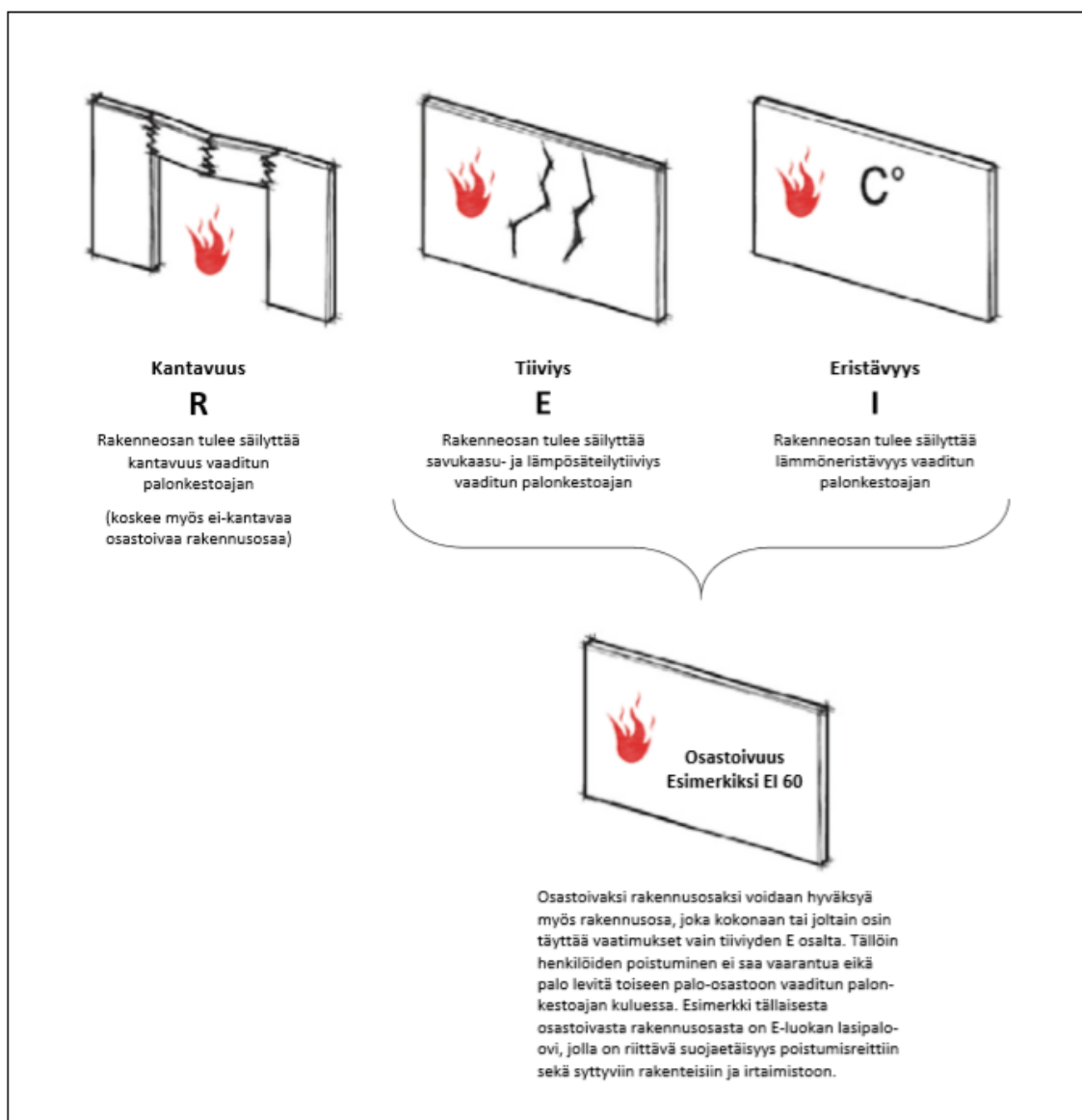
## KUVA 2 Palo-osastojen enimmäisala

Tärkeimpiä rakennusosiin liittyviä luokkia ovat: R kantavuus, E tiiveys, EI tiiveys ja eristävyys. Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset määräytyvät rakennuksen paloluokan mukaan. Vaateet ilmoitetaan R:n perässä lukuarvona 15:sta aina 240 minuuttiin asti. Myös luokille E ja EI ilmoitetaan aikavaatimus lukuarvona heti kirjaimen jälkeen. Aikavaatimus tarkoittaa aikaa, jonka rakenteen täytyy kestää sille tarkoitettussa tehtävässä palotilannetta vastaan. Jos rakennukselta vaaditaan suurempaa kestävyyttä tiiveyden ja eristävyys suhteen, kuin kantavuuden, niin on kantavuuden suhteen myös käytettävä pidempää kestävyyttä. Alla olevassa kuvassa (kuva 3) on esitetty palokuormaryhmät, sekä rakennusten paloluokat ja rakenteiden kantavuus vaatimukset. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma)



Rakennus	Rakennuksen paloluokka ja palokuormaryhmät MJ/m <sup>2</sup>			
	P1			P2
	yli 1 200	600–1 200	alle 600	-
<b>1–2-kerroksinen rakennus, yleensä</b>	R 120 (R60 *)	R 90 (R60 *)	R 60	R 30
- hoitolaitokset, majoitustilat	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 30
- ylin kellarikerros	R 120, A2 (R90 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60, A2
- yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne on kantavan rungon olennainen osa <sup>1)</sup>	R 60	R 60	R 60	R 30
- yksikerroksinen tuotanto- ja varastorakennus	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 30 (R15 *) (R15, A2)
- yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne ei ole kantavan rungon olennainen osa <sup>1)</sup>	* R 15	R 15	R 15	R 15
<b>Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on enintään 28 m, yleensä</b>	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * # <sup>3) 4)</sup>
- ylin kellarikerros	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * A2
- asuinrakennus, asunto, ylin kerros	R 60 +	R 60 +	R 60 +	R 60 * # <sup>3)</sup>
- asuinrakennus, asunto, kaksi ylintä kerrosta <sup>2)</sup>	R60 * #	R60 * #	R60 * #	R 60 * # <sup>3)</sup>
- yli 2-kerroksinen asuinrakennus, jonka korkeus on enintään 14 m ja jonka kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan huoneistoon	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45 # (R30 * #)
<b>Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on yli 28 m mutta enintään 56 m</b>	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2 (R90 *, A2)	ei mahdollinen
<b>Yli 2-kerroksinen rakennus jonka korkeus on yli 56 m</b>	R180 *, A2	R120 *, A2	R 120 *, A2	ei mahdollinen
<b>Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset</b>	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2	R 120, A2 (R90 *, A2)
<p>Parvekkeiden palonkestävyysaika vaatimus on puolet kerroksen kantavien rakenteiden vaatimuksesta. Kantavien rakenteiden on oltava vähintään D-s2, d2 -luokan tarviketta, ellei taulukossa toisin mainita. Uloskäytävän porrassyöksen ja -tasanteen luokkavaatimus on R 30. Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevan kellarikerroksen uloskäytävän porrassyöksen ja -tasanteen luokkavaatimus on R 60. Jos kantaville rakenteille on asetettu luokkavaatimus A2-s1, d0, tämä koskee myös porrassyöksiä ja -tasanteita. Yli 2-kerroksisen P1-paloluokan rakennuksen uloskäytävän porrassyökset ja -tasanteet on tehtävä vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista.</p> <p>Ullakon tai ontelon vesikattorakenteille, jotka eivät ole rakennuksen rungon olennaisia kantavia tai palossa runkoa jäykistäviä rakenteita, ei aseteta palonkestävyysvaatimusta.</p> <p><sup>1)</sup> Kantavan rungon tai jäykisteiden olennaisia osia ovat pääkannattajat, runkoa jäykistävät sekundäärikannattajat ja yläpohjan jäykisteet ja muut sellaiset yksittäiset rakenteet, jotka toimivat yläpohjan stabiliteetin säilyttämiseksi, sekä näiden väliset liitokset.</p> <p><sup>2)</sup> Kun kolme ylintä kerrosta, lukuun ottamatta uloskäytävää, on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.</p> <p><sup>3)</sup> Huom. 24 § 3 momentissa esitetyt vaatimukset.</p> <p><sup>4)</sup> Jos käyttötarkoituksen mukainen palokuormaryhmä on 600–1 200 MJ/m<sup>2</sup>, luokkavaatimus on R 90 * # <sup>3)</sup></p> <p>* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.  # Lämmöneristeiden ja muiden täytteiden on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokkaa.  + Lämmöneristeiden ja muiden täytteiden on oltava eristävältä osaltaan vähintään D-s2, d2 -luokkaa.  A2 Kantavien rakenteiden on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokkaa.</p>				

KUVA 3 Rakennuksen paloluokka ja palokuormaryhmät



KUVA 4 Rakenteille asetetut palotilanteen vaatimukset

## 2.2 Rakennustarvikkeille asetetut vaatimukset

Rakennustarvikkeet jaetaan seitsemään eri luokkaan. Luokat ovat seuraavat:

- A1 tarvikkeet eivät osallistu paloon ollenkaan
- A2 tarvikkeet osallistuvat paloon erittäin rajoitetusti
- B tarvikkeet osallistuvat paloon hyvin rajoitetusti
- C tarvikkeet osallistuvat paloon rajoitetusti
- D tarvikkeiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä
- E tarvikkeet, joiden palokäyttäytyminen on hyväksyttävissä
- F tarvikkeet, joiden käyttäytyminen on määrittämättä

Alla olevassa kuvassa esitetyt vaatimukset eivät koske rakenteita, jotka ovat mitoitettu vähintään R30 luokan vaatimukselle. Eivätkä rakennusosia, jotka ovat pinta-alaltaan pieniä, kuten esimerkiksi ikkunat, ovet ja käsijohteet. Vaatimukset eivät myöskään koske esimerkiksi kipsilevyjen välisiä saumoja. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma)

TAULUKKO 8.2.2		SISÄPUOLISTEN PINTOJEN LUOKKAVAATIMUKSET		
Käyttötapa	Kohde	Rakennuksen paloluokka		
		P1	P2	P3
Asunnot	seinät ja katot	D-s2, d2 <sup>1)</sup>	B-s1, d0 <sup>2)</sup>	D-s2, d2 <sup>1)</sup>
	lattiat	-	-	-
Majoitustilat	seinät ja katot	D-s2, d2	B-s1, d0	D-s2, d2
	lattiat	-	-	-
Hoitolaitokset	seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	D-s2, d2
	lattiat	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1	-
Kokoontumis- ja liiketilät - palokuorma alle 600 MJ/m <sup>2</sup> ja - pinta-ala on ≤ 300 m <sup>2</sup>	seinät ja katot	D-s2, d2	D-s2, d2	D-s2, d2
	lattiat	-	-	-
	seinät ja katot	C-s2, d1	C-s2, d1	D-s2, d2
	lattiat	-	-	-
- palokuorma ≥ 600 MJ/m <sup>2</sup>	seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
	lattiat	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1	-
Työpaikatilat	seinät ja katot	D-s2, d2 <sup>1)</sup>	B-s1, d0 <sup>2)</sup>	D-s2, d2 <sup>1)</sup>
	lattiat	-	-	-
Tuotanto- ja varastotilat - palovaarallisuusluokka 1	seinät	D-s2, d2	D-s2, d2	D-s2, d2
	katot	D-s2, d2	B-s1, d0	D-s2, d2
	lattiat	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1	-
	seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
- palovaarallisuusluokka 2	lattiat	A2 <sub>F1</sub> -s1	A2 <sub>F1</sub> -s1	A2 <sub>F1</sub> -s1
	seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
Autokorjaamot ja -huoltamot, autosuojat (autosuojissa on lie- vennysmahdollisuus RakMK osan E4 mukaisesti)	seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
	lattiat	A2 <sub>F1</sub> -s1	A2 <sub>F1</sub> -s1	A2 <sub>F1</sub> -s1
Ullakot ja kellarit - käyttöullakot - käyttämättömät ullakot sekä matalat ullakkotilat ja ontelot - kellaritilat yleensä	lattiat	A2 <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1
	yläpohjan yläpinta	B-s1, d0	B-s1, d0	-
	seinät ja katot	C-s2, d1	B-s1, d0	D-s2, d2
	lattiat	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1
- teknisen huollon tilat	seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
	lattiat	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1
	kattilahuoneen lattiat	A2 <sub>F1</sub> -s1	A2 <sub>F1</sub> -s1	A2 <sub>F1</sub> -s1
Uloskäytävät	seinät ja katot	A2-s1, d0 <sup>3)</sup>	A2-s1, d0	B-s1, d0
	lattiat	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1
Sisäiset käytävät majoitus- ja työpaikkatiloissa	seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
	lattiat	D <sub>F1</sub> -s1	D <sub>F1</sub> -s1	-
Saunat	seinät ja katot	D-s2, d2	D-s2, d2	D-s2, d2
	lattiat	-	-	-
<b>Taulukon merkinnät:</b>	-	= ei vaatimusta		
<b>Taulukon huomautukset:</b>	<sup>1)</sup>	Vähäisiä osia seinäpintoista voidaan verhota luokkiin kuulumattomilla tarvikkeilla.		
	<sup>2)</sup>	Vähäisiä osia seinäpintoista voidaan verhota D-s2, d2-luokan tarvikkeilla. Koskee myös suojaverhottuja seinäiä. Seinä- ja kattopinnat voidaan verhota vähintään D-s2, d2-luokan tarvikkeilla, kun tila on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.		
		<b>Ohje</b> Automaattinen sammutuslaitteisto toteutetaan vähintään SFS-EN 12845 -standardin OH-luokan vaatimustason mukaan.		

KUVA 5 Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset

## 2.3 Puun toiminta palotilanteessa

Puu on paloturvallinen materiaali, vaikka se onkin palava materiaali. Puu palaa hitaasti, se hiiltyy noin 0,8 mm minuutissa. Tasaisen hiiltymisen takia puun kestävyys ja sortuminen on ennakoitavissa palotilanteessa. Puurakenteilla voidaan erilaisilla suojuuksilla saavuttaa jopa 120 minuutin palonkestoaika. Yleisiä suojaamistapoja on käyttää esimerkiksi erilaisia suojaverhouksia, kuten kipsilevyä suojaamaan itse puuta palolta. Yleisesti puun suojaamisessa käytetään myös isommissa kohteissa sprinklausta. (Puuinfo Paloturvallinen puutalo)

Syttyäkseen puu, kuten muutkin materiaalit tarvitsevat lämpöä ja happea. Syttymiseen olennaisesti vaikuttaa myös puun kosteuspitoisuus, sekä ympäröivän palon lämpötila. Palaessaan puu hiiltyy, kuten edelläkin on jo mainittu. Hiiltymisen hidastaa olennaisesti lämmön siirtymistä, minkä takia puu palkit tai pilarit eivät tarvitsekaan varsinaista palosuojausta, kunhan ne säilyttävät riittävän kantokyvyn tarvittavan ajan. (Puuinfo Paloturvallinen puutalo)

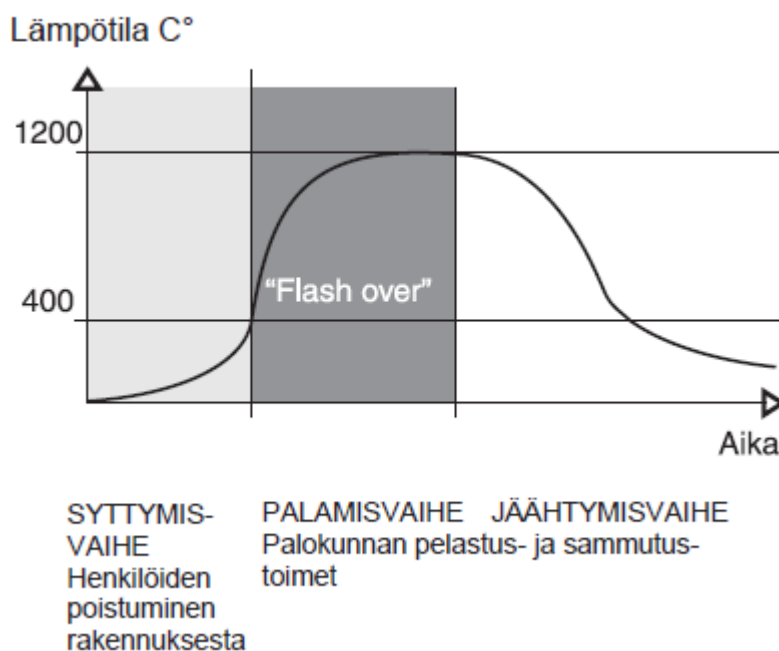
Taulukko 2. Puupohjaisten materiaalien hiiltymisnopeuden mitoitusarvoja.

TUOTE	PAKSUUS	OMINAISTIHEYD	YKSIDIMENSIONAALINEN HIILTÄMISNOPEUS $\beta_0$	NIMELLINEN HIILTÄMISNOPEUS $\beta_n$
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
Viilupuu EN 14374 (havupuu)		$\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65 mm/min	0,7 mm/min
Viilupuu EN 14374 (havupuu)		$\geq 410 \text{ kg/m}^3$	0,7 mm/min	0,75 mm/min
Vanerilevy EN 313-1	20 mm <sup>a)</sup>	450 kg/m <sup>3</sup> <sup>a)</sup>	1,0 mm/min	-
Lastulevy EN 309	20 mm <sup>a)</sup>	450 kg/m <sup>3</sup> <sup>a)</sup>	0,9 mm/min	-
Kova puukuitulevy EN 316	20 mm <sup>a)</sup>	450 kg/m <sup>3</sup> <sup>a)</sup>	0,9 mm/min	-
OSB-levy EN 300	20 mm <sup>a)</sup>	450 kg/m <sup>3</sup> <sup>a)</sup>	0,9 mm/min	-
Lautatavara EN 14081-1	20 mm <sup>a)</sup>	450 kg/m <sup>3</sup> <sup>a)</sup>	0,9 mm/min	-

<sup>a)</sup> Paksuuden ja/tai ominaistheyden poiketessa esitetyistä arvoista, määritetään hiiltymisnopeus ohjeen RIL 205-2-2009 kaavoilla 3.4 - 3.6.

## KUVA 6 Eri materiaalien hiiltymisnopeudet

Tulipalo tilanne on kolmivaiheinen. Vaiheet on kuvattu alla olevassa kuvassa (kuva 7).



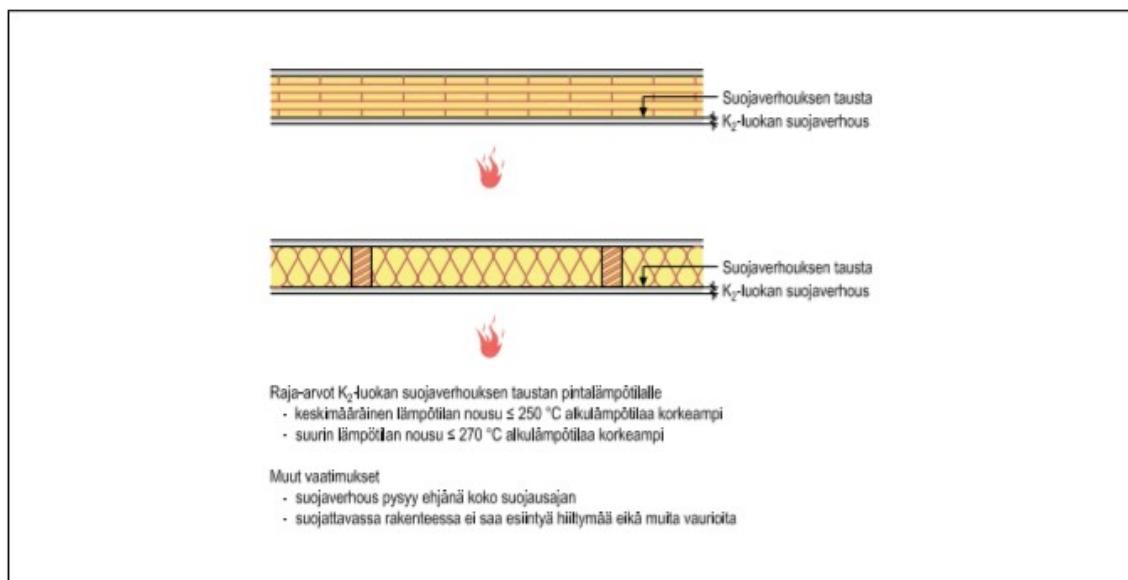
KUVA 7 Palon eri vaiheet

## 2.4 Puun palo-ominaisuuksien parantaminen

Puun palonkestoa voidaan parantaa muutamien eri tavoin. Yhtenä yleisimpänä tapana on käyttää suojaverhousa puun päällä. Yleisiä suojaverhous materiaaleja on kipsi ja erilaiset vanerit. Ne asennetaan suojaamaan puuta tulipalolta tarvittavan ajan verran. Niitä käytetään etenkin suojaamaan puussa olevia liitimiä, kuten ruuveja ja nauloja, jotka eivät kestä paloa yhtä hyvin. (Puuinfo Paloturvallinen puutalo)

Suojaverhouksen tarkoituksena on suojata puurakennetta tietyn ajan hiiltymistä, syttymistä ja muuta vaurioitumista vastaan. Euroopassa on käytössä neljä suojaverhousluokkaa. Ne ovat  $K_1 10$ ,  $K_2 10$ ,  $K_2 30$ ,  $K_2 60$ . Suomessa on suunnittelussa käytössä luokat  $K_2 10$  ja  $K_2 30$ . Alaindeksi k:n perässä viittaa takana olevaan materiaaliin. Alaindeksin ollessa 2 tarkoittaa se, että kyseistä suojaverhousmateriaalia voidaan käyttää kaikkien materiaalien päällä. Suojaverhousmateriaalin tulee säilyä ehjänä koko suojauksen ajan, jotta palo ei pääse leviämään. (Puuinfo Paloturvallinen puutalo)

Suojamiseen voidaan käyttää myös erilaisia palonestomaaleja. Joiden avulla puulle saadaan lisäaikaa 10...15 minuuttia paloa vastaan. Puurakenteita voidaan myös suojata erilaisilla palovilloilla, kuten esimerkiksi NR-yläpohjissakin käytetään suojaamaan ristikon alapaarretta palolta. (Puuinfo Paloturvallinen puutalo)



KUVA 8 K<sub>2</sub> suojaverhousluokalle esitetyt vaatimukset.

### **3 NR-RAKENTEITA KOSKEVAT PALOTURVALLISUUS JA SUUNNITTELUASIAIAT**

NR-rakenteita koskee käytännössä täysin samat säädökset, kuin muitakin puurakenteita. NR-rakenteiden mitoitukselle on esitetty erilaisia vaatimuksia liittyen puutavaran käyttöön, levytykseen ja myös muihin ristikon laskentaan vaikuttaviin asioihin. Suurin osa ristikoista kuuluu CC2 luokkaan. NR-rakenteiden suunnittelu perustuu Eurokoodi 5, josta on tehty myös erillinen sovellusohje NR-rakenteiden suunnitteluun. (Naulalevyrakenteiden suunnittelu, sovellusohje)

#### **3.1 NR-rakenteen puutavaralle asetetut vaatimukset**

Standardin EN 14250 mukaan NR-rakenteet, joilla on CE-merkintä, tulee valmistaa mitallistetusta ja lujuuslajitellusta puutavarasta. Myös LVL:n sekä liimapuun käyttö on sallittua, jos tuotteilla on ETA tai varmennustodistus. Sormijatkettua puutavaraa voidaan käyttää, kunhan ne ovat standardin EN 15497 mukaisia. LVL:n käytön edellytyksenä on myös, että käytettävillä naulalevyillä on suoritusosailmoitus tai naulalevylausunto, joka sallii kyseisen LVL:n käytön. (Naulalevyrakenteiden suunnittelu, sovellusohje)

Sahatavaran paksuudelle ja leveydelle on myös asetettu minimi vaatimukset. Jännevälin ollessa alle 18 metriä voidaan käyttää 42 mm paksua puutavaraa, mutta jännevälin ollessa yli 18 metriä käytetään minimissään 45 mm puutavaraa. Leveydelle asetetut vaatimukset ovat. Paarteet ja ulkosauvat saavat olla 68 mm, jos jänneväli on alle 5 metriä. Jännevälin ollessa yli 5 metriä täytyy puutavaran olla minimissään 90 mm. Sisäsauvoissa, jos jänneväli on alle 5 metriä, voidaan käyttää 58 mm puutavaraa ja jännevälin ollessa yli 5 metriä käytetään 68mm puutavaraa. Lisäksi, jos sauva on nurjahdustuettava, on sauvan leveyden oltava minimissään 120 mm. (Naulalevyrakenteiden suunnittelu, sovellusohje)

#### **3.2 Naulalevyille esitetyt vaatimukset**

Naulalevyille on esitetty vaatimukset standardissa EN 14545, jotka niiden tulee täyttää, sekä levyjen on oltava CE-merkittyjä. Naulalevyt tulee olla valmistettu ruutumattomasto teräksestä tai niiden tulee olla ruostesuojattuja. Levyjen tulee

olla vähintään kuumasinkittyjä tai sähkösinkittyjä, kun kyseessä on käyttöluokat 1 ja 2. Käyttöluokan 3 naulalevyjen tulee olla valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Ruostumatonta terästä tulee käyttää myös naulalevyissä, kun puutavara on käsitelty jollakin puunsuoja-aineella tai kyseessä on jokin tila, jossa esiintyy ammoniakkikaasuja, kuten esimerkiksi kanala tai sikala. (Naulalevyrakenteiden suunnittelu, sovellusohje)

### **3.3 NR-rakenteen palotilannetta koskevat säännöt**

NR-rakenne, joka on valmistettu suojaamattomin liitoksin, kestää paloa alle 10 minuuttia. Tämän syyn takia niitä voidaan käytännössä käyttää vain RakMK osan E1 mukaisissa P3 luokan rakennuksissa. NR-rakenteita voidaan käyttää P1 ja P2 luokan kantavana rakenteena, jos rakenne palosuojataan tai sen ylä- tai alapaarre kostuu yhtenäisestä puusta, ilman naulalevy jatkoksia. Yleensä alapaarre toteutetaan sahatavara tai Kertopuu palkkina. (Naulalevyrakenteiden suunnittelu, sovellusohje)

NR-rakenteen palosuojauksessa noudatetaan EN 1995-1-2 suunnittelustandardia, jolloin rakenne on suojattava koko palon ajalle. Rakenne voidaan myös toteuttaa toisin, jos siitä on jokin VTT:n antama lausunto. Yhteen niputetuissa ristikoissa ulompia ristikoita voidaan käyttää keskimmäisen ristikon palosuojauksena, jos niputuksen toteutustavasta on annettu jonkin VTT:n hyväksymän laitoksen lausunto. Esimerkiksi sellainen lausunto, jonka TTY on toteuttanut yhdessä ristikkotehtaiden ja Sweco Rakennetekniikan kanssa. (Löytyy osiosta 4.3). (Naulalevyrakenteiden suunnittelu, sovellusohje)

Palotilanteessa, jos paarre toimii palkkina, on sen puristusreuna nurjahdustettava. Nurjahdustukien on säilytettävä kapasiteettinsa koko palon ajan. Naulalevy jatkoksia voidaan käyttää alapaarreissa, mikäli paarre on kaksi- tai useampi aukkoinen, sekä se on suojattu kaikilta sivuiltaan koko palotilanteen ajaksi. Jatkokset täytyy sijoittaa mahdollisimman lähelle momentin nollakohtia. (Naulalevyrakenteiden suunnittelu, sovellusohje)



## 4 NR-RAKENTEN TOIMINTA TULIPALOSSA

NR-rakenne kestää tulipaloa huonosti johtuen siitä, että naulalevyliitos menettää lujuutensa noin 10 minuuttia palon alkamisesta. Tämän takia NR-rakenteita täytyy suojata tai palotilanteen kantaminen miettiä eri tavalla. Yksi vaihtoehto on mitoittaa ristikon alapaarre palotilanteessa kantavaksi ja toinen vaihtoehto on käyttää paloristikoita. (Puuinfo, Palonkestävä NR-yläpohja)

Taulukko 1.

Rakennuksen paloluokka	Tapaus	NR-yläpohjan paloluokka
P1	Max 2 krs. rakennus	R 60, R 90 tai R 120
P2	Kaikki rakennukset	R 30 tai R 60
P3	Kun yläpohja on osastoiva rakenne (kuvat 1 ja 2)	R 30

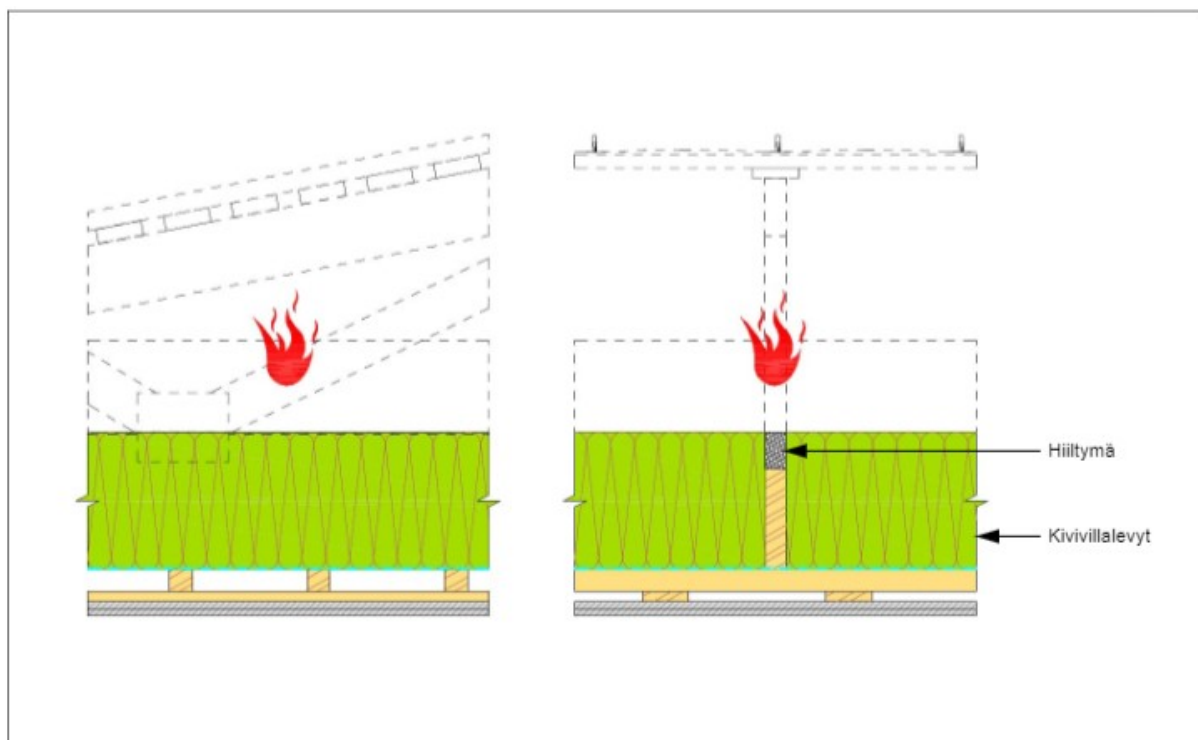
KUVA 9 Taulukko NR-rakenteiden paloluokista

### 4.1 Yläpuolinen palo

Palon tapahtuessa ullakolla, eli kun palo on kosketuksissa ristikon kanssa. Vaihtoehtona on käyttää kantavaa palopalkkia tai paloristikoita. Kantavassa palopalkissa ristikon sauvojen ja yläpaarten oletetaan palavan pois ja kaikki kanto mitoitetaan alapaarten varaan palotilanteen kuormille. Palotilanteessa alapaarteena yleensä käytetään Kertopuuta. Yleisimmin palopalkin eli alapaarten annetaan hiiltä yläpuolelta, mutta sivuilta ja alapuolelta se on suojattuna. Palosuojaukset ovat kuitenkin aina tapauskohtaisia. Periaatteessa palkki voi olla, joka puolelta suojattu tai vaikka kokonaan suojaamaton. Käytännössä NR-rakenteen alapaarre on kuitenkin aina vähintään sivulta suojattu rakenteen hoikkuuden takia. Palopalkki mitoitetaan kuitenkin aina jäännöspoikkileikkaukselle, joka jää, kun mahdolliset laskennalliset hiiltemät on huomioitu. Ristikon jännevälin ollessa pitkä, tarvitaan usein välitukia. Välitukina voidaan käyttää esimerkiksi alapuolisia väliseiniä. Palopalkin kyljet suojataan yhtenäisellä levykivivillalla. (Puuinfo, Palonkestävä NR-yläpohja)

Kiepahdustuenta tulee lähes aina kyseeseen, koska palopalkki on yleensä hoikka ja korkea. Tuenta toteutetaan joko laittamalla ristikoiden väliin kapulat tai palopalkin yläpintaan asennettavilla soiroilla. Kiepahdustuennan ollessa palolle alttiina

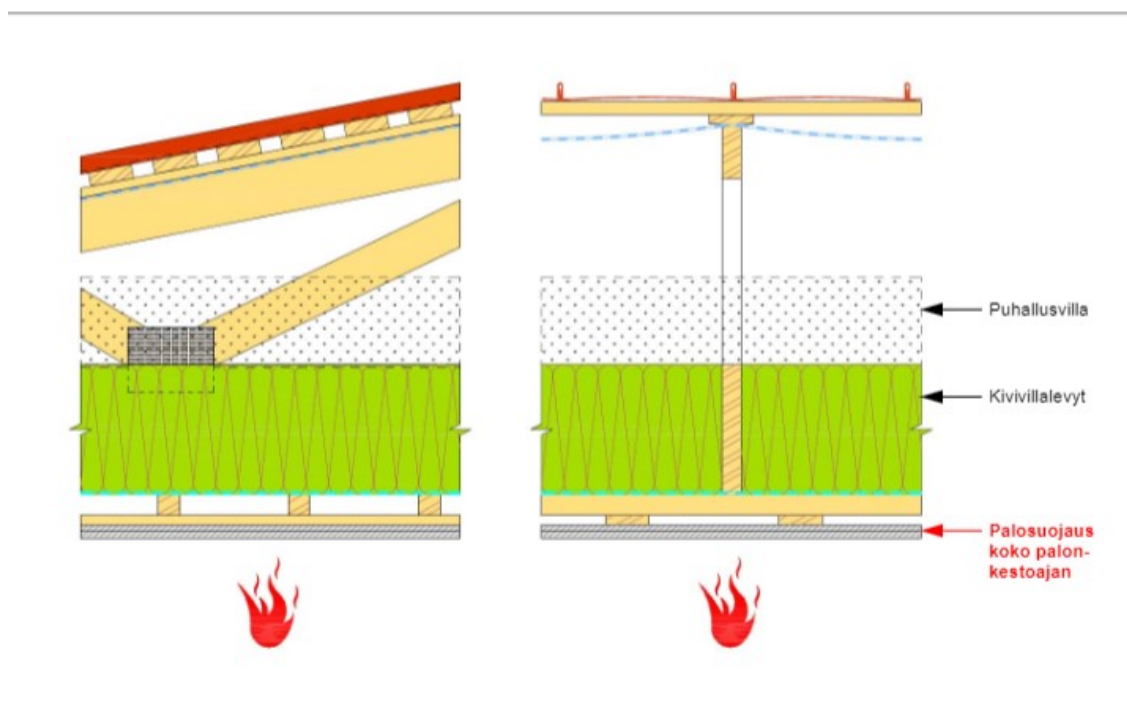
täytyy se myös hiiltymämitoitaa koko palonkestoajalle. (Puuinfo, Palonkestävä NR-yläpohja)



KUVA 10 NR-yläpohja yläpuolisessa palotilanteessa

## 4.2 Alapuolinen palo

Kun tulipalo on yläpohjan alapuolella, pyritään ristikkorakenteet suojaamaan paloa vastaan alapuolisilla rakenteilla. Palosuojauksena käytetään yleensä kipsilevyä, joka on kiinnitetty ristikon alapintaan lyötyihin koolauksiin. Kipsilevyt toimivat palosuojauksena koko palontilanteen ajan tai osan siitä. Yleensä kuitenkin pyritään siihen, että levyt suojaisivat koko vaaditun palonkestoajan. Mikäli suojaus on vain osittainen, joudutaan kivivillalevyjä, sekä alapaarretta kannattelevat rakenteet hiiltymämitoitamaan paloa vastaan. Tätä pyritään yleensä välttämään, koska koolauksista tulisi melko järeät. (Puuinfo, Palonkestävä NR-yläpohja)



KUVA 11 Tilanne, jossa tulipalo on alapuolella.

### 4.3 Paloristikko

Paloristikko tarkoittaa vähintään kolmea ristikkoa, jotka on liitetty toisiinsa. Ulomaiset ristikot toimivat sisempien ristikoiden palosuojauksena. Tällaisella rakenteelle päästään R30 paloluokkaan. NR-yläpohjan jäykistys ja nurjahdus tuet tulee myös suunnitella samalle palovaatimukselle. Ristikon tuentaan osallistuvat puuosat tulee mitoittaa hiiltymälle tai palosuojata ne. Myös jäykistävien puuosien liitosten tulee olla palonkestäviä. (Puuinfo tekninen tiedote, palonkestävä NR-yläpohja)

KPM-Engineering Oy, nykyinen Sweco Rakennetekniikka Oy on yhdessä muutamien ristikkovalmistajan kanssa teettänyt TTY:llä tutkimuksen paloristikoiden palonkestävyydestä. Tutkimuksessa testattiin kolmen yhteen liitetyn NR-kattotuolin palonkestävyyttä 30 minuutin ajan. Testi toteutettiin Tampereen teknillisen yliopiston palolaboratoriossa vuonna 2012. (Kuormitetun paloristikon polttokoe)

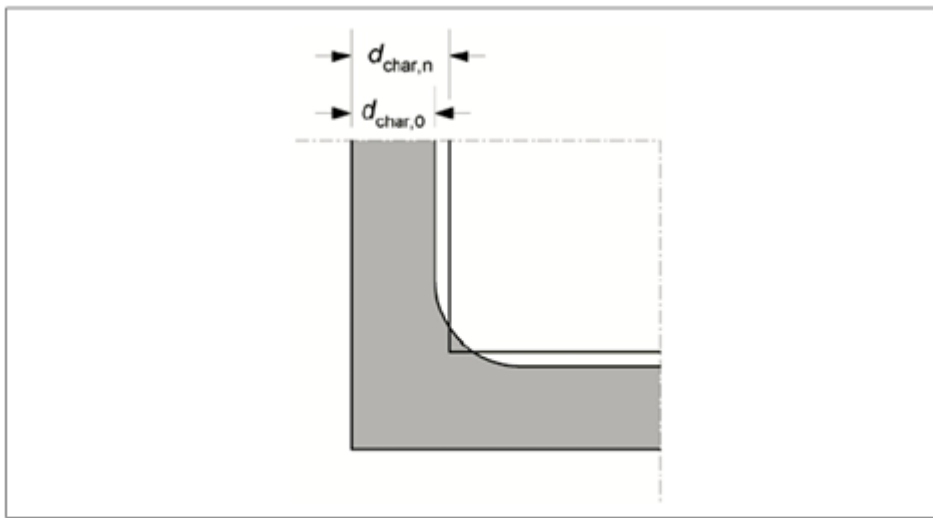
Kokeessa poltettiin kaksi yhteen liitettyä ristikkonippua. Ristikkonippujen päällä olivat ruoteet, joiden palonkestävyyttä myös tarkasteltiin. Kaksi ristikkonippua ja ruoteet muodostivat ristikkokentän. Näin ollen suoritettiin kuormitetun ristikkokentän polttokoe. Tarkoituksena oli selvittää ristikon kantokyvyn säilyminen, sekä



Lopputuloksen saatiin selville, että ristikot kestivät 30 minuutin palon. Palon jälkeen voitiin todeta, että ristikkoniput eivät olleet hiiltynyt ristikoiden väleistä. Todettiin myös, että ristikot eivät ylittäneet EN 1363-1 esitettyä taipumarajaa, jonka jälkeen kantavuus katsotaan menetetyksi. Rakenne siis todettiin täyttävän R30 luokan vaatimukset. (Kuormitetun paloristikon polttokoe)

## 5 RAKENTEEN PALOMITOITUKSEN PERIAATTEET

Puurakenteiden mitoitus palotilanteessa tehdään RIL 205-2-2019 ohjeiden mukaisesti. Samoja ohjeita sovelletaan myös NR-rakenteiden palomitoitukseen, kun tarkastellaan esimerkiksi yksittäistä parretta tai liitosta. Kuten aikaisemminkin tässä työssä on mainittu niin puurakenteiden palomitoitus perustuu hiiltemämitoitukseen. Kaikkien puupintojen hiiltyminen on otettava huomioon, jos ne ovat suorassa kosketuksessa palorasitukselle.



**Kuva 3.2.** Hiiltemämitoitussyyvyys  $d_{char,0}$ , kun hiiltyminen on yksidimensionaalista, ja nimellinen hiiltemämitoitussyyvyys  $d_{char,n}$ .

KUVA 13 Hiiltemämitoitusta havainnollistava kuva

Hiiltemämitoitussyyvyys lasketaan palkeille kaavalla 1. Kaavassa on otettu huomioon kulmapyöristys sekä mahdollinen halkeaminen.

$$d_{char,n} = \beta_n t \quad (1)$$

missä,

$d_{char,n}$	nimellisen hiiltemämitoitussyyvyyden mitoitusarvo
$\beta_n$	nimellisen hiiltemämitoitussyyvyyden mitoitusarvo
$t$	palorasituksen kesto

	$\beta_0$ mm/min	$\beta_n$ mm/min
a) Havupuu Liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ Sahatavara, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,65	0,7 0,8
b) Lehtipuu Lehtipuusta valmistettu sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys on $290 \text{ kg/m}^3$ Lehtipuusta valmistettu sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,50	0,7 0,55
c) LVL: jonka ominaistiheys on $\geq 480 \text{ kg/m}^3$ <sup>a)</sup> jonka ominaistiheys on $\geq 410 \text{ kg/m}^3$ <sup>b)</sup>	0,65 0,7	0,7 0,75
d) Levyt ja lautatavara <sup>c)</sup> Lautatavara Vaneri Muut puulevyt kuin vaneri	0,9 1,0 0,9	- - -

<sup>a)</sup> Standardin EN 14374 mukainen LVL (Kerto S ja Kerto Q)

<sup>b)</sup> Standardin EN 14374 mukainen LVL (Kerto T ja Kerto L)

<sup>c)</sup> 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  $450 \text{ kg/m}^3$  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.

#### KUVA 14 $\beta_n$ ja $\beta_0$ arvot

Palkeille, kuten alapaarre käytetään tehollisen poikkileikkauksen menetelmää eli lasketaan poikkileikkauksen koko vähentämällä kaikilta sivuilta, jotka ovat palolle alttiina tehollinen hiiltemissävyys  $d_{ef}$ , mikä lasketaan kaavalla 2.

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0 \quad (2)$$

missä,

$k_0$  kerroin, joka riippuu siitä, että onko rakenne suojattu vai ei

$d_0$  7mm

**Taulukko 4.1.** Kertoimen  $k_0$  määrittäminen pinnan ollessa suojaamaton tai palosuojattu (myös rakenteen ollessa palosuojattu koko palankestävyyssajan). Aika  $t$  annetaan minuutteina (ks. kuva 4.2).

	$k_0$
Suojaamaton pinta $t < 20$ min $t \geq 20$ min	$t/20$ 1,0
Palosuojattu pinta $t_{ch} \leq 20$ min $t_{ch} > 20$ min	$t/20$ , kun $t < 20$ min 1,0 kun $t \geq 20$ min $t/t_{ch}$ kun $t \leq t_{ch}$ 1,0 kun $t > t_{ch}$

$t_{ch}$  puukannattajan hiiltymisen alkamishetki

## KUVA 15 $k_0$ määrittäminen

Rakenteet, jotka ovat puristettuja tai taivutettuja, sekä ne ovat mitoitettu jäykistäviksi rakenteiksi, tulee silloin varmistaa, että jäykistys säilyy koko palotilanteen ajan. Jäykistykseen voidaan olettaa säilyvän, jos rakenteen palon jälkeen jäävä pinta-ala on 60% normaalilämpötilan poikkileikkauksesta.

### 5.1 Rakenteen mitoitusravot

Lujuusominaisuuksien arvot lasketaan kaavalla 3.

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (3)$$

missä;

- $f_{d,fi}$  lujuuden mitoitusravo palotilanteessa
- $f_{20}$  lujuusominaisuuden 20% fraktiili normaalilämpötilassa
- $k_{mod,fi}$  muunnoskerroin palotilanteessa, yleensä 1.0
- $\gamma_{M,fi}$  puun osavarmuusluku palotilanteessa, joka on 1.0

Lujuusominaisuuden 20% fraktiili lasketaan kaavalla 4.

$$f_{20} = k_{fi} f_k \quad (4)$$



missä,

$k_{fi}$  kerroin, joka saadaan alapuolisesta kuvasta

$f_k$  lujuuden ominaisarvo

**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

KUVA 16 Kertoimen  $k_{fi}$  arvot

Palomitoituksessa rakenteen tulee täyttää mitoitusehto, joka näkyy kaavassa 5.

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi} \quad (5)$$

missä,

$E_{d,fi}$  palotilanteen kuormien aiheuttama rasitus

$R_{d,t,fi}$  kestävyysmitoitussarvo palotilanteessa

Rakenteen palotilanteen rasitus  $E_{d,fi}$  ajanhetkellä  $t=0$  määritetään kaavalla 6 jos luonnonkuorma on määräävä ja kaavalla 7, mikäli hyötykuorma osoittautuu määrääväksi

$$E_{d,fi} = G_k + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{1,i} Q_{k,i} \quad (6)$$

$$E_{d,fi} = G_k + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (7)$$

missä,

$G_k$  pysyvän kuorman ominaisarvo

$Q_{k,i}$  muuttuvan kuorman ominaisarvo

$\Psi_{1,1}$  palotilanteen yhdistelykerroin, esitetty kuvassa alapuolella

$\Psi_{2,i}$  palotilanteen yhdistelykerroin, esitetty kuvassa alapuolella

**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		
$s_k < 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,5	0,2
Jääkuorma	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat	0,2	0

KUVA 17  $\psi_{1,2}$  ja  $\psi_{2,i}$  arvot

## 6 LIITOSTEN PALOMITOITUKSEN PERIAATTEET

Liitosten mekaanisen kestävyuden 20% fraktiili lasketaan kaavalla 8.

$$R_{20} = k_{fi} R_k \quad (8)$$

missä,

$R_k$  liitoksen mekaanisen kestävyuden ominaisarvo

$k_{fi}$  saadaan sivun 26 kuvasta

Liitoksen mekaaninen kestävyys lasketaan kaavalla 9.

$$R_{d,t,fi} = \eta \frac{R_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (9)$$

missä,

$R_{d,t,fi}$  palotilanteen mekaaninen kestävyys hetkellä  $t$

$R_{20}$  normaalilämpötilan mekaanisen kestävyuden 20% fraktiili

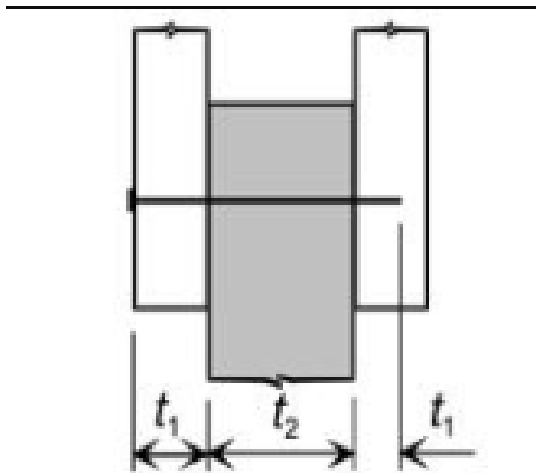
$\eta$  muuntokerroin

Naulan tunkeumasyvyyden ollessa  $t_1 \geq 8d$  ja  $t_2 \geq 12d$ , saadaan esiporaamattomille nauloille ominaisleikkauskestävyys yhtä leikettä kohden kaavasta 10.

$$R_k = 120d^{1,7} \quad (10)$$

missä,

$d$  naulan halkaisija



(b) Kaksileikkeinen liitos

KUVA 18 tunkeumasyydydet kaksi leikkeisessä liitoksessa

Kuvan 18 mukaisessa 2-leikkeisen liitoksen toispuoleisen naulauksen yhteydessä, tulee kärkipuolen osa sitoa kiinni esimerkiksi ruuvaamalla.

Kaavalla 11 saadaan laskettua naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo yhtä leikettä kohden, kun on otettu huomioon puutavaran tiheys, sekä naulan tunkeumapituuksien vaikutukset.

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} k_\rho \left\{ \begin{array}{l} k_t \\ k_e \end{array} R_k \right. \quad (11)$$

missä,

$k_\rho$  korotuskerroin, kun puutavaran tiheys on yli  $350 \text{ kg/m}^3$

$k_t$  korotuskerroin

$k_e$  pienennyskerroin

Kerrointa  $k_t$  käytetään tapauksissa, joissa tunkeumapituus on  $t_1 \geq 8d$  ja  $t_2 \geq 12d$ .

Muilla tunkeumapituuksilla käytetään kerrointa  $k_e$ .

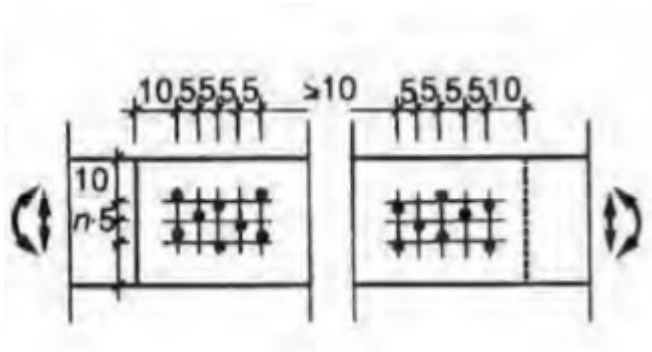
$$k_t = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,3 \frac{t_1 - 8d}{8d} \\ 1 + 0,3 \frac{t_2 - 12d}{6d} \end{array} \right. \quad (12)$$

$$k_e = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_1}{8d} \\ \frac{t_2}{12d} \end{array} \right. \quad (13)$$

Puutavaran ominaistiheyden  $\rho_k$  ollessa suurempi kuin  $350 \text{ kg/m}^3$ , voidaan naulan leikkauskestävyyttä korottaa kertoimella  $k_\rho$ .

$$k_\rho = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} \quad (14)$$

Puutavaran tiheyden ollessa suurempi kuin  $500 \text{ kg/m}^3$  tai naulan halkaisija on suurempi kuin 6mm on nauloille esiporattava reiät.



KUVA 19 Liitinten etäisyydet, kun yksikkö on d

Normaalilämpötilan puu-puu-liitosten mitoituksen palonkesto on alapuolisen kuvan mukainen, kun reuna etäisyydet ovat RIL 205-1-2009 luvun 8 mukaiset. Naulaliitos laskennoissa voidaan käyttää vanhempaa RIL:n painosta, vaikka ole-massa olisi uudempikin painos, koska laskenta eroaa kirjojen välillä hyvin vähän.

**Taulukko 6.1.** Suojaamattomien liitosten palonkesto aika sivukappaleiden ollessa puuta.

	Palonkesto aika $t_{d,fi}$ [min]	Edellytys*
Naulat	15	$d \geq 2,8 \text{ mm}$
Ruuvit	15	$d \geq 3,5 \text{ mm}$
Pultit	15	$t_1 \geq 45 \text{ mm}$
Tappivaarnat	20	$t_1 \geq 45 \text{ mm}$
Standardin EN 912 mukaiset liittimet	15	$t_1 \geq 45 \text{ mm}$

\*  $d$  on liittimen paksuus tai halkaisija ja  $t_1$  on sivukappaleen paksuus.

KUVA 20 Suojaamattoman liitoksen palonkesto aika

Kuvan 20 mukainen palonkesto-aika voidaan kasvattaa enintään 30 minuuttiin kasvattamalla sivukappaleiden paksuutta ja leveyttä kaavan 15 arvon  $a_{fi}$  verran. Myös liitinten reuna- ja päätyetäisyyksiä tulee kasvattaa saman arvon verran.

$$a_{fi} = \beta_n k_{flux} (t_{req} - t_{d.fi}) \quad (15)$$

missä

$\beta_n$	kuvan 14 mukainen hiiltymisnopeus
$k_{flux}$	kerroin, joka ottaa huomioon liittimien lämpövuodon $k_{flux}=1,5$
$t_{req}$	vaadittu palonkesto-aika
$t_{d.fi}$	kuvan 20 mukainen suojaamattoman liitoksen palonkesto-aika

## 6.1 Palosuojatut liitokset

Palosuojausella voidaan parantaa liitosten palonkestävyyttä. Ristikko rakenteissa palosuojausena liitosten päälle käytetään puulevyä. Liitosten tulee täyttää kaavan 16 esittämä ehto.

$$t_{ch} \geq t_{req} - 0.5t_{d.fi} \quad (16)$$

missä

$t_{ch}$	hiiltymisen alkamiseen kuluva aika
$t_{req}$	vaadittu palonkesto-aika

Kun liitosten suojaamiseen käytetään puulevyä, täytyy suojauksen kiinnityksen pysyä paikallaan hiiltymisen alkamiseen asti eli  $t = t_{ch}$ . Hiiltymisen alkamisen ajanhetki lasketaan kaavalla 17.

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_0} \quad (17)$$

missä

$h_p$	levy paksuus
-------	--------------

Palosuojauksen murtumishetki saadaan laskettua kaavan 18 avulla. Yleisimpiä murtumissyitä ovat suojauksen palaminen puhki, liittimien liian pieni tunkeuma hiiltymättömään puuhun tai liitinten liian suuret etäisyydet toisistaan tai reunoista.

$$t_f = t_{ch} \quad (18)$$

missä

$t_f$  suojauksen murtumishetki minuutteina

Palosuojauksen naula- ja ruuvikiinnitykselle on asetettu tiettyjä ehtoja.

-Liitinväli reunoilla enintään 100 mm ja keskellä enintään 300 mm

-Käytettäessä puulevyä liittimien reuna etäisyys vähintään  $a_{fi}$ , joka lasketaan kaavalla 15.

Palosuojauksessa, joka toteutetaan puulevyllä, tulee tartuntapituuden olla vähintään 6d.

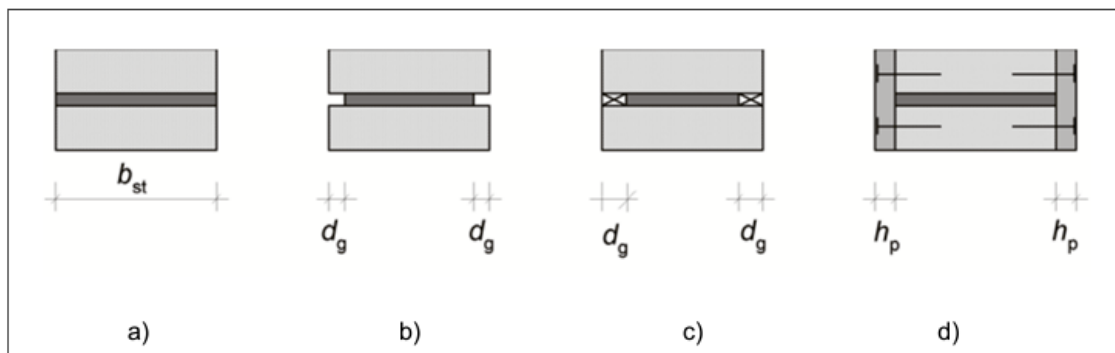
## 6.2 Teräslevy puukappeleiden välissä

NR-rakenteiden liitoksia palosuojatessa voidaan ajatella, että ristikko naulalevy ja sen päälle tuleva puulevy muodostavat puu-teräslevy-puu liitoksen. Tällaisten liitosten suojaamiselle on asetettu tiettyjä reunaehtoja. RIL 205-2-2019 osiossa 6.2.1.3 käsitellään tällaisia liitoksia. RIL:ssä kerrotaan, että kun tällaisen liitoksen keskimäinen osa on teräslevy ja se on vähintään 2 mm paksua täytyy sen leveyden  $b_{st}$  olla kuvan 21 mukainen. Kuitenkin oletetaan NR-rakenteen naulalevyn ollessa alle 2 mm, että nämä kyseiset ehdot eivät koske ristikoiden naulalevyjen suojaamia.

		$b_{st}$
Kaikki reunat suojaamattomia kuvan 6.5 tapaus a)	R 30	$\geq 200$ mm
	R 60	$\geq 280$ mm
Yhden tai kahden sivun reunat suojaamattomia kuvan 6.5 tapaus a)	R 30	$\geq 120$ mm
	R 60	$\geq 280$ mm

KUVA 21 Teräslevyjen vaaditut leveydet eri tilanteissa

Sen sijaan oletetaan, että suojatessa naulalevyä täytyy seuraavien ehtojen toteutua. Teräslevyn paksuus ei saa ylittää 3 mm ja levyn täytyy sijaita mitan  $d_g$  verran suojaavan puulevyn reunasta, kuten kuvan 22 kohdassa b). Palovaateen ollessa 30 minuuttia tulee mitan  $d_g$  olla vähintään 20 mm ja palovaateen ollessa 60 minuuttia yli 60 mm.

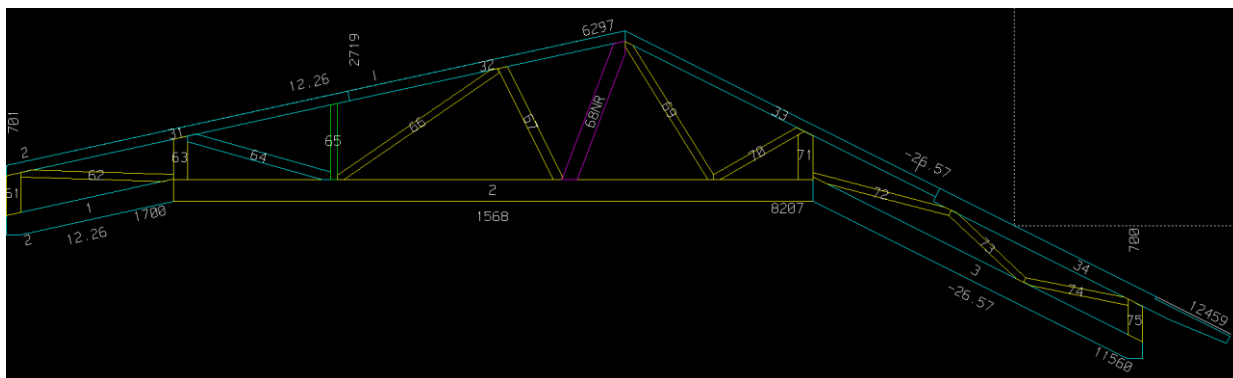


KUVA 22 Teräslevyn suojaus vaihtoehdot



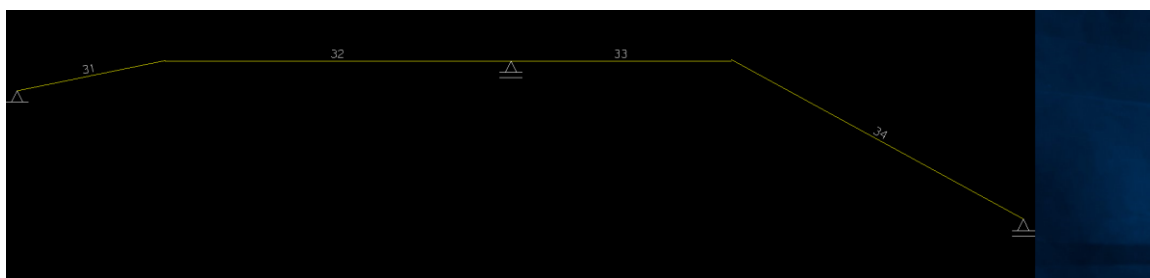
## 7 TAITTEELISEN RISTIKON MITOITUKSEN OHJE JA ESIMERKKI

Tässä osiossa tarkoituksena on esittää taitteellisen ristikon mitoituksen kulku ja kuinka tarvittavat voimat saadaan mitoitusohjelmasta. Esimerkissä ei oteta kantaa liitoksen siirtymiin. Ensimmäisenä esitellään, kuinka mitoitusohjelmassa luodaan oikeanlainen laskentamalli, jotta saadaan palotilanteen kuormituksen mukaiset liitosta rasittavat voimat selville.



KUVA 23 Laskennan esimerkki ristikko

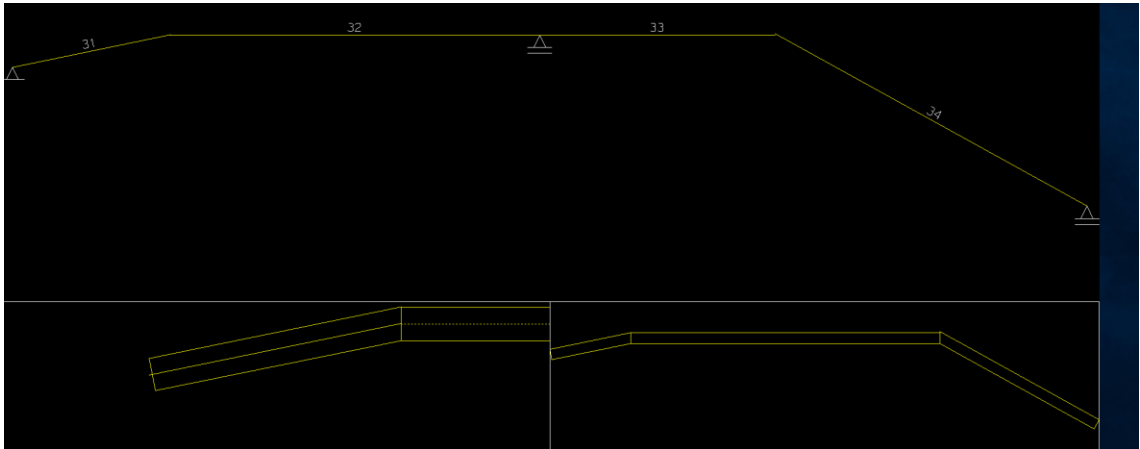
Yläpuolisessa kuvassa on esitetty ristikko, jonka pohjalta laskennat suoritetaan. Seuraavaksi tehdään ristikosta tyyppi, jossa on pelkästään alapaarre, kuten palotilanteessakin. Vaihtoehtoja on useampia, miten tämä voidaan tehdä, mutta tässä esimerkissä on luotu uusi ristikko, jossa on pelkästään yläpaarteena esimerkki ristikon alapaarre. Esimerkki ristikosta voitaisiin siis myös poistaa kaikki muut paitsi alapaarteen elementit, mutta tämä on hieman työläämpää.



KUVA 24 Pelkkä yläpuolisen ristikon alapaarre

Sen jälkeen, kun ristikosta on luotu tyyppi, jossa on pelkkä palotilanteen alapaarre tehdään alapaarrelitoksista jäykät. Yhdistetään elementin 31 loppupiste ja elementin 32 alkupiste samaan pisteeseen, jotta saadaan mallinnettua jäykkä

liitos. Sama asia tehdään elementtien 33 ja 34 liitokselle. Tässä kohtaa naulalevyt tulee olla poistettuna.



KUVA 25 Elementtien 31 ja 32 välinen liitos.

Seuraavaksi muutetaan kuormien osavarmuuskertoimet palotilanteen mukaiseksi. Pysyvien ja muuttuvien kuormien kertoimet muutetaan 1 ja lumi kuorman kertoimet muutetaan 0,5, koska palotilanteessa oletetaan, että vain puolet lumikuormasta kuormittaa rakennetta.

MURTORAJATILA	KT1	KT2	KT3	KT4	KT5	KT6	KT7	KT8	KT9	KT10	KT11
Puu=1.40 Teräs=1.10 Kuormat:	1.00	1.00	.50	.50	.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

KUVA 26 MRT:n kertoimet

Seuraavaksi, kun laskentamallista on saatu oikeinlainen ja kuormitus on muutettu vastaamaan palotilannetta, niin päästään selvittämään vasemmanpuoleisessa taitteessa vaikuttavat voimat. Voimat saadaan selville mitoitusohjelman laskenta osiosta. Polku voimien selvittämiseen on:

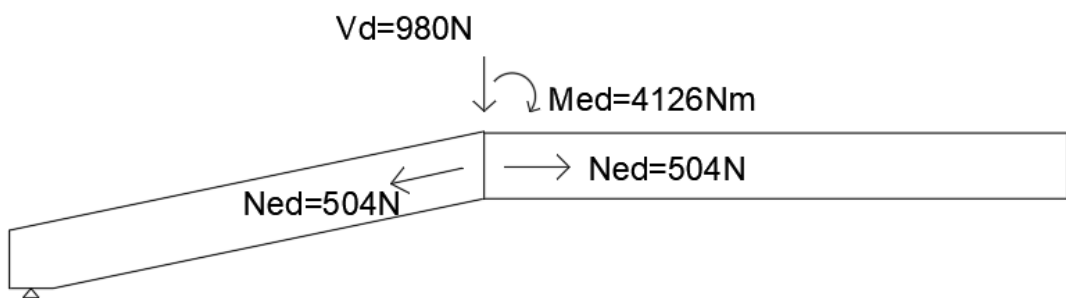
- Valitaan SHIFT F7 ->voi
- Seuraavaksi YP
- Tukireaktioihin ja siirtymiin vastataan ei
- Kuormitus valitaan tapauksittain
- Viimeiseksi valitaan ruutu, jolloin aukeaa kuvan 27 mukainen ikkuna

ELE	KAP	KT	Solmu	Fx	Fy	Mz	Solmu	Fx	Fy	Mz	Pituus
Alapäärre elementit:				kN				kN			m
Yläpäärre elementit:											
31	31	1A	1	.019	.096	-0	3	-.003	-.016	97	1.733
		2A		.073	.368	-0		-.011	-.062	372	
		3A		.733	3.682	-0		-.122	-.687	3786	
		4A		.784	3.878	-0		-.174	-.883	4126	
		5A		.484	2.461	-0		-.179	-.963	2967	
		9A		-.460	-.460	-0		.460	.228	-596	
		10A		.314	-.777	0		-.314	.374	-997	
		11A		-.504	-.666	0		.504	.218	-766	
32	32	1A	3	-.001	.016	-97	4	.001	.170	-208	3.975
		2A		-.002	.063	-372		.002	.653	-800	
		3A		-.018	.698	-3786		.018	6.457	-7660	
		4A		-.007	.900	-4126		.007	6.255	-6517	
		5A		-.018	.980	-2967		.018	6.175	-7359	
		9A		-.405	-.316	596		.405	-1.271	1304	
		10A		.382	-.304	997		-.382	-1.284	951	
		11A		-.450	-.315	766		.450	-1.449	1487	

KUVA 27 Vasemmanpuoleisen taitteen maksimi voimat

Kuvasta 27 voidaan lukea vasemmanpuoleisen taitteen maksimi voimat. Katsotaan voimat solmusta 3, joka on vasemmanpuolen taitteen liitos. Voimat voitaisiin ottaa samasta kuormitusyhdistelmästä, mutta varmemmalla puolella on, jos otetaan maksimi kuormitus välittämättä, että mistä yhdistelmästä se on. Maksimivoimat yläpuolisesta kuvasta siis ovat:

- Momentti: 4126 Nm
- Normaalivoima: 504 N
- Leikkausvoima: 980 N



KUVA 28 Vasemmanpuoleinen taite

## 7.1 Liitosvanerin mitoitus

Tässä laskennassa liitos toteutetaan 18 mm paksulla ja 223 mm korkealla combivanerilla. Vanerin pituus esimerkissä on 890 mm + 890 mm. Liitoksen molempien parreosien oletetaan olevan suorina, laskennan yksinkertaistamiseksi. Ensimmäisenä tarkistetaan kestääkö liitosvaneri liitoksessa vaikuttavat voimat.

### 7.1.1 Liitosvanerin taivutusmitoitus

Liitoksessa vaikuttava taivutusmomentti  $4126 \text{ Nm} = 4126 * 1000 = 4\,126\,000 \text{ Nmm}$

Lasketaan ensimmäisen taivutusjännitys

$$\sigma_{b,d,fi} = \frac{M}{W} = \frac{4126000 \text{ Nmm}}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{4126000 \text{ Nmm}}{\frac{18 \text{ mm} * (223 \text{ mm})^2}{6}} = 27,7 \text{ N/mm}^2$$

Vanereita on kaksi, joten jännitys jaetaan kahdella, jotta saada jännitys yhtä vaneria kohden. Jännitys yhtä vaneria kohden on  $13,8 \text{ N/mm}^2$ .

Lasketaan liitosvanerin taivutuslujuus

$$f_{d,b,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{b,20}}{\gamma_{m,fi}} = 1,0 \frac{41,17 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 41,2 \text{ N/mm}^2$$

Palotilanteen  $k_{mod,fi}$  ja  $\gamma_{m,fi}$  ovat molemmat 1.

$$f_{b,20} = k_{fi} f_{b,k} = 1,15 * \frac{35,8 \text{ N}}{\text{mm}^2} = 41,2 \text{ N/mm}^2$$

Puulevyn  $k_{fi}$  saadaan kuvan 16 mukaisesta taulukosta. Seuraavaksi tarkistetaan mitoitusehto.

$$\sigma_{b,d,fi} \leq f_{b,d,fi} \quad \Rightarrow \quad 13,8 \text{ N/mm}^2 \leq 41,2 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Käyttöaste } 33,5\%$$

### 7.1.2 Liitosvanerin vetokestävyys

Seuraavaksi mitoitetaan liitoksen vetokestävyys, kun vaikuttava veto voima on 504 N. Jaetaan vetovoima kahdella, niin saadaan yhteen vaneriin vaikuttava voima. Saadaan 252 N

$$\zeta_{t,d,fi} = \frac{N}{A} = \frac{252N}{4014mm^2} = 0,07N/mm^2$$

$$A = 18 \text{ mm} * 223 \text{ mm} = 4014 \text{ mm}^2.$$

Mitoittava vetojännitys on 0,07 N/mm<sup>2</sup>. Vetolujuuden mitoitusarvon kaava sievenee alapuolella olevaan muotoon johtuen kertoimista, jotka ovat 1.

$$f_{t,d,fi} = k_{fi} f_{b,k} = 1,15 * \frac{39,2N}{mm^2} = 45,1N/mm^2$$

Mitoitusehto

$$\zeta_{t,d,fi} \leq f_{t,d,fi} \quad \Rightarrow \quad 0,07N/mm^2 \leq 45,1N/mm^2 \quad \text{Käyttöaste } 0,1\%$$

### 7.1.3 Liitosvanerin leikkauskestävyys

Lasketaan liitosvanerin leikkauskestävyys, kun vaikuttava leikkausvoima on 980 N. Jaetaan myös leikkausvoima kahdella, jolloin saadaan yhteen vaneriin vaikuttava voima. Mitoittava leikkausvoima yhdelle vanerille on siis 490 N

$$\zeta_{v,d,fi} = \frac{1,5V_d}{A} = \frac{1,5 * 490N}{4014mm^2} = 0,18N/mm^2$$

Mitoittava leikkausjännitys yhdelle leikkeelle on siis 0,18 N/mm<sup>2</sup>. Leikkauslujuuden mitoitusarvo lasketaan seuraavasti.

$$f_{v,d,fi} = k_{fi} f_{b,k} = 1,15 * 7,0 N/mm^2 = 8,1 N/mm^2$$

### Mitoitusehto

$$\sigma_{v,d,fi} \leq f_{v,d,fi} \quad \Rightarrow \quad 0,18 N/mm^2 \leq 8,1 N/mm^2 \quad \text{Käyttöaste } 2,1\%$$

Laskelmien jälkeen voidaan todeta, että liitosvaneri ei ole kovinkaan lujilla, joten ei tarkisteta yhdistettyjä jännityksiä, koska niiden käyttöasteet olisivat samat, kuin pelkällä taivutuksella.

## 7.2 Mitoittava naularasitus

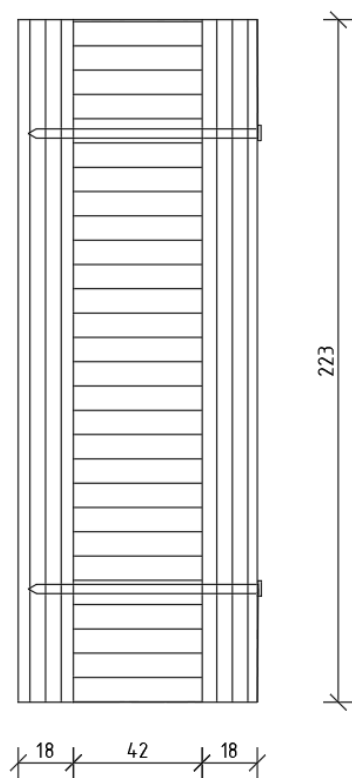
Seuraavaksi lasketaan mitoittava rasitus yhtä naulaa kohden. Naulan paksuutena käytetään 3,1 mm. Laskenta toteutetaan käyttäen painopisteenä liitoslaudan toisen puolen keskikohtaa ja laskien siitä polaarisen neliömomentin avulla maksimirasitukset yhtä naulaa kohden. Tarkistetaan reunaetäisyyksien täytyminen:

- Liitosvanerin päästä minimi  $15*d = 15*3,1 \text{ mm} = 46,5 \text{ mm}$  OK!
- Naulojen välinen etäisyys pystysuunnassa minimi  $5*d = 5*3,1 \text{ mm} = 15,5 \text{ mm}$  OK!
- Naulojen välinen etäisyys pituussuunnassa minimi  $10*d = 31 \text{ mm}$  OK!
- Naulojen pystysuuntainen etäisyys reunasta  $10*d = 31 \text{ mm}$  OK!

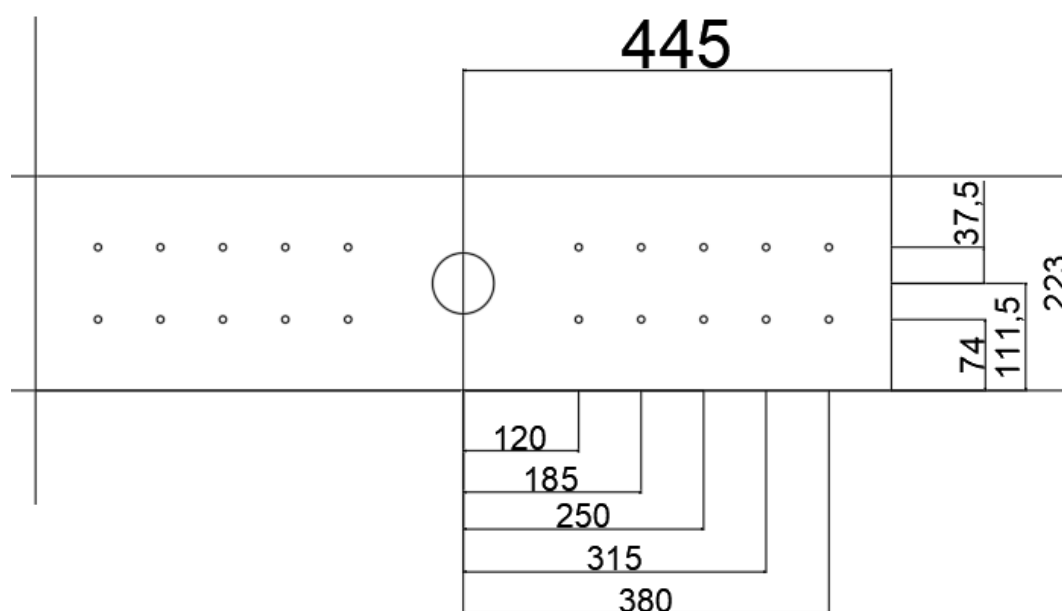
Tarkastetaan myös liitoksen tunkeumapituudet.

- Tunkeumapituuden  $t_2$  eli tässä tapauksessa keskimmäisen puuosan tunkeuman tulee olla  $12*d$ , joka täyttyy tässä liitoksessa kun  $12*d = 12*3,1 \text{ mm} = 37,2 \text{ mm}$ . Keskimmäisen puuosan paksuus on 42mm OK!
- Tunkeuman  $t_1$  tulisi olla  $8*d$ , mutta eri materiaaleilla sallitaan, kuitenkin pienempiäkin tunkeumia. Oletetaan, että vanerin tunkeumaksi sallitaan sama kuin Kerto-Q:lla, jonka tunkeumaraja on  $4*d$  eli  $4*3,1 \text{ mm} = 12,4 \text{ mm}$ . Tämän tapauksen vanerin paksuus on 18 mm OK!

Alapuolisessa kuvassa esitetty liitoksen poikkileikkaus.



KUVA 29 Liitoksen poikkileikkaus



KUVA 30 Naulojen sijainnit painopisteestä





$M_d$	Momentti yhteensä
$I_p$	Polaarinen neliömomentti
$y$	etäisyys painopisteestä y-suunnassa
$n$	naulojen lukumäärä

$$N_y = \frac{M_d}{I_p} * x + \frac{V_d}{n} = \frac{4652100Nmm}{1447125mm^2} * 380mm + \frac{980N}{20} = 1247N$$

$x$  etäisyys painopisteestä x-suunnassa kauimpaan naulaan

Seuraavaksi lasketaan, paljonko yhdelle naulalle tulee yhteensä voimaa

$$N_d = \sqrt{N_x^2 + N_y^2} = \sqrt{143,4N^2 + 1247N^2} = 1255N$$

### 7.2.1 Naulan kestävyys

Tässä osiossa lasketaan yhden naulan kestävyys. Naulan paksuutena käytetään esimerkissä 3,1 mm.

Naulan ominaiskestävyys

$$R_k = 120 * d^{1,7} = 120 * 3,1^{1,7} = 821N$$

Lasketaan naulan mitoituskestävyys

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * k_\rho * k_e * R_{k.20} = \frac{1,0}{1,0} * 1,04 * 0,73 * 944N = 717N$$

$$k_{\rho} = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} = \sqrt{\frac{380}{350}} = 1,04$$

$$k_e = \min \begin{cases} \frac{t_1}{8d} = \frac{18\text{mm}}{8 * 3,1\text{mm}} = 0,73 \\ \frac{t_2}{12d} = \frac{42\text{mm}}{12 * 3,1\text{mm}} = 1,13 \end{cases}$$

$$R_{k,20} = k_{fi} * R_k = 1,15 * 821 = 944\text{N}$$

Missä

$k_e$  naulan tartuntapituudesta johtuva pienennyskerroin

Yläpuolella laskettiin naulan kestävyys yksileikkeisenä, joten kaksileikkeisen arvo saadaan kertomalla  $R_d$  kahdella eli  $R_d=717 \text{ N} * 2=1434 \text{ N}$

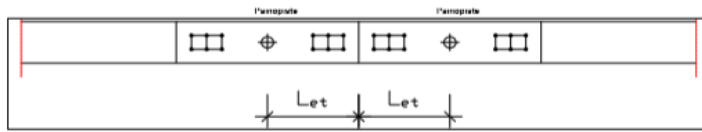
Vertaillaan, onko kestävyys suurempi kuin naulassa vaikuttava voima.

$$N_d \leq R_d \Rightarrow 1255\text{N} \leq 1434\text{N} \text{ Käyttöaste } 88\%$$

Vertaillen tässä esimerkissä RIL:n mukaan laskettua naulankestävyyttä Excel pohjan puikkoliitosteorian mukaiseen laskentaan voidaan todeta, että saadut tulokset ovat hyvin lähellä toisiansa. Puikkoliitosteorialla laskettaessa saadaan hieman parempi kestävyys naulalle, kuin RIL:n mukaisella laskennalla.

# 8 LASKENTAPOHJA JA SEN KÄYTTÖ

Paarillios työmaali:



Akselien mukaan valitaan parittaisessa liitosmateriaalissa 1=vaahdelevy, 2=komppou ja vaimeri, 3=karttopuu

Akselilukko	2
Käyttökokki	Päättämällä
$k_{s,1}$ pakittamattomissa kll	1,15
$k_{s,2}$	1

Liitoskappale/luovavaimeri	
Liitoskappaleen lukumäärä	2 kpl
Liitoskappaleen pituus l	1700 mm
Liitoskappaleen leveys b	18 mm
Liitoskappaleen korkeus h	222 mm
Liitoskappaleen lijuusluokka	CV18

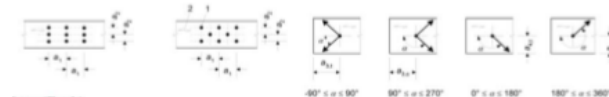
Päättämällä	
Päättämällä leveys b	42 mm
Päättämällä korkeus h	222 mm
Päättämällä lijuusluokka	C20E

Naulat	
Esipöytä	0
Naulan määrä	2 ylöspäin
Naulan d	3,1 mm
Naulan pituus	75 mm
Naulan kpl syyntausta vastaan kohtuunsa	0 kpl
Naulan kpl syyntausta vastaan kohtuunsa	2 kpl
Liitosluokka	2 kpl

Tartuntapinta tarkastelu		Tunkeuma		mitto	
0	Puuosan t <sub>1</sub> pakkaus /tunkeuma (Riisoutu)	18	18 mm	6,20	mm OKI
0	Puuosan t <sub>2</sub> pakkaus /tunkeuma (paarne)	42	42 mm	24,80	mm OKI
0	Puuosan t <sub>3</sub> pakkaus /tunkeuma (Riisoutu)	18	15 mm	6,20	mm OKI

Puun t <sub>1</sub> korkeus	(Riisoutu)	h	223 mm
Puun t <sub>2</sub> korkeus	(paarne)	h	223 mm
Puun t <sub>3</sub> korkeus	(Riisoutu)	h	223 mm

Puun t <sub>1</sub> tiheys	(Riisoutu)	$\rho_{k1}$	500 kg/m <sup>3</sup>
Puun t <sub>2</sub> tiheys	(paarne)	$\rho_{k2}$	380 kg/m <sup>3</sup>
Puun t <sub>3</sub> tiheys	(Riisoutu)	$\rho_{k3}$	500 kg/m <sup>3</sup>



Reunaliitännäykset		SIS-205-1-2007		mitto	
0	a1 (syyntausta)	68	mm	31	mm OKI
0	a2 (syyntausta vastaan kohtuunsa)	74	mm	16	mm OKI
0	a3l (kuormitettu päällä)	68	mm	47	mm OKI
0	a3c (kuormitettu reuna)	60	mm	31	mm OKI
0	a4l (kuormitettu reuna)	74	mm	22	mm OKI
0	a4c (kuormitettu reuna)	74	mm	16	mm OKI

Yhteenveto nauhojen mitoitukselle		Yhteenveto puulevyn mitoitukselle		Käyttösääntö	
Tartuntapinta	OK	Takuveto jännitys $\sigma_{t,Ed}$	33,8 %	OKI	
Reunaliitännäykset	OK	Veto jännitys $\sigma_{t,Ed}$	0,1 %	OKI	
Liitosluokka	2 OK	Puristus jännitys $\sigma_{c,Ed}$	0,0 %	OKI	
Liitosluokan lujuus	74 % OK	Leikkauksen leikkauksen jännitys $\tau_{Ed}$	2,1 %	OKI	
		Takuveto ja veto $\sigma_{t,Ed} + \sigma_{c,Ed}$	33,7 %	OKI	
		Takuveto ja puristus $\sigma_{t,Ed} + \sigma_{c,Ed}$	33,8 %	OKI	

Varmat		$R_{d,puu}$ puun		$M_{d,puu}$	
$M_{d,1}$	4122,80 Nm	$R_{d,puu}$	55 %	$M_{d,1}$	4522,5 Nm
$N_{d,1}$	3,30 kN	$N_{d,2}$	0,50 kN	n	20 kpl
$V_{d,1}$	9,90 kN				

Painopiste $x_{cp}$	445 mm	$M_{d,x}$	3,13
Painopiste $y_{cp}$	111,5 mm	$M_{d,y}$	25
$L_x$	445 mm	$M_{d,x} \cdot y_{cp}$	117,19
$L_y$	1447,125 mm <sup>2</sup>	$M_{d,y} \cdot x_{cp}$	1187,56

Mitottava neutraaliveto	
$\eta_x$	142 N/haula
$\eta_y$	1233 N/haula
$\eta_{xy}$	1241 N/haula

Naulojen akselien painopisteet		
ax	ax	x <sup>2</sup> +y <sup>2</sup> mm <sup>2</sup>
1	380	37,5
2	315	37,5
3	290	37,5
4	195	37,5
5	120	37,5
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0	0
34	0	0
35	0	0
36	0	0
37	0	0
38	0	0
39	0	0
40	0	0
41	0	0
42	0	0
43	0	0
44	0	0
45	0	0
46	0	0
47	0	0
48	0	0
49	0	0
50	0	0
51	0	0
52	0	0
53	0	0
54	0	0
55	0	0
56	0	0
57	0	0
58	0	0
59	0	0
60	0	0
61	0	0
62	0	0
63	0	0
64	0	0
65	0	0
66	0	0
67	0	0
68	0	0
69	0	0
70	0	0
71	0	0
72	0	0
73	0	0
74	0	0
75	0	0
76	0	0
77	0	0
78	0	0
79	0	0
80	0	0
81	0	0
82	0	0
83	0	0
84	0	0
85	0	0
86	0	0
87	0	0
88	0	0
89	0	0
90	0	0
91	0	0
92	0	0
93	0	0
94	0	0
95	0	0
96	0	0
97	0	0
98	0	0
99	0	0
100	0	0
101	0	0
102	0	0
103	0	0
104	0	0
105	0	0
106	0	0
107	0	0
108	0	0
109	0	0
110	0	0
111	0	0
112	0	0
113	0	0
114	0	0
115	0	0
116	0	0
117	0	0
118	0	0
119	0	0
120	0	0
121	0	0
122	0	0
123	0	0
124	0	0
125	0	0
126	0	0
127	0	0
128	0	0
129	0	0
130	0	0
131	0	0
132	0	0
133	0	0
134	0	0
135	0	0
136	0	0
137	0	0
138	0	0
139	0	0
140	0	0
141	0	0
142	0	0
143	0	0
144	0	0
145	0	0
146	0	0
147	0	0
148	0	0
149	0	0
150	0	0
151	0	0
152	0	0
153	0	0
154	0	0
155	0	0
156	0	0
157	0	0
158	0	0
159	0	0
160	0	0
161	0	0
162	0	0
163	0	0
164	0	0
165	0	0
166	0	0
167	0	0
168	0	0
169	0	0
170	0	0
171	0	0
172	0	0
173	0	0
174	0	0
175	0	0
176	0	0
177	0	0
178	0	0
179	0	0
180	0	0
181	0	0
182	0	0
183	0	0
184	0	0
185	0	0
186	0	0
187	0	0
188	0	0
189	0	0
190	0	0
191	0	0
192	0	0
193	0	0
194	0	0
195	0	0
196	0	0
197	0	0
198	0	0
199	0	0
200	0	0
201	0	0
202	0	0
203	0	0
204	0	0
205	0	0
206	0	0
207	0	0
208	0	0
209	0	0
210	0	0
211	0	0
212	0	0
213	0	0
214	0	0
215	0	0
216	0	0
217	0	0
218	0	0
219	0	0
220	0	0
221	0	0
222	0	0
223	0	0
224	0	0
225	0	0
226	0	0
227	0	0
228	0	0
229	0	0
230	0	0
231	0	0
232	0	0
233	0	0
234	0	0
235	0	0
236	0	0
237	0	0
238	0	0
239	0	0
240	0	0
241	0	0
242	0	0
243	0	0
244	0	0
245	0	0
246	0	0
247	0	0
248	0	0
249	0	0
250	0	0
251	0	0
252	0	0
253	0	0
254	0	0
255	0	0
256	0	0
257	0	0
258	0	0
259	0	0
260	0	0
261	0	0
262	0	0
263	0	0
264	0	0
265	0	0
266	0	0
267	0	0
268	0	0
269	0	0
270	0	0
271	0	0
272	0	0
273	0	0
274	0	0
275	0	0
276	0	0
277	0	0
278	0	0
279	0	0
280	0	0
281	0	0
282	0	0
283	0	0
284	0	0
285	0	0
286	0	0
287	0	0
288	0	0
289	0	0
290	0	

**Naulojen leikkauslujuus**  
EN 1995-1-1 (8.2.2)

Naulan halkaisija	d	3,1 mm
Naulan pituus	l	75 mm
Naulan vetolujuus	$f_{t,k}$	600 N/mm <sup>2</sup>
Reunapuristuslujuus liitosta	$f_{t,1,k}$	32,7 N/mm <sup>2</sup>
Reunapuristuslujuus liitosta	$f_{t,2,k}$	37,6 N/mm <sup>2</sup>
Reunapuristuslujuus joone	$f_{t,3,k}$	22,2 N/mm <sup>2</sup>
Reunapuristuslujuus joone	$f_{t,4,k}$	25,5 N/mm <sup>2</sup>
Naulan myötörajojen ominaisarvo	$M_{0,1k}$	3410 Nmm
Naulan myötörajojen mitoitusarvo	$M_{0,1d}$	3100 Nmm



Liitoksen murtoerot: a,b,c,d,e,f

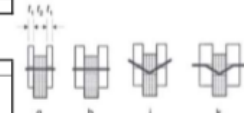
$\beta^2$	0,46
$\beta^3$	0,31
$k_1$	2,33
$(k_1 \beta)^2$	5,44

Tapaus a: Reunapuristusmurto, Liitin painuu reunapuhin.  
Tapaus b: Reunapuristusmurto, Liitin painuu keskisuuhin.  
Tapaus d: Liittimen muodostuu plastinen rivelt.  
Tapaus e: Liittimen muodostuu plastinen rivelt.  
Tapaus f: Liittimen muodostuu kaksi plastista riveltä.

**Yhteisliikkuvat liittimet**

Leikkauskestävyys	$\beta$	SFS-EN 1995-1-1+AC
Liittimen kestävyys mitalusarvo leikkauksessa ja liitissä kahden:		
2099 (8.6(a))	$F_{t,d}$	2099 N
3323 (8.6(b))	$F_{t,d}$	3323 N
1216 (8.6(c))	$F_{t,d}$	1216 N
837 (8.6(d))	$F_{t,d}$	837 N
1664 (8.6(e))	$F_{t,d}$	1664 N
879 (8.6(f))	$F_{t,d}$	879 N
Liittimen mitalusarvo leikkauksessa kahden	$F_{t,d}$	837 N (8.6(d))
Mitoitusarvo yhtiä liitettä kahden (1-leikkauksen)	$F_{t,d,0,01}$	837 N
Liitoksen mitalusarvo	$F_{t,d,0,01}$	16732 N
Käyttöaste	$q_{d,0,01}$	148 % <b>KIIKEÄ</b>

Liitoksen murtoerot: g,h,j,k



Tapaus g: Reunapuristusmurto, Liitin painuu reunapuhin.  
Tapaus h: Reunapuristusmurto, Liitin painuu keskisuuhin.  
Tapaus j: Liittimen muodostuu plastinen rivelt.  
Tapaus k: Liittimen muodostuu kolme plastista riveltä.

**Katkelikkuvat liittimet**

Leikkauskestävyys	$\beta$	SFS-EN 1995-1-1+AC
Liittimen kestävyys mitalusarvo leikkauksessa ja liitissä kahden:		
2099 (8.7(i))	$F_{t,d}$	2099 N
1661 (8.7(ii))	$F_{t,d}$	1661 N
837 (8.7(iii))	$F_{t,d}$	837 N
879 (8.7(k))	$F_{t,d}$	879 N
Liittimen mitalusarvo leikkauksessa kahden	$F_{t,d}$	837 N (8.7(iii))
Mitoitusarvo yhtiä liitettä kahden (2-leikkauksen)	$F_{t,d,0,01}$	1673 N
Liitoksen mitalusarvo	$F_{t,d,0,01}$	33464 N
Käyttöaste	$q_{d,0,01}$	74 % <b>OK!</b>

**Puutavara mitoitus**

Pinta-ala	A	8028 mm <sup>2</sup>
Takuvuorustus	W	298374 mm <sup>2</sup>
Takuvuorustuksen mitalusarvo	$f_{t,d}$	41,17 N/mm <sup>2</sup>
Vetolujuuden mitalusarvo	$f_{t,d}$	45,06 N/mm <sup>2</sup>
Puutavaruuden mitalusarvo	$f_{t,d}$	31,26 N/mm <sup>2</sup>
Leikkauslujuuden mitalusarvo	$f_{t,d}$	8,06 N/mm <sup>2</sup>

Jännitykset		Käyttöaste	
Takuvuorustuksen jännitys	$\sigma_{t,d}$	13,81 N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{t,d}/f_{t,d}$ 33,6 % <b>OK!</b>
Veto jännitys	$\sigma_{t,d}$	0,06 N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{t,d}/f_{t,d}$ 0,1 % <b>OK!</b>
Puutavaruuden jännitys	$\sigma_{t,d}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{t,d}/f_{t,d}$ 0,0 % <b>OK!</b>
Leikkauksen leikkauksijännitys	$\tau_{t,d}$	0,17 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{t,d}/f_{t,d}$ 2,1 % <b>OK!</b>

Yhteistyvät jännitykset		Käyttöaste	
Takuvuorustuksen ja veto	$\sigma_{t,d}$	$\sigma_{t,d} + \sigma_{t,d}$	33,7 % <b>OK!</b>
Takuvuorustuksen ja puutavara	$\sigma_{t,d}$	$\sigma_{t,d} + \sigma_{t,d}$	33,6 % <b>OK!</b>

KUVA 33 Laskentapohjan toinen osa

Ensimmäiseksi laskentapohjaan syötetään haluttu mitoitustilanne. Valitaan palo-tilanne ja aikaluokkaa muuttamalla saadaan oikea  $k_{fi}$  kerroin liitosmateriaalin mukaan.

<b>Aikaluokan mukaan valitaan palotilanteessa liitosmateriaali</b>	
<b>1=sahatavara,2=liimapuu ja vaneri, 3=kertopuu</b>	
3 Aikaluokka	2
Käyttöluokka	Palotilanne
$k_{mod}$ , palotilanteessa $k_{fi}$	1,15
$V_m$	1

KUVA 34 Mitoitustilanteen valinta

Seuraavaksi syötetään liitoksessa olevien osien materiaalit. Naulat osiossa valitaan naulan koko ja naulan kappalemäärät. Kappalemäärä syysuuntaa vastaan kohtisuoraan tarkoittaa, että kuinka monta naulariviä on.

<b>Liitoslaudat/Liitosvaneri</b>		
Liitoslautojen lukumäärä	2	kpl
Liitoslaudan pituus l	1780	mm
Liitoslaudan leveys b	18	mm
Liitolaudan korkeus h	223	mm
Liitoslaudan lujuusluokka	CV18	
<b>Paarre</b>		
Paarteen leveys b	42	mm
Paarteen korkeus h	223	mm
Paarteen lujuusluokka	C30	
<b>Naulat</b>		
Esiporaus	Ei	
Naulan muoto	Pyöreä	
Naula d	3,1	mm
Naula pituus	75	mm
Naula kpl syysuunta	0	kpl
Naula kpl syysuunta vastaan kohtisuoraan	2	kpl
Leikkeisyys	2	leikkeinen

KUVA 35 Liitosten materiaalien ja naulauksen valinta

Seuraavaksi syötetään mitoitusohjelmasta saadut voimat keltaisiin sarakkeisiin.

<b>Voimat</b>			<b>Puristusliitos pusku</b>		
$M_d =$	4122,00	Nm	$M_d =$	4522,5	Nm
$N_d =$	0,50	kN	$N_d =$	0,50	kN
$V_d =$	0,90	kN	$n =$	20	kpl

KUVA 36 Voimien syöttäminen.

Keltaisella värjättyyn kohtaan n syötetään naulamäärä, montako naulaa laitetaan liitoksen toiselle puolelle. Tätä muuttamalla haetaan riittävän pieni rasitus, jotta naula kestää sen.

Voimat		Puristusliitos pusku			
$M_d =$	4122,00 Nm		50 %	$M_d =$	4522,5 Nm
$N_d =$	0,50 kN	$N_d =$	0,50 kN	n	20 kpl
$V_d =$	0,90 kN				

KUVA 37 Naulamäärän valinta

Ohjelma laskee polaarisen neliömomentin ja painopisteen avulla yhdelle naulalle tulevan rasituksen.

Painopiste $x_p$	445 mm	
Painopiste $y_p$	111,5 mm	
$L_{ot}$	445 mm	
$I_p$	1447125 mm <sup>2</sup>	$I_p = \sum(x_i^2 + y_i^2)$

Mitoittava naularasitus	
$q_x$	142 N/naula
$q_y$	1233 N/naula
$q_d$	1241 N/naula

KUVA 38 Yhdelle naulalle tuleva rasitus

Polaarisen neliömomentin laskentaa varten täytyy käyttäjän laskea naularyhmän naulojen etäisyydet x- ja y-suunnassa painopisteestä. Arvot saadaan laskettua ohjelman antamien ja käyttäjän valitsemien reunaetäisyyksien mukaan. Keltaisiin laatikoihin käyttäjä voi valita etäisyydet. Oikealla näkyy reunaehtojes minimietäisyydet.

Reunaetäisyydet		-90° ≤ α ≤ 90°	90° ≤ α ≤ 270°	0° ≤ α ≤ 180°	180° ≤ α ≤ 360°	
		RIL 205-1-2007		minimi		
0 a1	(syysuuntaan)		65 mm		31 mm	OK!
0 a2	(syysuuntaa vastaan kohtisuoraan)		74 mm		16 mm	OK!
0 a3,t	(kuormitettu pää)		65 mm		47 mm	OK!
0 a3,c	(kuormittamaton pää)		50 mm		31 mm	OK!
0 a4,t	(kuormitettu reuna)		74 mm		22 mm	OK!
0 a4,c	(kuormittamaton reuna)		74 mm		16 mm	OK!

KUVA 39 Reunaetäisyydet



<b>Naulojen leikkauslujuus</b>			
EN1995-1-1(8.2.2)			
Naulan halkaisija	d	3,1	mm
Naulan pituus	l	75	mm
Naulan vetolujuus	$f_{t,k}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Reunapurirtalujuus liitarlautaa	$f_{h,1,k}$	32,7	N/mm <sup>2</sup>
Reunapurirtalujuus liitarlautaa	$f_{h,1,d}$	37,6	N/mm <sup>2</sup>
Reunapurirtalujuus paarro	$f_{h,2,k}$	22,2	N/mm <sup>2</sup>
Reunapurirtalujuus paarro	$f_{h,2,d}$	25,5	N/mm <sup>2</sup>
Naulan myötömomentin ominaisarvo	$M_{y,Rk}$	3410	Nmm
Naulan myötömomentin mitoitusarvo	$M_{y,Rd}$	3100	Nmm

<b>Tkriilekkeiset liittimet</b>			
Leikkaukskorkeus	SFS-EN 1995-1-1+AC		
	$\beta$	0,68	
Liittimen korkeuden mitoitusravat leikkauksarvo ja liittintä kahden:			
099 (8.6)(a)	$F_{t,Rd}$	2099	N
323 (8.6)(b)	$F_{t,Rd}$	3323	N
216 (8.6)(c)	$F_{t,Rd}$	1216	N
837 (8.6)(d)	$F_{t,Rd}$	837	N
664 (8.6)(e)	$F_{t,Rd}$	1664	N
879 (8.6)(f)	$F_{t,Rd}$	879	N
Liittimen mitoitusrava leikettä kahden		$F_{t,Rd}$	837 N (8.6)(d)
Mitoitusrava yhtä liittintä kahden (1-leikkeinen)		$F_{t,liite,Rd}$	837 N
Liitoksen mitoitusrava		$F_{t,r,F,Rd,liite}$	16732 N
Käyttörajo	$\eta F_{t,liite,Rd}$	148 %	EI KESTÄ

<b>Kakriilekkeiset liittimet</b>			
Leikkaukskorkeus	SFS-EN 1995-1-1+AC		
	$\beta$	0,68	
Liittimen korkeuden mitoitusravat leikkauksarvo ja liittintä kahden:			
099 (8.7)(a)	$F_{t,Rd}$	2099	N
664 (8.7)(b)	$F_{t,Rd}$	1661	N
837 (8.7)(j)	$F_{t,Rd}$	837	N
879 (8.7)(k)	$F_{t,Rd}$	879	N
Liittimen mitoitusrava leikettä kahden		$F_{t,Rd}$	837 N (8.7)(j)
Mitoitusrava yhtä liittintä kahden (2-leikkeinen)		$F_{t,liite,Rd}$	1673 N
Liitoksen mitoitusrava		$F_{t,r,F,Rd,liite}$	33464 N
Käyttörajo	$\eta F_{t,liite,Rd}$	74 %	OK!

KUVA 42 Naulan kestävyden laskenta



Puutavara mitoitus					
Pinta-ala		A		8028	mm <sup>2</sup>
Taivutusvastus		W		298374	mm <sup>3</sup>
Taivutuslujuuden mitoitusarvo		$f_{m,d}$		41,17	N/mm <sup>2</sup>
Vetolujuuden mitoitusarvo		$f_{t,0,d}$		45,08	N/mm <sup>2</sup>
Puristuslujuuden mitoitusarvo		$f_{c,0,d}$		31,28	N/mm <sup>2</sup>
Leikkauslujuuden mitoitusarvo		$f_{v,d}$		8,05	N/mm <sup>2</sup>
<b>Jännitykset</b>					
				Käyttöaste	
Taivutus jännitys	$\sigma_{m,d}$	13,81 N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m,d}/f_{m,d}$	33,6 %	OK!
Veto jännitys	$\sigma_{t,d}$	0,06 N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m,d}/f_{t,0,d}$	0,1 %	OK!
Puristus jännitys	$\sigma_{c,d}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{c,d}/f_{c,0,d}$	0,0 %	OK!
Leikkaus leikkausjännitys	$\tau_d$	0,17 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_d/f_{v,d}$	2,1 %	OK!
<b>Yhdistetyt jännitykset</b>					
				Käyttöaste	
Taivutus ja veto			$\sigma_{m,d}/f_{m,d} + \sigma_{m,d}/f_{t,0,d}$	33,7 %	OK!
Taivutus ja puristus			$\sigma_{m,d}/f_{m,d} + (\sigma_{c,d}/f_{c,0,d})^2$	33,6 %	OK!

KUVA 43 Puutavaran mitoitus.

Ohjelma näyttää vielä erikseen kootusti saadut tulokset.

				Yhteenveto puutavara mitoituksesta		Käyttöaste	
				Taivutus jännitys	$\sigma_{m,d}/f_{m,d}$	33,6 %	OK!
				Veto jännitys	$\sigma_{m,d}/f_{t,0,d}$	0,1 %	OK!
				Puristus jännitys	$\sigma_{c,d}/f_{c,0,d}$	0,0 %	OK!
				Leikkaus leikkausjännitys	$\tau_d/f_{v,d}$	2,1 %	OK!
				Taivutus ja veto	$\sigma_{m,d}/f_{m,d} + \sigma_{m,d}/f_{t,0,d}$	33,7 %	OK!
				Taivutus ja puristus	$\sigma_{m,d}/f_{m,d} + (\sigma_{c,d}/f_{c,0,d})^2$	33,6 %	OK!
<b>Yhteenveto nauhojen mitoituksesta</b>							
Tartuntapitus	OK						
Reunataisytydet	OK						
Leikkeisyys	2	OK					
Leikkauskestävyys käyttöaste	74 %	OK!					

KUVA 44 Kootut tulokset liitoksen laskennasta

Excel laskentapohjasta voidaan todeta, että se on hieman haasteellinen käyttää ja vaatisi parannuksia, jotta sen käyttö olisi yksiselitteistä ja nopeaa. Tulevaisuudessa siitä tuleekin muokata parempi ja käyttäjäystävällisempi työkalu.

## 9 POHDINTAA

Opinnäytetyössä erityisesti yllätti palotilanteen asioiden selvittäminen ja niiden ymmärtäminen, koska palotilanteen asiat osoittautuivat paljon haastavammiksi, kuin oletettiin. Palotilanteessa ongelmia tuotti erityisesti liitosasioiden ymmärtäminen, sillä koulussakaan niistä ei paljoakaan puhuttu. Kaikki asiat olivat uusia ja ne piti selvittää perinpohjaisesti, jotta ymmärsi mistä oli kyse. Liitoksissa vaikuttavien voimien hahmottaminen tuotti myös ongelmia.

Voidaan todeta, että NR-rakenteiden palotilanteen toimintaan saatiin paljon selvyttä, mutta pohdittavaakin vielä jäi. Erityisesti taitteelliseen ristikkoon saatiin lisää selvyttä, liittyen sen toimintaan ja mitoittamiseen palotilanteessa. Tulevaisuuden kannalta muun tyyppisiin alapaarrelliitoksiin on syytä tutustua tarkemmin, sillä liitoksien toteuttamisessa on varmasti vielä parannettavaa. Yleisestikin ristikoiden toimintaa palotilanteessa tulee selvittää tarkemmin, jotta saadaan toteutettua entistäkin tehokkaampia ja helpompia ratkaisuja.

Lopputuloksesta voidaan sanoa, että käytetyn ajan puitteissa saatiin tuotettua jonkinlaista hyötyä taitteellisen ristikon liitosasioihin, sekä saatiin muodostettua keskustelua muistakin alapaarrelliitoksista, sekä muun muassa useamman palopalkin toiminnasta. Asia vaatii kuitenkin vielä lisää tutkittavaa ja Excel-mitoitus-pohja hieman viimeistelyä, jotta siitä saadaan toimiva työkalu NR-osaston käyttöön.

## LÄHTEET

RIL 205-2-2019 Puurakenteiden suunnitteluohje. 2019. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje. 2009. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Puuinfo. 2016. Palonkestävä NR-yläpohja. Tekninen tiedote.

Puuinfo. 2018. Paloturvallinen puutalo – Asuin- ja toimitilarakentaminen

Suomen rakentamismääräyskokoelma. E1. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011. 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto

Kuormitetun paloristikon polttokoe. Tutkimusselostus nro palo/2108/2014. 2014. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto

Eurokoodi 5-EN 1995:2004+A1:2008+A2:2014 Naulalevyrakenteiden suunnittelu sovellusohje. 2017. Inspecta Sertifiointi Oy