

Elisa Leinonen

**TEOLLISUUSRAKENNUSTEN PALOSUUNNITTELU JA TERÄS-
RAKENTEIDEN PALOMITOITUS**

TEOLLISUUSRAKENNUSTEN PALOSUUNNITTELU JA TERÄS- RAKENTEIDEN PALOMITOITUS

Elisa Leinonen
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennesuunnittelu

Tekijä: Elisa Leinonen
Opinnäytetyön nimi: Teollisuusrakennusten palosuunnittelu ja teräsrakenteiden palomitoitus
Työn ohjaajat: Seppo Perälä, Oulun ammattikorkeakoulu; Harri Lopina, Pöyry Finland Oy
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016
Sivumäärä: 57+ 3 liitettä

Teollisuuskohteiden rakennesuunnittelijoiden tulee olla tietoisia rakennusten paloturvallisuutta koskevista määräyksistä ja vaatimuksista. Teollisuudessa toteutetaan paljon teräsrunkoisia kohteita, joten teräsrakenteiden palomitoitus on tärkeä osa rakennusten suunnittelua.

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia teollisuusrakennusten palosuunnitteluohje rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Työssä tutkittiin rakenteellista paloturvallisuutta palo-osastoinnin ja kantavien rakenteiden osalta. Kantavien rakenteiden palomitoituksen ja -suojausten osalta käsittely rajattiin teräsrakenteisiin.

Ohjeeseen koottiin tuotanto- ja varastorakennuksia koskevia palomääräyksiä Suomen rakentamismääräyskokoelman sekä muiden standardien ja ohjeiden pohjalta. Palo-osastoinnin toteutuksesta koottiin oleelliset vaatimukset. Kantavien teräsrakenteiden palomitoituksesta kirjattiin periaatteet sekä eri palosuoja- materiaaleista koottiin oleellisimpia tietoja. Lisäksi tehtiin palomitoituslaskelmat esimerkkikohteen teräsrakenteille ja saatuja palosuojauspaksuuksia vertailtiin taulukkomitoituksella saatuihin paksuuksiin.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi teollisuusrakennusten palosuunnitteluohje Pöyry Finland Oy:n käyttöön.

Asiasanat: Rakentamismääräykset, paloturvallisuus, teollisuusrakennukset, ohjeet, teräsrakenteet, palosuojaus.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author: Elisa Leinonen

Title of thesis: Fire Design of Industrial Construction and Fire Design of Steel Structures

Supervisors: Seppo Perälä, Oulu University of Applied Sciences; Harri Lopina, Pöyry Finland Ltd

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2016

Pages: 57+ 3 appendices

Structural engineers need to be aware of fire safety orders and requirements when working with industrial construction. Industrial buildings are often designed using steel frame structures so fire design of structural steel is an important part of structural design.

Goal of Bachelor's Thesis was to create instructions of fire design of industrial buildings. Structural fire design regarding fire partitioning and supporting structures was examined. The scope of supporting structures was defined to steel structures.

Fire orders of industrial construction based on The National Building Code of Finland and some other standards were gathered to the instructions. Basic requirements of fire partitioning were gathered. Main principles about fire design of steel structures were considered and some valid info about fire protection products was gathered. Also fire design calculations were made for steel structures of an example case and received results were compared to table design results.

The fire design instructions were created as a result of this Bachelor's Thesis.

Keywords: Building codes, fire safety, industrial buildings, instructions, steel structures, fire protection.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 PALOMÄÄRÄYKSET JA VAATIMUKSET RAKENTEILLE TEOLLISUUSRAKENTAMISESSA	9
2.1 Tarvittavat lähtötiedot	10
2.1.1 Palovaarallisuusluokka	10
2.1.2 Suojaustaso	12
2.1.3 Palokuorma	13
2.1.4 Muut lähtötiedot	14
2.2 Rakennuksen paloluokka	15
2.3 Palo-osastointi	16
2.4 Osastoivien ja kantavien rakenteiden vaatimukset	17
2.4.1 Osastoivat rakennusosat	18
2.4.2 Palon leviämisen estäminen rakennuksesta toiseen	19
2.4.3 Aukot, läpiviennit ja ulotukset osastoivissa rakenteissa ja palomuuureissa	20
2.4.4 Rakennustarvikkeiden paloluokitus ja pintakerrosten määräykset	24
2.4.5 Kantavat rakenteet	26
3 TERÄSRAKENTEIDEN PALOMITOITUS JA –SUOJAUS	29
3.1 Palotilanteen kuormitus	29
3.2 Palotilan lämpötila	30
3.3 Teräsrakenteiden palomitoitus	31
3.3.1 Mitoituksen kulku	32
3.3.2 Teräsrakenteen kestävyys palotilanteessa	32
3.3.3 Yksinkertaistettu mitoitusehto	35
3.4 Teräsrakenteen palosuojaus	36
3.4.1 Palosuojaus eristämällä	36
3.4.2 Suojauspaksuuden määrittäminen	37
3.4.3 Palosuojaus teräksen lämmönsitomiskykyä nostamalla	38

3.4.4 Palosuojaus rakenteellisilla keinoilla	39
4 PALOSUUNNITTELUOHJE	40
4.1 Määräykset ja rakenteiden vaatimukset	41
4.2 Osastoivat rakennusosat	41
4.3 Kantavat teräsrakenteet	42
5 TEOLLISUUSKOHTTEEN RAKENTEELLINEN PALOTURVALLISUUS JA TERÄSRAKENTEIDEN PALOMITOITUS	45
5.1 Kohteen tiedot ja vaatimukset rakenteille	45
5.2 Kantavien rakenteiden palomitoitus	49
5.2.1 Lähtökohdat	49
5.2.2 Palosuojauslaskelmien tulokset	50
6 YHTEENVETO	52
LÄHTEET	55
Liite 1 Esimerkkikohteen palosuojauslaskelmien tulokset	
Liite 2 Esimerkkilaskelma	
Liite 3 Teollisuusrakennusten palosuunnitteluohje	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda ohje rakennesuunnittelijoille teollisuuskohteiden palosuunnitteluun. Ohje rajataan käsittelemään teollisuusrakennusten rakenteellista paloturvallisuutta palo-osastoinnin ja kantavien rakenteiden osalta. Kantavien rakenteiden osalta käsittely rajataan teräsrakenteisiin.

Tavoitteena on laatia helppokäyttöinen ja selkeä ohjedokumentti, jota voidaan hyödyntää suunnittelutyössä nopeassa tiedonhaussa. Suomen rakentamismääräyskokoelman E1- ja E2-osien pohjalta kootaan tiivis yhteenveto tuotanto- ja varistorakennusten rakenteita koskevista palomääräyksistä. Lisäksi käydään läpi joitakin erityistiloja koskevia määräyksiä. Ohjeeseen kootaan teollisuusrakennusten paloluokan sekä kantavien ja osastoivien rakennusosien luokkavaatimusten määrittämiseen tarvittavat tiedot ja ohjeet. Osastoinnin toteutuksesta kootaan yksinkertaiset taulukot ja listat, joiden avulla saadaan arvioitua vaadittavien osastoivien rakenteiden oleellisia vaatimuksia.

Lisäksi opinnäytetyössä perehdytään kantavien teräsrakenteiden palomitoitukseen ja ohjeeseen kirjataan yksinkertainen ohjeistus tähän liittyen. Esimerkki-kohteen teräsrakenteet palomitoitetaan ja saatuja tuloksia verrataan aiemmin tehtyyn taulukkomitoitukseen. Mitoitus tehdään standardipaloon perustuvalla yksinkertaisella laskennalla Eurokoodi 3:n mukaan. Tavoitteena on saada selville, saavutetaanko Eurokoodi 3 mukaisella yksinkertaisella mitoituksella oleellisia säästöjä palosuojauksessa taulukkomitoitukseen verrattuna. Lisäksi esimerkki-kohteen perusteella pyritään selvittämään tehokkain tapa palomitoituksen tekemiseen.

Opinnäytetyössä kootaan muutamista käytettävissä olevista palosuojamenetelmistä ja materiaaleista tietoja, joiden perusteella voidaan helpottaa teräsrakenteiden suojaustavan valintaa. Lisäksi laaditaan mallipalosuojausdetaljeita, joissa esitetään perusratkaisut teräsrakenteiden palosuojauksesta. Esimerkkidetalleja voidaan jatkossa hyödyntää teollisuuskohteiden rakenteiden palosuojauksen suunnittelussa.

Työn tilaaja on Pöyry Finland Oy. Pöyry on kansainvälinen konsultointi- ja suunnitteluyritys, joka toimii erityisesti teollisuuden ja energia-alan hankkeissa. Suomessa Pöyryllä on 1 600 työntekijää 19 paikkakunnalla ja maailmanlaajuisesti 6 000 työntekijää 50 maassa.

2 PALOMÄÄRÄYKSET JA VAATIMUKSET RAKENTEILLE TEOLLISUUSRAKENTAMISESSA

Palosuunnittelun tarkoituksena on toteuttaa rakennuksen paloturvallisuuden oleelliset vaatimukset. Seuraavassa on lueteltu nämä vaatimukset:

- Kantavien rakenteiden on kestävä palossa sortumatta niille asetetun vähimmäisajan.
- Palon ja savun leviämistä rakennuksessa on rajoitettava osastoivin rakennusosin.
- Palon leviäminen muihin lähellä oleviin rakennuksiin on oltava rajoitettua.
- Henkilöiden poistuminen palavasta rakennuksesta tulee olla turvattua.
- Pelastushenkilöstön turvallisuus täytyy ottaa huomioon. (1, s. 4.)

Suomessa paloturvallista rakentamista ohjaavat säännökset ja määräykset on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Rakenteellista paloturvallisuutta käsitellään rakentamismääräyskokoelman E-osissa. Osa E1 koskee yleisesti kaikkia uudisrakennuksia ja siinä on annettu sekä velvoittavia määräyksiä että ohjeita, jotka sisältävät hyväksytyjä ratkaisuja. Osassa E2 käsitellään tuotanto- ja varastorakennusten rakenteellista paloturvallisuutta. E2:ssa on annettu pelkästään ohjeita, mutta käytännössä E2:n ohjeet ovat aina velvoittavia. Rakentamismääräyskokoelman lisäksi muissa standardeissa ja ohjeissa on esitetty teollisuusrakennusten erityistilojen paloturvallisuuteen liittyviä ohjeita ja määräyksiä. Näistä oleellisimpia ovat suurjännitesähköasennuksia käsittelevä SFS 6001 sekä LVI-laitteistoja ja -tiloja käsittelevä Suomen rakentamismääräyskokoelman E7-osa. (2; 3, s. 1; 4, s. 2.)

Määräyksissä esitetään vaatimukset rakenteiden kantavuudelle (R), tiiveydelle (E) ja eristävyydelle (I). Lisäksi käytetään myös merkintää M palomuuereille eli rakenteille, joille on annettu iskunkestävyysvaatimus. Näiden rakenteiden on estettävä palon leviäminen toiselle puolelle sekä kestävä liittyvien rakennusten tai niiden osien sortumisen. Kirjainyhdistelmän perässä esitetään minuutteina aika, kuinka kauan kyseessä olevan rakenteen tulee kestää paloa. Ajan laskeminen alkaa lieskahduksesta. Osastoivuus- ja kantavuusvaatimusten lisäksi

määräyksissä on annettu vaatimuksia rakenteissa käytetyille rakennustarvikkeille sekä pintojen materiaaleille. (3, s. 2; 1, s. 30.)

2.1 Tarvittavat lähtötiedot

Rakennuksen palosuunnittelun kannalta olennaisia lähtötietoja ovat rakennuksen palovaarallisuusluokka, suojaustaso, kerrosluku, palokuormat, korkeus, pinta-ala, henkilömäärä sekä tilojen käyttötavat ja toiminnot. Niiden perusteella saadaan määritettyä rakennuksen paloluokka ja kantavien sekä osastoivien rakenteiden luokkavaatimukset. (3, s. 1 - 10.)

2.1.1 Palovaarallisuusluokka

Palovaarallisuusluokalla kuvataan rakennuksen mahdollista palo- ja räjähdysvaaraa. Teollisuusrakennuksissa tuotanto ja varastointi jaetaan palovaarallisuusluokkiin 1 ja 2. Rakennuksen päätoiminta määrittää palovaarallisuusluokan. Palovaarallisuusluokka vaikuttaa rakennuksen paloluokkaan sekä kantavien ja osastoivien rakenteiden luokkavaatimuksiin. Eri palo-osastojen toimintoja voidaan käsitellä joissakin tapauksissa eri palovaarallisuusluokkiin kuuluvina. (4, s. 2.)

Palovaarallisuusluokkaan 1 luokitellaan kuuluvaksi toiminnat, joihin liittyy vähäinen tai kohtuullinen palovaara. Tällaisia ovat toiminnat, joissa

- esiintyy vähäisessä määrin palovaaraa säteilylämpöä, valokaarta tai avointa liekkiä käyttäen, käsiteltäessä aineita jähmeässä tai sulassa olomuodossa
- kerrallaan käsiteltävien raaka-aineiden määrä on pieni
- käsitellään kosteita raaka-aineita
- käsitellään aineita, joihin sisältyy rajoitettu palovaara käyttökokemuksiin liittyvänä tai kokemuspäisessä prosessiin kuuluvana
- käsitellään tai varastoidaan palavia nesteitä, joiden leimahduspiste on yli 55 °C
- käsitellään tai varastoidaan höyryjä tai pölyjä, jotka ovat vain rajoitetuissa määrin palovaarallisia. (4, s. 5.)

Esimerkkejä palovaarallisuusluokan 1 toiminnoista on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1 Esimerkkejä palovaarallisuusluokan 1 toiminnoista (4, s. 5)

Esimerkkejä palovaarallisuusluokan 1 toiminnoista:	
Autokorjaamot ja autohuoltamot,	betoniteollisuus
elintarviketeollisuus	hiilivoimalat
kirjapainot	kiviteollisuus
konepajat	maataloustuotanto ja maatalouden varastointi
meijerit	metalliteollisuus
muuntoasemat	nahkateollisuus
palavien nesteiden (leimahduspiste ≥ 50 °C) teollinen varastointi ja käsittely	panimot
paperi- ja kartonkiteollisuus	pesulat
puristemuoviteollisuus	selluloosateollisuus
sementtiteollisuus	tekstiiliteollisuus
tiiliteollisuus	vesivoimalat
öljyvoimalat	

Palovaarallisuusluokkaan 2 luokitellaan kuuluvaksi toiminnot, joissa voi esiintyä räjähdysvaara tai joihin liittyy huomattava tai suuri palovaara. Tällaisia ovat esimerkiksi toiminnot, joissa

- syntyy sellaisia höyryjä tai hienojakoisia pölyjä, jotka yhdessä ilman kanssa voivat muodostaa räjähtävän tai helposti syttyvän seoksen
- käsitellään herkästi syttyviä ja nopeasti lämpöä luovuttavia raaka-aineita, puolivalmisteita tai valmisteita
- teollisesti käsitellään tai varastoidaan palavia nesteitä, joiden leimahduspiste on ≤ 50 °C ja joiden höyryt voivat muodostaa ilman kanssa palavan seoksen
- käsitellään räjähdysaineita tai aineita, jotka voivat syttyä itsestään esimerkiksi ilman, veden, kitkalämmön tai tärähdyksen vaikutuksesta (4, s. 5).

Esimerkkejä palovaarallisuusluokkien toiminnoista esitetään taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Esimerkkejä palovaarallisuusluokan 2 toiminnoista (4, s. 5 - 6)

Esimerkkejä palovaarallisuusluokan 2 toiminnoista:	
bitumiteollisuus	palavien nesteiden jalostamot
kattohuopateollisuus	lastulevyteollisuus
lujitemuoviteollisuus	mekaaninen puuteollisuus (käsitellään kuivaa puutavaraa)
myllyt, rehuvarastot	palavien nesteiden (leimahduspiste ≤ 50 °C) teollinen käsittely ja varastointi
pintakäsittelyosastot paperi- ja kartonkiteollisuudessa	räjähdyssainetehtaat
sahateollisuus	turvevoimalat ja turpeen käsittelylaitokset
vaahтомуoviteollisuus	vaneriteollisuus
määrätyt osat öljynpuhdistamoista	

2.1.2 Suojaustaso

Suojaustasolla tarkoitetaan rakennuksessa olevan ensisammutuskaluston ja palohälytinjaestelmän tasoa. Suojaustasoja on kolme:

- suojaustaso 1; tavanomainen tai tehostettu alkusammutuskalusto
- suojaustaso 2; paloilmoitin
- suojaustaso 3; automaattinen sammutuslaitteisto. (4, s. 2.)

Tuotanto- ja varastotilat tulee aina varustaa palonilmoitin ja/tai alkusammutuskalustolla. Sammutus- ja palonilmoitinkaluston tyypeistä, määrästä ja sijoittelusta tulee neuvotella paikallisen paloviranomaisen kanssa. (1, s. 9.)

Suojaustasolla on joissakin tapauksissa vaikutusta suurimman sallitun palo-osaston kokoon, osastoivien rakenteiden luokkavaatimukseen sekä jopa rakennuksen paloluokkaan. Tämän takia valitsemalla parempi suojaustaso voidaan joissakin tapauksissa laskea rakennuskustannuksia. (1, s. 9.)

Suojaustasolla 1 tavanomainen alkusammutuskalusto tarkoittaa palovaarallisuusluokan 1 teollisuusrakennuksen varustamista palonalkujen sammuttamiseen suunnitelluilla käsisammuttimilla ja pikapaloposteilla. Teollisuusrakennuksissa, joiden toiminnot ovat palovaarallisuusluokkaa 2, edellytetään tehostettua

alkusammutuskalustoa, joka toteutetaan tehokkaalla kaikkialle ulottuvalla palo-postiverkolla tai kemiallisilla sammuttimilla. (1, s. 9 - 10; 4, s. 2.)

Suojaustasolla 2 rakennus tulee varustaa automaattisilla paloilmoittimilla sekä suojaustason 1 mukaisella alkusammutuskalustolla. Suojaustason 2 rakennuksissa tehokas sammutustyö on pystyttävä aloittamaan 10 minuutin kuluessa paloilmoituksen tapahtumisesta. Yleensä tämä edellyttää, että rakennus sijaitsee korkeintaan 10 km:n etäisyydellä riittävän suuresta paloasemasta tai kohteessa on oma sammutusryhmä tai tehdaspalokunta. Suojaustasoa 2 edellytetään rakennuksissa, joissa henkilöturvallisuutta lisää ja omaisuusvahinkoja vähentää oleellisesti se, että sammutusvoimat hälytetään riittävän ajoissa ja luotettavasti. (1, s. 9 - 10; 4, s. 2.)

Suojaustasolla 3 rakennus on varustettava automaattisella sammutuslaitteistolla eli sprinklerijärjestelmällä. Kun rakennuksen käyttötapa ei salli vesisammutusta, voidaan käyttää esimerkiksi vaahtolaitteistoa. Lisäksi suojaustason 3 rakennus on varustettava suojaustason 1 mukaisilla käsisammuttimilla. Suojaustasoa 3 edellytetään, kun rakennuksen palotekninen luonne, suuret palo-osastot ja omaisuusvahingot sekä henkilöturvallisuus vaativat tehokkaan automaattisen sammutuslaitteiston. (4, s. 2.)

Lisäksi esimerkiksi kuljetuslinjat, pölyn- ja purunpoistojärjestelmien suodattimet ja siilot sekä muut pienehköt palo- ja räjähdysvaaralliset tilat voidaan kohdesuojata erillisellä kiinteällä sammutuslaitteistolla (4, s. 2).

2.1.3 Palokuorma

Palokuorma on yksi kantavien rakenteiden ja osastoivien rakennusosien luokkavaatimusten määräytymisen kriteereistä. Palokuorma on palossa vapautuvan lämpöenergian summa, kun kaikki kyseisessä tilassa oleva palava materiaali palaa. Mitä enemmän palotilassa on palokuormaa, sitä pidempi on palonkestoaika ja korkeampi palonaikainen maksimilämpötila. (5, s. 28.)

Palokuorman määrä voidaan määrittää palo-osaston käyttötavan perusteella tai laskemalla. Palokuormaryhmät ovat

- yli 1 200 MJ/m²
- 600 MJ/m² - 1 200 MJ/m²
- alle 600 MJ/m². (3, s. 4.)

Tuotanto- ja varastotilojen rakentamisessa päädytään useimmiten palokuormien laskentaan kohdekohtaisesti, sillä palokuormien määrät vaihtelevat paljon tapauskohtaisesti. Palokuorma koostuu tilan sisällä olevasta tilan irtaimistosta sekä kantavista, jäykistävästä, osastoivista ja muista rakennusosista. Palokuorman tiheyden laskentaa varten tulee selvittää palo-osastossa olevien palavien aineiden laatu ja määrä sekä palo-osaston pinta-ala. Palokuorman tiheys lasketaan jaotteleamalla palavat aineet lämpöarvojen mukaan. Kunkin ryhmän massa kerrotaan sen lämpöarvolla, joka saadaan esimerkiksi liitteen 1 taulukosta. Kun näin saadut tulot lasketaan yhteen, saadaan palokuorman tiheys. (6, s. 45.)

2.1.4 Muut lähtötiedot

Rakennuksen palovaarallisuusluokan, suojaustason ja palokuorman lisäksi paloluokan ja rakenteiden vaatimusten määrittämiseen tarvitaan tiedot rakennuksen tilojen käyttötavoista, rakennuksen kerrosluku, korkeus ja pinta-ala, rakennuksessa oleskelevien henkilöiden määrä. Myös kaavamääräykset tulee ottaa huomioon. Esimerkiksi rakennus voidaan kaavassa määrätä rakennettavaksi kiinni tontin rajaan, jolloin seurauksena voi olla palomuurivaatimuksia rakenteille. (3, s. 5.)

Kerroslukuun lasketaan tavallisesti kaikki maanpinnan yläpuolella olevat kerrokset. Tuotanto- ja varastorakennuksien prosessitiloissa olevia koneiden ja laitteiden hoito- ja ritilätasoja ei yleensä lasketa varsinaisiksi kerroksiksi. Lisäksi pääosin yksikerroksisessa teollisuusrakennuksessa saa olla toisessa kerroksessa tiloja, joiden käyttötapa on sama kuin alemmalla kerroksella tai tilat palvelevat rakennuksen toimintaa. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi toimisto- ja sosiaalityöt. Toisen kerroksen kerrosala ei saa kuitenkaan olla yli 200 m² tai yli 15 % rakennuksen kerrosalasta. (4, s. 3.)

Rakennuksen palotekninen korkeus on vesikaton ja julkisivupinnan leikkausviivan korkeus maan pinnasta. Jos rakennuksen nurkat ovat eri korkeuksilla, las-

ketaan palotekniseksi korkeudeksi nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo. (6, s. 51.)

2.2 Rakennuksen paloluokka

Kaikki rakennukset jaetaan kolmeen paloluokkaan: P1, P2 ja P3. Näistä P1 on vaativin. Kantavien rakenteiden ja osastoinnin luokkavaatimukset ovat sitä korkeammat mitä vaativamman paloluokan rakennuksesta on kysymys. Paloluokka määräytyy kerrosluvun, korkeuden, palovaarallisuusluokan, suojaustason sekä henkilömäärän perusteella. Rakennuksen eri osat voidaan luokitella eri paloluokkiin kuuluviksi, mikäli palon leviäminen on estetty palomuurilla. (3, s. 4 - 5; 1, s. 19.)

Paloluokkaan P1 kuuluvan rakennuksen henkilömäärää tai koko ei ole rajoitettu. Rakennukseen saadaan sijoittaa palovaarallisuusluokkiin 1 ja 2 kuuluvia toimintoja. (4, s. 2; 3, s. 4.)

P2-luokan rakennuksissa saa olla yksi tai kaksi kerrosta. Yksikerroksisen rakennuksen korkeutta ei ole rajoitettu ja sinne saa sijoittaa palovaarallisuusluokkien 1 ja 2 toimintoja. Kaksikerroksinen rakennus saa olla korkeintaan 9 metriä korkea ja rakennuksen toimintojen tulee olla palovaarallisuusluokkaa 1. P2-luokan rakennuksessa saa työskennellä korkeintaan 50 henkilöä. (4, s. 3; 3, s. 5.)

P3-luokan rakennus saa olla yksikerroksinen ja sen korkeus saa olla korkeintaan 14 metriä. P3-luokan rakennuksen toiminnot ovat yleensä palovaarallisuusluokkaa 1. Jos toiminta on kuitenkin palovaarallisuusluokkaa 2, tulee rakennuksen suojaustason olla 3. (3, s. 5; 4, s. 3.)

Tuotanto- ja varastorakennusten paloluokka voidaan määrittää kuvan 1 kaavion avulla.

TAULUKKO 3. Osastojen suurin sallittu koko pinta-alaosastoinnissa (4, s. 3)

Sarake	P1			P2		P3
	1 kerros	2–3 kerrosta	yli 3 kerrosta	1 kerros	2 kerrosta	1 kerros
	1	2	3	4	5	6
Palovaarallisuusluokka 1						
– suojaustaso 1	6000 m ²	4000 m ²	3000 m ²	4000 m ²	2000 m ²	2000 m ²
– suojaustaso 2	12000 m ²	6000 m ²	4500 m ²	6000 m ²	4000 m ²	4000 m ²
– suojaustaso 3	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	12000 m ²	12000 m ²
Palovaarallisuusluokka 2						
– suojaustaso 1	2000 m ²	1000 m ²	750 m ²	1000 m ²	<i>ei sallittu</i>	<i>ei sallittu</i>
– suojaustaso 2	4000 m ²	2000 m ²	1500 m ²	2000 m ²	<i>ei sallittu</i>	<i>ei sallittu</i>
– suojaustaso 3	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	<i>ei sallittu</i>	2000 m ²
Taulukon huomautus:	Pinta-alat lasketaan kuten huoneistoala. Kellarien osastointi harkinnan mukaan.					

Käyttötapaosastoinnin periaatteena on erottaa käyttötavaltaan toisistaan poikkeavat tilat palo-osastoinnilla. Teollisuudessa tämä tarkoittaa esimerkiksi palveluosastojen, sosiaalityötilojen, prosessitilojen sekä erilaisten varastojen osastoimista toisistaan. Lisäksi erityiskäyttöiset, vaaralliset tai rakennuksen toiminnan kannalta elintärkeät tilat tulee osastoida. Erityiskäyttöisistä tiloista on annettu erillisiä määräyksiä sekä standardeja. Myös samassa käyttötaparyhmässä toisistaan palokuormaltaan eroavat tilat on osastoitava. (1, s. 22 - 25; 4, s. 4.)

Kerrososastoinnilla erotetaan rakennuksen eri kerrokset, ullakko ja kellarikerrokset omiksi palo-osastoiksi. Kerroksen määritelmä tulee ottaa huomioon teollisuusrakennusten suunnittelussa. Esimerkiksi prosessitilojen ritilätasojen ja muita vastaavien avonaisia tasojen ei määritellä varsinaisiksi kerroksiksi, joten niitä ei tarvitse osastoida. (4, s. 4.)

2.4 Osastoivien ja kantavien rakenteiden vaatimukset

Osastoivien ja kantavien rakenteiden paloluokkavaatimukset määräytyvät rakennososa ympäröivien tilojen mukaan. Jos rakennetta ympäröivät tilat aiheuttavat rakenteelle erilaisia vaatimuksia, valitaan palonkestoaikaa ja materiaali-vaatimuksia koskevista vaatimuksista tiukempi. Lisäksi useampi kerroksisessa

rakennuksessa ylemmän kerroksen kovemmat kantavuusvaatimukset aiheuttavat kovemmat vaatimukset myös alempien kerrosten rakenteille. (1, s. 30.)

2.4.1 Osastoivat rakennusosat

Palo-osastointia suunniteltaessa on oleellista tietää, millä perusteella osastoiva rakenne tehdään, koska rakenteiden luokka- ja materiaalivaatimukset vaihtelevat osastointitavasta riippuen. Pinta-alaosastointia toteuttavien rakenteiden tulee olla massiivisia, kun taas kerros- ja käyttötapaosastointi voidaan toteuttaa kevyemmillä rakenteilla. (1, s. 31.)

Pinta-alaosastoja rajaavat rakennusosat tehdään massiivisina luokkaan EI-M 60 - EI-M 120 A1-luokan materiaaleista. Näiden rakennusosien luokat määräytyvät taulukon 4 perusteella. (4, s. 3 - 4; 1, s. 31.)

TAULUKKO 4. Osastoivien rakennusosien luokka pinta-alaosastoinnissa (4, s. 4)

	P1	P2	P3
Palovaarallisuusluokka 1			
– suojaustaso 1 ja 2	EI-M 90	EI-M 90	EI-M 90
– suojaustaso 3	EI-M 60	EI-M 60	EI-M 60
Palovaarallisuusluokka 2			
– suojaustaso 1 ja 2	EI-M 120	EI-M 120	<i>ei sallittu</i>
– suojaustaso 3	EI-M 60	EI-M 60	EI-M 60
Taulukon merkintä:	○ = Edellytetään A1-luokan tarviketta		

Käyttötapa- ja kerrossastointia toteuttavien rakennusosien luokat määräytyvät taulukon 5 mukaan. Useampikerroksisissa rakennuksissa kerros- ja käyttötapaosastointia toteuttavia rakenteita voidaan hyödyntää pinta-alaosastoinnissa, mikäli ne täyttävät palomuurinomaisuusvaatimukset. (1, s. 31; 3, s. 8.)

TAULUKKO 5. Osastoivien rakennusosien luokkavaatimukset käyttötapa- ja pinta-alaosastoinnissa (3, s. 8)

	Rakennuksen paloluokka ja kerrosluokka				
	P1 ja P2 3–8 kerrosta			P2 1–2 kerrosta	P3
	Palokuorma MJ/m ²				
	yli 1200	600–1200	alle 600		
Sarake	1	2	3	4	5
Osastoivat rakennusosat kerroksissa	EI 120	EI 90	EI 60	EI 30	EI 30
Osastoivat rakennusosat kellareissa	EI 120	EI 90	EI 60	EI 60	EI 30

2.4.2 Palon leviämisen estäminen rakennuksesta toiseen

Palomuurirakenteita vaaditaan tilanteissa, joissa halutaan erottaa rakennuksen eri osat eri paloluokkiin kuuluviksi. Lisäksi silloin, kun rakennusten välinen etäisyys on alle 8 m, voidaan vaatia palomuurirakenteita palon leviämisen estämiseksi. Kun palomuri ei ole pinta-alaosastointia toteuttava rakenne, luokkavaatimus palomuurille määräytyy taulukon 6 mukaan. (3, s. 12.)

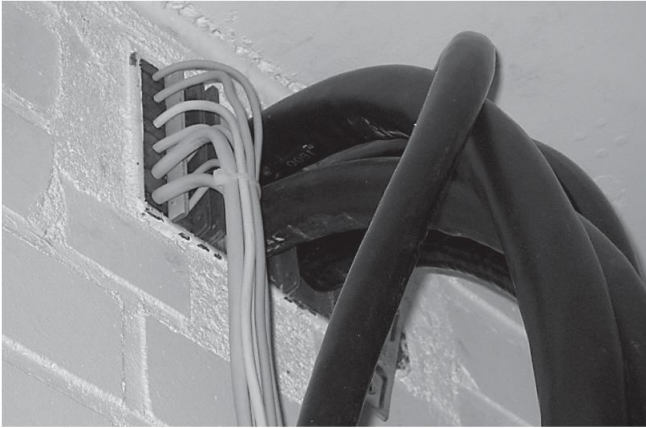
TAULUKKO 6. Palomuurin luokkavaatimukset (3, s. 12)

Rakennuksen paloluokka ja kerrosluku					
P1 ja P2 3–8 kerrosta				P2 1–2 krs.	P3
Palokuorma MJ/m ²					
yli 1200		600–1200	alle 600		
Sarake	1	2	3	4	5
PALOMUURI	EI-M 240	EI-M 180	EI-M 120	EI-M 120	EI-M 60

2.4.3 Aukot, läpiviennit ja ulotukset osastoivissa rakenteissa ja palomuurissa

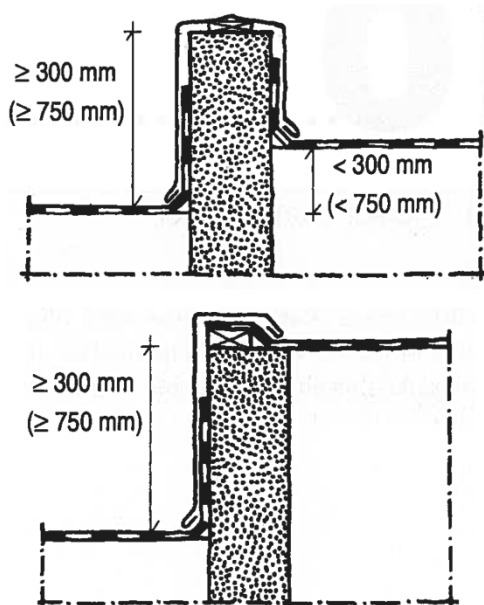
Osastoivassa rakennusosassa olevien ikkunoiden, ovien ja muiden pienehköjen luukkujen palonkestoajan on yleensä oltava vähintään puolet ympäröivälle osastoivalle rakennusosalle määrätystä ajasta. Kun ikkunan tai oven pinta-ala on suurempi kuin 7 m², suunnitellaan ikkuna tai ovi seinien vaatimusten mukaan. Palomuurissa olevan ikkunan tai oven palonkestoajan tulee kuitenkin olla sama kuin muurin palonkesto aika. Silloin kun osastoivan rakenteen palonkesto on EI15, on rakenteessa olevien ikkunoiden ja ovien oltava myös luokkaa EI15. Osastoivassa seinässä tai palomuurissa olevan oven täytyy olla palon sattuessa suljettu, siksi palo-ovien tulee olla palon sattuessa itsestään sulkeutuvia ja salpautuvia tai ne on varustettava sulkevin laittein. (1, s. 36 - 38; 3, s. 8.)

Osastovien rakennusosien ja palomuurien läpi kulkevat putket, kaapelit, kuljetinlaitteistot yms. tulee tiivistää siten, että tulipalon syttyessä kuumuus, savukaasut tai liekit eivät pääse leviämään läpivientien kautta. Tätä tiivistystä kutsutaan palokatkoksi (kuva 2). Palokatkolta edellytetään samaa paloluokkaa kuin sitä ympäröivältä rakennusosalta. Palokatkot voidaan toteuttaa erilaisilla palokatkomassoilla, pinnoitetuilla villalevyillä, vaahdoilla tai tiiviste-elementeillä. Käytettyjen tuotteiden ja asennusmenetelmien tulee olla tyyppihyväksytyjä ja suunniteltavan kohteen palokatkoista tulee laatia palokatkosuunnitelma. Palokatkosuunnitelmassa on esitettävä rakennuksen pohjakuvan ja tarvittaessa leikkauskuvien avulla läpivientien paikat ja käytettävät palokatkoratkaisut. (8, s. 6 - 7.)



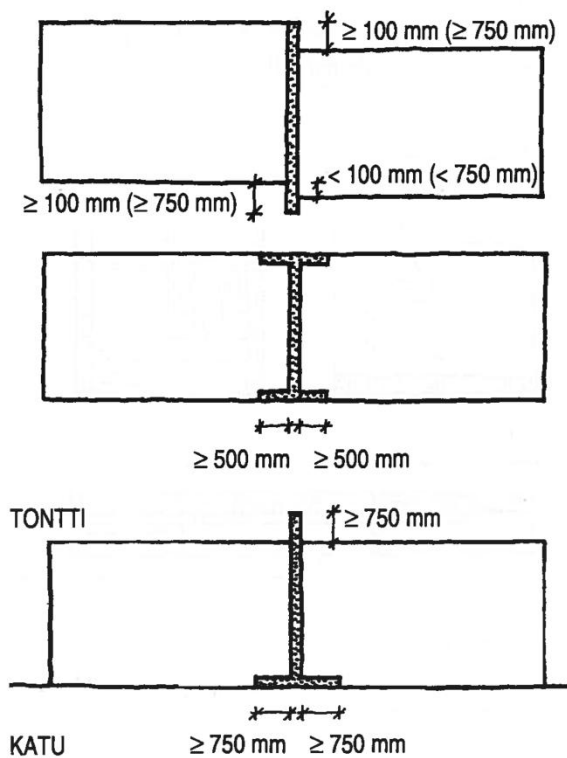
KUVA 2. Palokatko asennettuna (9, s. 2)

Tulen leviäminen palomuurin ohi on estettävä ulottamalla palomuuuri riittävän pitkälle katolla ja seinässä. Vesikaton eristeet ja rakenteet tulee katkaista palomuurin kohdalta. Jos yläpohjan rakennustarvikkeet ovat vähintään luokkaa A2-s1, d0, ei katkoa tarvita. Kun katon korkeusero on alle 300 mm, tulee palomuurirakenne ulottaa vähintään 300 mm katteen yläpuolelle. Ulotus voidaan myös korvata riittävällä vaakakatolla. Jos palokuormaa on yli $1\,200\text{ MJ/m}^2$, tulee ulotuksen olla vähintään 750 mm, eikä sitä voida korvata vaakakatolla. Periaatteet ulotuksista vesikatolla on esitetty kuvassa 3. (6, s. 108.)



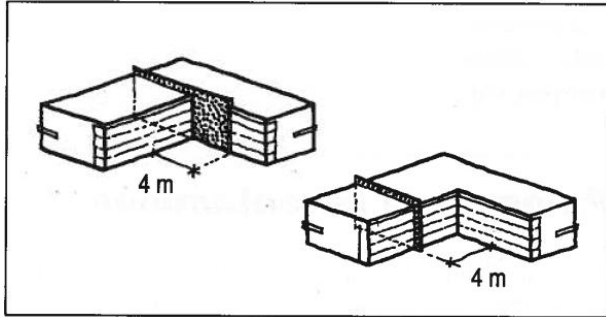
KUVA 3. Palomuurin ulotus vesikatolla (6, s. 108)

Sivusuunnassa palomuuuri tulee ulottaa vähintään 100 mm seinälinjan ohi. Mikäli osastoitavassa tilassa on palokuormaa yli 1 200 MJ/ m², tulee ulotusta olla vähintään 750 mm. Ulotukset voidaan tehdä myös seinän suuntaisina, jolloin ulotuksen vähimmäismitta tulee olla 500 mm molemmin puolin palomuuria. Kun palokuorma on yli 1 200 MJ/ m², tulee seinän suuntaisia ulotuksia käyttää vain tapauksissa, joissa seinälinjan ohi ulottaminen ei ole mahdollista. Tällöin seinän suuntaisen ulotuksen vähimmäismitta on 750 mm molemmille puolille palomuuria. Periaatteet ulotuksista seinillä on esitetty kuvassa 4. (6, s. 108.)



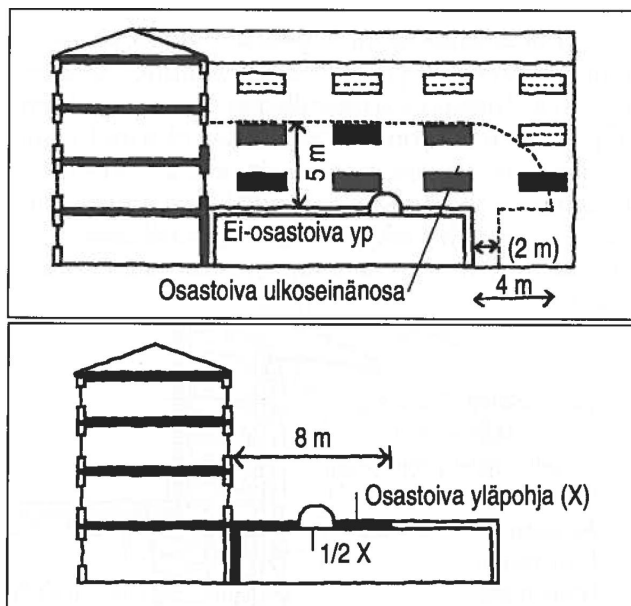
KUVA 4. Palomuurien ulotukset seinälinjan ohi tai suuntaisesti (6, s. 108)

Myös rakennuksen sisänurkka aiheuttaa erityisvaatimuksia palomuurirakenteille. Sisänurkassa oleva palomuuuri täytyy ulottaa 4 m seinälinjan ohi nurkan sisäpuolella (kuva 5). Tämä koskee palomuuureja, jotka ovat alle 4 m:n etäisyydellä sisänurkasta. Jos nurkka on tylpempi kuin 135 °, palomuuuri voidaan tehdä kuten kuvassa 4. (6, s. 108.)



KUVA 5. Palomuurin rakennuksen sisänurkassa (6, s. 108)

Kun erikorkuiset erilliset rakennukset tai eri palo-osastoina olevat rakennuksen osat liittyvät toisiinsa, tarvitaan osien erottamiseen osastoivia rakenteita. Osastointi voidaan toteuttaa joko matalamman osan kattorakenteilla tai korkeamman osan seinärakenteilla (kuva 6). Kattorakenteilla toteutetun osastoinnin riittävä ulotus on 8 metriä korkeamman rakennuksen seinästä. Seinärakenteilla toteutetun osastoinnin riittävä ulotus on 5 metriä. (6, s. 88.)



KUVA 6. Osastoinnin ulotus kun erikorkuiset erilliset rakennukset tai eri palo-osastoina olevat rakennuksen osat liittyvät toisiinsa (6, s. 88)

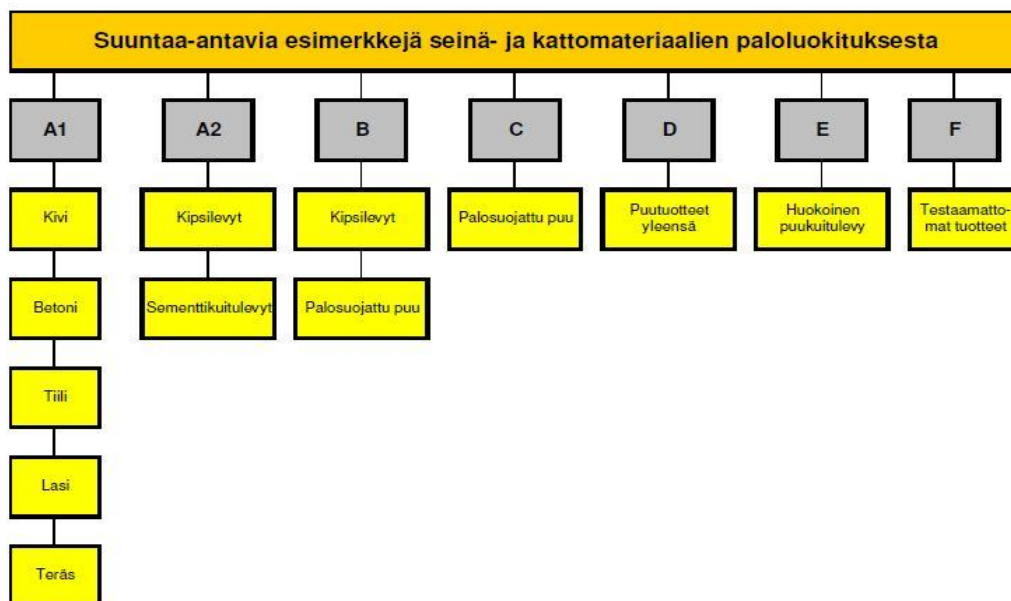
2.4.4 Rakennustarvikkeiden paloluokitus ja pintakerrosten määräykset

Rakennuksissa käytettäville rakennustarvikkeille on asetettu vaatimuksia, joissa otetaan huomioon tarvikkeiden vaikutus palon syttymiseen ja leviämiseen sekä savun ja palavien pisaroiden muodostuminen palossa. Tarvikkeet on näiden ominaisuuksien perustella jaettu luokkiin, joita kuvataan merkinnöillä A1, A2, B, C, D, E ja F sekä lisämääreillä s1, s2 ja s3 ja d0, d1 ja d2. Merkintöjen selitykset on kuvattu taulukossa 7. Suomessa ovat käytössä luokat A1; A2-s1, d0; B-s1, d0; B-s2, d0; C-s2, d1; D-s2, d2. (3, s. 3.)

TAULUKKO 7. Rakennustarvikkeiden paloluokitus (3, s. 3)

Vaikutus palon syttymiseen ja leviämiseen	
A1	Tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon
A2	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu
B	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu
C	Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti
D	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä
E	Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä
F	Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty
Savuntuotto	
s1	Savuntuotto on erittäin vähäistä
s2	Savuntuotto on vähäistä
s3	Savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia
Palavien pisaroiden muodostaminen	
d0	Palavian pisaroita tai osia ei esiinny
d1	Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti
d2	Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia

Esimerkkejä näiden luokkien rakennustarvikkeista on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Seinä- ja kattomateriaalien paloluokitus (10, s.2)

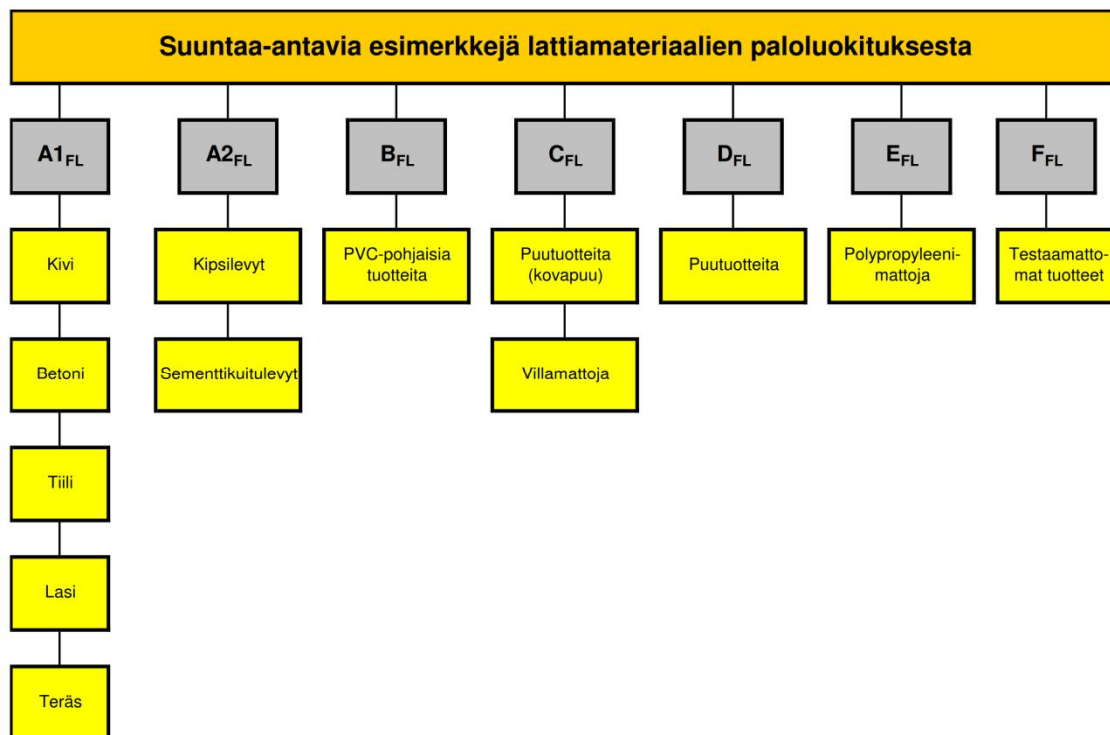
Tuotanto- ja varastorakennuksia koskevat sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Tuotanto- ja varastorakennusten sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset (3, s. 10)

Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset		Rakennuksen paloluokka		
		P1	P2	P3
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 _{FL} -s1	D _{FL} -s1	-
- Palovaarallisuusluokka 2	Seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
	Lattiat	A2 _{FL} -s1	A2 _{FL} -s1	A2 _{FL} -s1
Uloskäytävät	Seinät ja katot	A2-s1, d0	A2-s1, d0	B-s1, d0
	Lattiat	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
Ullakot ja kellarit				
- Käyttöullakot	Lattiat	A2 _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
- Käyttämättömät ullakot ja ontelot	Yläpohjan yläpinta	B-s1, d0	B-s1, d0	-
- Kellaritilat yleensä	Seinät ja katot	C-s2, d1	B-s1, d0	D-s2, d2
	Lattiat	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
- Teknisen huollon tilat	Seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
	Lattiat	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
	Kattilahuoneen lattiat	A2 _{FL} -s1	A2 _{FL} -s1	A2 _{FL} -s1

Julkisivujen ulkopinnat tulee P1-luokan tuotanto- ja varastorakennuksissa tehdä B-s1, d0 -luokkaisista tarvikkeista. P2- ja P3-luokan rakennuksissa ulkoverhousmateriaaliksi käy myös puu, eli luokan D-s2, d2 tarvikkeet. Tuuletusrakojen pinnat tulee valmistaa samoilla vaatimuksilla kuin julkisivujen ulkopinnat. Katteet tulee tehdä luokan B_{ROOF}(t2) tarvikkeista, joita ovat esimerkiksi tiilet, kivilaatat ja peltikatteet. (3, s. 11 - 12; 1, s. 45.)

Esimerkkejä lattiamateriaalien paloluokituksesta on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Lattiamateriaalien paloluokitus (10, s.2)

2.4.5 Kantavat rakenteet

Kantavien rakenteiden luokkavaatimus määräytyy taulukon 9 perusteella. Luokassa P1 rakenteiden oletetaan kestävän sortumatta koko palon ajan ja kantavuusvaatimus vaihtelee välillä R60 - R240. P2-luokassa kantavien maanpäällisten rakenteiden tulee olla luokkaa R30. P3-luokassa kantaville rakenteille on asetettu vaatimuksia vain alimmille kellarikerroksille. Mikäli kantava rakennusosa on osa osastoivaa rakennetta, jolle vaaditaan pidempää palonkestoaikaa,

on myös kantavat rakenteet toteutettava pidemmän palonkestoaikavaatimuksen mukaan. (3, s. 6 - 8; 4, s. 3.)

Taulukossa 9 esitettyjä lievennyksiä enintään kaksikerroksisen rakennuksen yläpohjan rakenteille voidaan toteuttaa, mikäli yläpohjan lämmöneristeenä käytetään A2-s1, d0 -luokan eristettä ja palo-osastointi on tehty määräysten mukaan. Lisäksi rakennus tulee suunnitella siten, että katastrofitilanteessa rakennuksen jonkin osan sortuessa koko rakennus ei pääse sortumaan. (3, s. 6 - 8; 4, s. 3.)

Luokkavaatimukseen sallitaan myös yksikerroksisissa tuotanto- ja varastorakennuksissa lievennyksiä, kun rakennuksen paloturvallisuutta on parannettu automaattisella sammutusjärjestelmällä tai kantavat rakenteet on tehty vähintään luokan A2-s1, d0 -luokan rakennustarvikkeista (taulukko 9). Lievennykset mahdollistavat esimerkiksi P2-luokan rakennuksen kantavien rakenteiden toteuttamisen R15-luokkavaatimusten mukaan, kun luokkavaatimus ilman automaattista sammutusjärjestelmää ja palamattomia rakenteiden materiaaleja on R30. (3, s. 6 - 8; 4, s. 3.)

TAULUKKO 9. Teollisuusrakennusten kantavien rakenteiden luokkavaatimukset
(3, s. 7; 4, s. 3)

	Rakennuksen paloluokka									
	P1				P2				P3	
	Palokuorma MJ/ m2				Palokuorma MJ/ m2				PVL 1: PVL 2:	
	Yli 1200	600-1200	Alle 600	Kaikki palokuormaryhmät	Yli 1200	600-1200	Alle 600	Kaikki palokuormaryhmät		
Yksikerroksinen tuotanto- ja varastorakennus Automaattinen sammutuslaitteisto				R15 / R30				R15		-
Enintään 2-kerroksinen rakennus yleensä Jos rakennuksen eristeet eivät ole vähintään luokkaa A2-s1, d0 Kellarit	R120*	R90*	R60*		R30	R30	R30			-
	R120	R90	R60		R30	R30	R30			-
	R120	R90	R60		R30	R30	R30			Ei mahd.
3-8 kerroksinen rakennus	R180	R120	R60		Ei mahd.	Ei mahd.	Ei mahd.			Ei mahd.
Yli 8 kerroksinen rakennus	R240	R180	R120		Ei mahd.	Ei mahd.	Ei mahd.			Ei mahd.
Ylimmän maanalaisen kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset	R240	R180	R120		R240	R180	R120			R60
Yläpohjan rakenteiden vaatimukset enintään 2-kerroksisessa rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa, kun <u>yläpohjan eristeet</u> luokkaa A2-s1, d0 TAI suojattu P1-luokan rakennuksessa E160, P2-luokan rakennuksessa E130 rakenteilla										-
Rakenteet, jotka <u>ovat</u> kantavan rungon tai jäykisteiden olennainen osa	R60	R60	R60		R30	R30	R30			-
Rakenteet, jotka <u>eivät ole</u> kantavan rungon tai jäykisteiden olennainen osa	R15	R15	R15		R15	R15	R15			-
Huomautukset:	Kantavan rungon tai jäykisteiden olennaisia osia ovat pääkannattajat, runkoa jäykistävät sekundaarikannattajat ja yläpohjan jäykisteet ja muut sellaiset yksittäiset rakenteet, jotka toimivat yläpohjan stabiliteetin säilyttämiseksi, sekä näiden väliset liitokset.									
Merkinnät:	* = rakennuksen eristeiden tulee olla vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista. RXX = (lihavoidut kohdat) kantavat rakenteet tehtävä vähintään luokan A2-s1,d0 tarvikkeista - = ei luokkavaatimusta PVL = palovaarallisuusluokka									

3 TERÄSRAKENTEIDEN PALOMITOITUS JA –SUOJAUS

Teräsrakenne menettää kantokykynsä nopeasti palotilanteessa, sillä teräksen lujuus ja kimmokerroin heikkenevät lämpötilan noustessa. Tämän takia kantavat teräsrakenteet on tavallisesti palosuojattava. (11, s. 5.)

Palomitoituksella varmistetaan, että rakenne kestää vaaditun palonkestoajan joko suojaamattomana tai palosuojaa-aineella suojattuna. Palomitoituksessa käytetään palotilanteen kuormitusten mukaisia rasituksia, valitun palomallin mukaisia lämpötiloja sekä teräsrakenteen palotilanteen lämpötilojen mukaisia kestävyksiä ja materiaaliominaisuuksia. Yleensä R15-luokkainen rakenne kestää palotilanteessa ilman suojausta. Tarvittavan suojauspaksuuden mitoitus voidaan suorittaa laskennallisena mitoituksena tai taulukkomitoituksena. (12, s. 125 - 139.)

3.1 Palotilanteen kuormitus

Palonaikaiset voimasuureet lasketaan palonaikaisilla kuormilla, jotka saadaan kaavan 1 yhdistelystä. Palotilanteen kuormat lasketaan ilman varmuuskertoimia. Määräävän muuttuvan kuorman ollessa lumi-, jää- tai tuulikuorma käytetään yhdistelykerrointa $\Psi_{1,1}$. Muissa tapauksissa käytetään kerrointa $\Psi_{2,1}$. Palotilanteen kuormitukset ovat huomattavasti pienempiä kuin normaalitilanteen kuormitusyhdistelyllä saatavat kuormitukset. (13, s. 74; 14, s. 6.)

$$G_{k,j} + A_d + (\Psi_{1,1} \text{ tai } \Psi_{2,1})Q_{k,1} + \sum_{i>1} \Psi_{2,i}Q_{k,i} \quad \text{KAAVA 1}$$

$G_{k,j}$ = pysyvän kuorman ominaisarvo

A_d = onnettomuuskuorman mitoitusarvo

$\Psi_{1,1}$ = määräävän muuttuvan kuorman yhdistelykerroin Ψ_1

$\Psi_{2,1}$ = määräävän muuttuvan kuorman yhdistelykerroin Ψ_2

$Q_{k,1}$ = määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo

$Q_{k,i}$ = muun muuttuvan kuorman ominaisarvo

3.2 Palotilan lämpötila

Palotilassa olevan kaasun lämpötila on oleellinen tekijä teräsrakenteen palonai-kaista lämpötilaa selvitettäessä. Tulipalon käyttäytymistä pyritään mallintamaan erilaisten palomallien ja lämpötila-aikakäyrien avulla. Palotilan lämpötila määri-tetään valitun palomallin eli lämpötila-aikakäyrän mukaan. Standardissa SFS-EN 1991-1-2 esitetään nimellisinä lämpötila-aikakäyrinä standardipalon käyrä, ulkopuolisen palon käyrä ja hiilivetykäyrä. Näistä standardipalo on erityisesti rakenteiden ja rakennusaineiden testausta ja paloluokittelua varten kehitetty lämpötila-aikakäyrä. Lisäksi standardissa esitetään luonnollisen palon yksinker-taistetut palomallit; parametrinen huonepalo, ulkopuolisiin rakenneosiin vaikut-tavat lämpörasitukset ja paikallisen palon malli. (11, s. 126; 15; 17, s. 18.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään ja käytetään vain rakenteiden palomitoituk-sessa yleisesti käytettyä testistandardiin EN1363-1:2000 perustuvaa standardi-palomallia. Usein standardipalokäyrän esittämisen yhteydessä viitataan van-haan standardiin ISO 834-1:1999. Palotilan lämpötila standardipalossa saadaan kaavalla 2. (12, s. 126; 15, s. 40.)

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

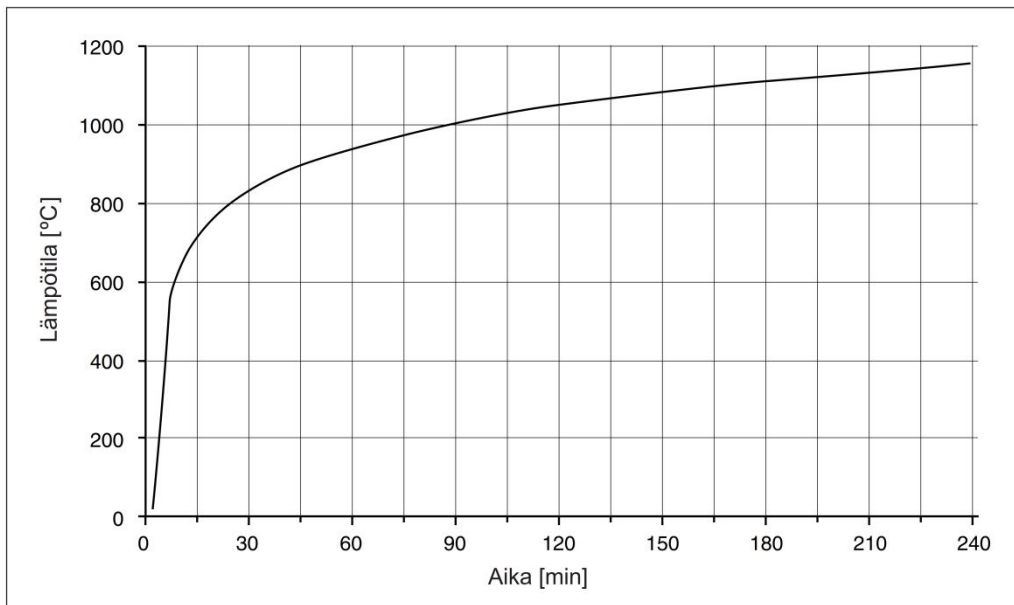
KAAVA 2

θ_g = kaasun lämpötila palotilassa [°C]

20 = alkulämpötila [°C] (normaali huoneenlämpötila)

t = aika [min]

Palotilan lämpötilan kehitys on esitetty kuvassa 9



KUVA 9. Standardipalon lämpötila-aikakäyrä (18, s. 337)

3.3 Teräsrakenteiden palomitoitus

Teräsrakenteiden palomitoitus voidaan tehdä yksinkertaisten laskentamallien, kehittyneiden laskentamallien tai toiminnallisen palomitoituksen keinoilla. Yksinkertaiset laskentamallit olettavat teräsprofiilin poikkileikkauksen lämpötilajakauman tasaiseksi ja niillä voidaan tarkastella yhtä rakenneosaa kerrallaan. Kehittyneillä laskentamalleilla voidaan ottaa huomioon lämpötilan epätasaista jakautumista profiilissa sekä tarkastella koko rakennetta tai osaa rakenteesta. Toiminnallisessa palomitoituksessa pyritään huomioimaan palotilanteen lämpötilan kehitys ja teräsrakenteen käyttäytyminen palossa tilannekohtaisesti ja todellista tilannetta mallintamalla. (12, s. 126.)

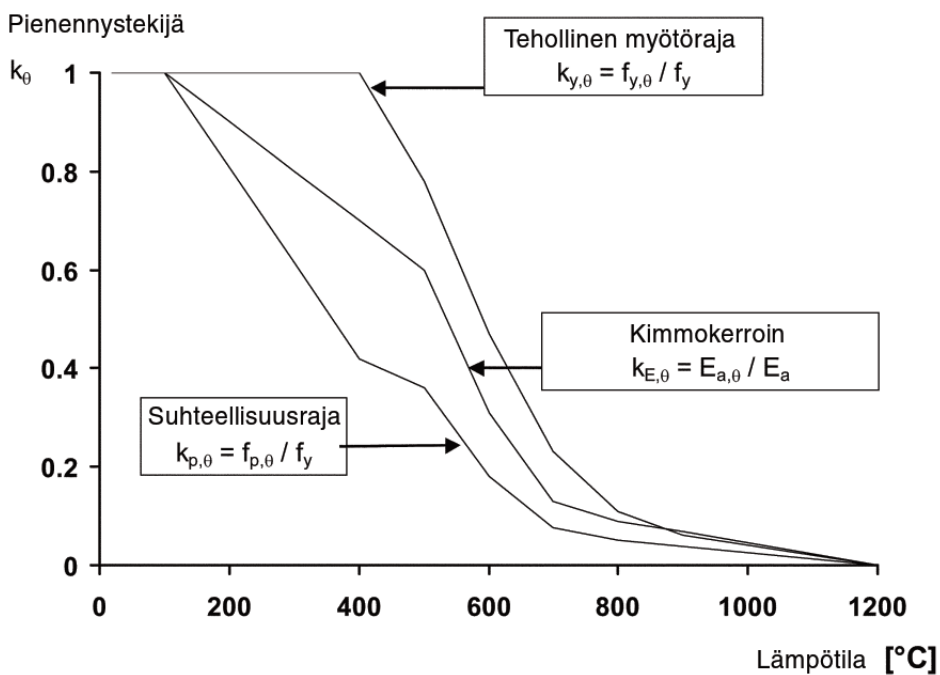
Tässä opinnäytetyössä perehdytään mitoitusstandardin SFS-EN 1993-1-2 mukaan. Standardissa on annettu ohjeet teräsrakenteiden palomitoitukseen yksinkertaisilla laskentamalleilla, joilla tarkastelu kohdistuu yksittäisiin rakenneosiin ja saadaan varmallalla puolella olevia ratkaisuja. (16, s. 26.)

3.3.1 Mitoituksen kulku

Teräsrakenteen palomitoitusprosessissa selvitetään ensin rakenteen palotilanteen kuormitus. Vaaditun palonkestoajan, valitun lämpötila-aikakäyrän ja käytetyn profiilin poikkileikkaustietojen perusteella lasketaan rakenneosan lämpötila. Saadun lämpötilan perusteella saadaan pienennyskerroimet myötölujuudelle ja kimmokerroimelle. Pienennyskerroimien ja palotilanteen kuormitusten perusteella lasketaan rakenneosan kestävyys. Jos kestävyys ei ole riittävä, täytyy rakenne palosuojata. (11, s. 36; 12, s. 135.)

3.3.2 Teräsrakenteen kestävyys palotilanteessa

Kuvan 10 kuvaajasta havaitaan, että teräksen lujuus alkaa heiketä, kun lämpötila on yli 400 °C. Kimmokerroin sen sijaan alkaa pienentyä jo, kun lämpötila on yli 100 °C. (16, s. 22.)



KUVA 10. Teräksen lujuuden ja kimmokerroimen pienennystekijät lämpötilan funktiona (18, s. 339)

Teräsrakenteet voidaan palomitoittaa määrittämällä ensin rakenteen maksimilämpötila, jonka perusteella rakenteen kestävyys tarkistetaan eri murtoarajatilais-

sa. Kestävyystarkastelussa otetaan huomioon palkkien kiepahduksen ja lommahduksen vaikutukset sekä pilareiden nurjahduksen vaikutukset. (11, s. 36.)

Teräsrakenteen kestävyys on riittävä kun rakenneosassa vaikuttavan rasitus palotilanteessa on pienempi kuin rakenneosan kestävyys palotilanteessa. Mitoitusehto on kaavan 3 mukainen. (16, s. 26.)

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$$

KAAVA 3

$E_{fi,d}$ = voiman tai momentin mitoitusarvo palomitoitustilanteessa

$R_{fi,d,t}$ = teräsrakenneosan vastaava kestävyden mitoitusarvo palotilanteessa ajanhetkellä t

Palotilanteen kestävyysien laskennassa käytetään taulukon 10 mukaisia pienennyskertoimia teholliselle myötörajalalle, suhteellisuusrajalle sekä kimmokerroimelle, jotka valitaan teräksen palotilanteen lämpötilan mukaan. Myös teräsprofiilin poikkileikkausluokitus poikkeaa palotilanteessa huoneenlämpötilassa määritetystä poikkileikkausluokasta. Palotilanteen kestävyysien laskentaan on annettu menetelmät standardissa SFS-EN 1993-1-2. (16, s. 25 - 39.)

TAULUKKO 10. Hiiliteräksen jännitys-venymäyhteyden pienennystekijät korkeissa lämpötiloissa (18, s. 339)

Teräksen lämpötila	Pienennystekijät lämpötilassa θ_a suhteessa 20 °C lämpötilaa vastaaviin arvoihin			
	Tehollisen myötölujuuden pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y)	Suhteellisuusrajan pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y)		Kimmokertoimen pienennystekijä (suhteessa arvoon E_a)
		PL-luokat 1-3	PL-luokka 4	
θ_a	$k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	$k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$	$k_{p0,2,\theta} = f_{p0,2,\theta} / f_y$	$k_{E,\theta} = E_{y,\theta} / E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,00	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,00	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,89	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,78	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,65	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,53	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,30	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,13	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,07	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,05	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,03	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,02	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,00	0,0000

Väliarvot lämpötilan suhteen saadaan lineaarista interpolointia käyttäen.

Teräksen lämpötila palotilanteessa voidaan selvittää standardissa EN1993-1-2 annetuilla kaavoilla. Teräsprofiilin lämpötilankehitys riippuu palonkestoajasta, palotilan kaasun lämpötilasta sekä profiilin poikkileikkaustekijästä A_m/V , josta on usein käytetty myös merkintää F/A . Poikkileikkaustekijällä tarkoitetaan teräsosan palolle alttiin pinnan suhdetta osan tilavuuteen. Lämpötilat lasketaan eri tavoin suojaamattomalle ja suojatulle teräsprofiilille. Suojatun profiilin lämpötilan kehitykseen vaikuttavat myös käytetyn palosuojamateriaalin ominaisuudet. (16, s. 35 - 38.)

Teräsrakenteen maksimilämpötilan on oltava pienempi kuin rakenteen kriittinen lämpötila, jotta kestävyys olisi riittävä. Kriittinen lämpötila on lämpötila, jossa rakenteen kuormituksen laskenta-arvo on yhtä suuri kuin siihen kohdistuvan rasituksen laskenta-arvo. Kriittinen lämpötila saadaan selville iteroimalla eri lämpötilojen perusteella saatuja lujuuden ja kimmokertoimen pienennyskerroimia lujuuden ja stabiliteetin tarkistaviin kaavoihin. Iterointia jatketaan, kunnes rakenteen kestävyuden laskenta-arvo on yhtä suuri kuin siihen kohdistuvan rasi-

tuksen laskenta-arvo. Mitä pienempi kriittinen lämpötila on, sitä huonommin profiili kestää palotilanteessa. (11, s. 36.)

3.3.3 Yksinkertaistettu mitoitusehto

Yksinkertaistettua mitoitusehtoa käytettäessä saadaan rakenteen kriittinen lämpötila selvitettyä paljon nopeammin ja helpommin kuin tavanomaista kestävyyslaskentaa käyttämällä. Yksinkertaistetun mitoituksen käytölle on kuitenkin annettu ehdoksi, että lämpötilajakauma poikkileikkauksessa on tasainen ja palkkien kiepahduksen ja lommahduksen vaikutuksia sekä pilareiden nurjahduksen vaikutuksia ei tarvitse ottaa huomioon. (16, s. 34.)

Yksinkertaistetussa tarkastelussa teräsprofiilin palotilanteen lämpötilaa verrataan teräsrakenteen kriittiseen lämpötilaan. Mitoitusehto on kaavan 4 mukainen. (16, s. 34.)

$$\theta_a \leq \theta_{a.cr}$$

KAAVA 4

θ_a = teräksen lämpötila ajan hetkellä t

$\theta_{a.cr}$ = teräsrakenteen kriittinen lämpötila

Teräsrakenteen kriittinen lämpötila voidaan yksinkertaistetussa tapauksessa laskea kaavalla 5 (16, s. 34).

$$\theta_{a.cr} = 39,19 * \ln \left[\frac{1}{0,9674 * \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482$$

KAAVA 5

θ_a = teräksen lämpötila ajan hetkellä t

μ_0 = hyväksikäyttöaste ajan hetkellä $t = 0$, μ_0 :n arvon tulee olla vähintään 0,013

Hyväksikäyttöaste μ_0 lasketaan vertaamalla rakenneosan palotilanteen rasitusta vastaavaan kestävyysarvoon ajan hetkellä $t = 0$ (kaava 6) (16, s. 33).

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}}$$

KAAVA 6

$E_{fi,d}$ = voiman tai momentin mitoitussarvo palomitoitustilanteessa

$R_{fi,d,0}$ = teräsrakenteen vastaava kestävyysarvo palotilanteessa ajanhetkellä $t = 0$

3.4 Teräsrakenteen palosuojaus

Palosuojaus toteutetaan eristämällä paljas teräspinta materiaalilla, jonka lämmöneristävyytensä ja/tai sitomiskykynsä ansiosta hidastaa lämmönsiirtymistä palotilasta teräsrakenteeseen. Suojaus voidaan myös toteuttaa rakenteellisin keinoin tai teräksen lämmönsitomiskykyä nostamalla. Suojaustapoja on paljon, eikä niitä voida laittaa paremmuusjärjestykseen. Käytettävä palosuojaustapa tai -materiaali määritetään tapauskohtaisesti asennus- ja käyttöolosuhteiden, rakenteen vaaditun palonkeston sekä suojauksen kustannusten perusteella. Suojauksen kustannuksia vertailtaessa on otettava huomioon hankinta- ja asennuskustannusten lisäksi myös huoltokustannukset. (12, s. 126.)

3.4.1 Palosuojaus eristämällä

Käytettävien palosuojatuotteiden tulee olla testattuja ja käyttötarkoitukseensa hyväksytyjä. Tuotteiden tulee täyttää vaatimuksia muun muassa paikallaan ja yhtenäisenä koossa pysyvyytensä perusteella. Palosuojatuotteille hyväksynnäksi kelpaa esimerkiksi rakennustuotteen vapaaehtoisen eurooppalaisen teknisen arvioinnin, eli ETA-arvioinnin, perusteella myönnetty CE-merkintä. ETA-hyväksyntädokumenteissa annetaan tuotteen tekniset ominaisuudet, rajoitukset käyttöolosuhteille, soveltuvat kiinnitys- ja asennustavat sekä taulukot tms. tiedot riittävän suojauspaksuuden määrittämiseen. (19, 24.)

Palosuojaeristys voidaan toteuttaa levyillä tai ruiskutteilla. Levyt kiinnitetään mekaanisesti tai liimaamalla teräsrakenteen pintaan. Ruiskutteet voidaan ruiskuttaa joko suoraan teräsrakenteen pintaan tai teräsverkon avulla koteloksi profiilin ympärille. Ruiskutteiden ja levyjen tarvittavat paksuudet voidaan mitoittaa tuotevalmistajien taulukoiden mukaan tai optimoimalla paksuus tuotteen ominaisuuksien perusteella. (18, s. 369.)

Teräsrakenteet voidaan myös maalata palosuojamaaleilla. Palosuojamaalit reagoivat palotilanteessa lämpöön paisumalla muodostaen eristekerroksen, joka hidastaa teräsrakenteen lämpötilan nousua. Palosuojamaalien mekaaninen kestävyys ja kosteudenkesto ovat huonompia kuin tavallisten korroosionesto-
maalien. Tästä johtuen palosuojamaaleja käytetään lähinnä vain kuivissa sisäti-

loissa. Palosuojaamaalien paksuuden mitoitus tehdään tuotevalmistajien taulukoita käyttämällä. (21, s. 5.)

3.4.2 Suojauspaksuuden määrittäminen

Tarvittava palosuojaeristeen paksuus voidaan selvittää joko tuotevalmistajien taulukoiden perusteella tai optimoimalla paksuus laskemalla. Mitä paksumpi suojaus on, sen hitaammin teräksen lämpötila nousee. (11, s. 36.)

Palosuojaeristeen paksuus voidaan valita palosuojamateriaalien valmistajien taulukoista käytetyn profiilityypin, profiilin poikkileikkaustekijän, kriittisen lämpötilan ja vaaditun palonkestoajan perusteella. Esimerkki tällaisesta taulukosta on esitetty taulukossa 11. (25, s. 3.)

TAULUKKO 11. Promatect -H -palosuojaeristeen paksuuden mitoitus taulukko (23, s. 7)

PROMATECT® -H (tiheys 870 kg/m ³)		
Palonkesto aika (min)	F/A arvo	Paksuus (mm)
30	0-115	8
	116-150	10
	151-195	12
	196-274	15
60	0-50	10
	51-65	12
	66-90	15
	91-110	18
	111-130	20
	131-155	22
90	156-200	25
	201-274	30
	0-45	15
	46-60	18
	61-65	20
	66-75	22
	76-90	25
	91-125	30
120	126-180	35
	181-274	40
	0-50	22
	51-60	25
	61-75	30
	76-100	35
	101-130	40
	131-274	50

Palosuojauksen paksuus voidaan myös optimoida laskemalla, kun tiedetään käytettävän palosuojamateriaalin tiheys (kg/m³), lämmönjohtavuus (W/mK) ja ominaislämpökapasiteetti (J/kgK). Optimointi vaatii samanlaista iterointia kuin kriittisen lämpötilan määrittäminen. (11, s. 36.)

Optimoinnissa lasketaan palosuojatun teräsrakenteen lämpötila, jonka perusteella taulukosta 9 saadaan pienennystekijät kimmokertoimelle ja myötölujuudelle. Pienennystekijöiden perusteella selvitetään rakenteen käyttöaste samalla periaatteella kuin suojaamattoman rakenteen mitoituksessa. Suojauspaksuutta muutetaan, kunnes saadaan rakenteelle halutun suuruinen käyttöaste. Tämä voi vaatia useita laskentakierroksia. (11, s. 36.)

3.4.3 Palosuojaus teräksen lämmönsitomiskykyä nostamalla

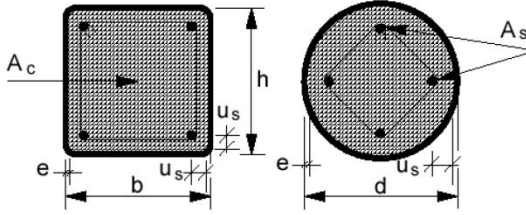
Putkiprofiilien lämmönsitomiskykyä voidaan kasvattaa valamalla profiili täyteen betonia. Raudoitus lisää kantavuutta ja palonkestoaikaa. Normaalitilanteessa betonitäytteinen putki toimii liittorakenteena ja palotilanteessa raudoitettu betoni alkaa kantaa kuormituksia. (18, s. 372.)

Betonitäytteisen rakenneputken palomitoitus voidaan tehdä yksinkertaisesti taulukon 12 mukaan. Taulukon arvot riippuvat pilarin kuormitustasosta $\eta_{fi,t}$. Taulukon käytölle on annettu seuraavat ehdot:

- Putken myötölujuus f_y on teräslajista riippumatta 235 MPa.
- Putken seinämän paksuudesta e huomioidaan korkeintaan 1/25 pienimmästä poikkileikkauksen ulkomitasta b tai d .
- Betonin lujuutena käytetään normaalilämpötilan arvoa.
- Huomioon otettava raudoitussuhde on $A_c / (A_c + A_s) \leq 3 \%$. (26, s. 43.)

Liitopilarin taulukkomitoitus antaa varmalla puolella olevia ratkaisuja. Lisäksi ongelmaksi voi muodostua taulukon antaman raudoitusmäärän mahtuminen putken poikkileikkaukseen. Tarkempi mitoitus voidaan tehdä standardissa SFS-EN-1994-1-2 esitettyin keinoin. (26, s. 44; 27, s. 106.)

TAULUKKO 12. Betonitäytteisen rakenneputken palomitoitus (26, s. 44)

		Standardipalonestävyys				
		R30	R60	R90	R120	R180
teräsprofiili: $(b/e) \geq 25$ tai $(d/e) \geq 25$						
1	Kuormitustasoa $\eta_{f,t} \leq 0,28$ vastaavat pienimmät poikkileikkaus mitat					
1.1	Pienimmät sivumitat h ja b tai pienin halkaisija d [mm]	160	200	220	260	400
1.2	Pienin raudoitussuhde $A_s / (A_c + A_s)$ prosentteina	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Betoniterästankojen pienin keskiöetäisyys u_s [mm]	–	30	40	50	60
2	Kuormitustasoa $\eta_{f,t} \leq 0,47$ vastaavat pienimmät poikkileikkaus mitat					
2.1	Pienimmät sivumitat h ja b tai pienin halkaisija d [mm]	260	260	400	450	500
2.2	Pienin raudoitussuhde $A_s / (A_c + A_s)$ prosentteina	0	3,0	6,0	6,0	6,0
2.3	Betoniterästankojen pienin keskiöetäisyys u_s [mm]	–	30	40	50	60
3	Kuormitustasoa $\eta_{f,t} \leq 0,66$ vastaavat pienimmät poikkileikkaus mitat					
3.1	Pienimmät sivumitat h ja b tai pienin halkaisija d [mm]	260	450	550	–	–
3.2	Pienin raudoitussuhde $A_s / (A_c + A_s)$ prosentteina	3,0	6,0	6,0	–	–
3.3	Betoniterästankojen pienin keskiöetäisyys u_s [mm]	25	30	40	–	–

Putkiprofiili voidaan myös täyttää vedellä. Tämä lisää huomattavasti rakenteen lämmönsitomiskykyä. Vaikutusta voidaan tehostaa yhdistämällä putket yläpuoliseen vesisäiliöön, jolloin vesi pääsee tulipalotilanteessa höyrystyessään kiertämään. (18, s. 373.)

3.4.4 Palosuojaus rakenteellisilla keinoilla

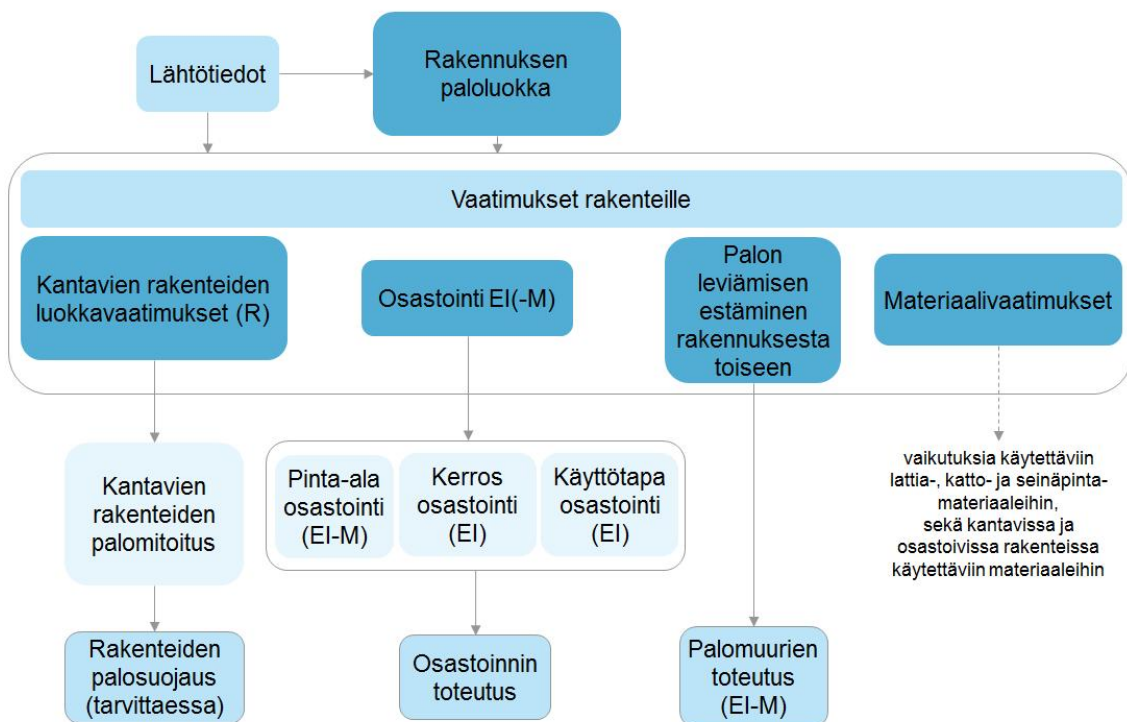
Teräsrakenteet voidaan suojata palolta rakenteellisesti. Kun esimerkiksi pilarit sijoitetaan paloalttiin tilan ulkopuolelle ja seinärakenne pilareiden ja palotilan välissä on osastoiva, ei pilareille tarvitse erillistä palosuojausta. Myös sijoittamalla pilarit seinärakenteen sisään voidaan pilareiden palosuojausta keventää tai joissain tapauksissa myös jättää kokonaan tekemättä. Pilareiden kohdalla on seinärakenteissa käytettävä palamattomia materiaaleja, jotta seinärakenteen suojaava vaikutus voidaan ottaa huomioon. (18, s. 373.)

Palkit ja liitokset voidaan palosuojata kokonaan tai osittain alaslasketuilla katoilla. Käytettäessä alaslaskettuja kattoja palosuojauksena täytyy huomiota kiinnittää alaslaskukattojen kiinnikkeiden kestävyys palotilanteessa. (18, s. 373.)

4 PALOSUUNNITTELUOHJE

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda ohje, jossa on yhteen dokumenttiin koottuna kaikki oleellinen tieto teollisuusrakennusten palo-osastoinnin ja kantavien teräsrakenteiden suunnitteluun.

Ohjeen rakenne muotoiltiin noudattelemaan tavanomaista, kuvan 11 mukaista, teollisuuskohteen palosuunnitteluprosessia. Alkuun koottiin teollisuusrakennusten rakenteita koskevat palomääräykset ja -ohjeet, joiden perusteella saatiin määritettyä rakennuksen paloluokka ja vaatimukset kantaville ja osastoiville rakenteille. Näiden määrittämisen jälkeen listattiin keinoja ja esimerkkirakenteita, joilla osastoivat rakenteet voidaan toteuttaa, sekä seikkoja, jotka täytyy osastoivien rakenteiden suunnittelussa ottaa huomioon.



KUVA 11. Teollisuusrakennusten palosuunnittelu

Kantavien rakenteiden osalta ohje rajattiin käsittelemään vain teräsrakenteiden palomitoitusta ja -suojausta. Teräsrakenteiden palomitoituksesta koottiin oleellimmat huomioon otettavat seikat ja ohjeet mitoituksen suorittamiseen. Lisäksi

ohjeeseen listattiin muutamia teräsrakenteiden palosuojaustuotteita ja -menetelmiä sekä ohjeistus eristesuojauksen paksuuden määrittämiseen. Ohjeen liitteessä esitettiin esimerkkilaskelmat teräsrakenteiden palomitoituksesta.

Laadittu palosuunnitteluohje on esitetty liitteessä 3.

4.1 Määräykset ja rakenteiden vaatimukset

Palosuunnitteluohjeeseen koottiin tiivistetysti tuotanto- ja varastorakennusten rakenteellista paloturvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet. Koonti tehtiin pääasiassa Suomen rakentamismääräyskokoelman osien E1 ja E2 pohjalta. Lisäksi käytiin läpi sähkö- ja muuntajajärjestelmien koskevaa SFS 6001 -standardia sekä ilmanvaihtolaitteistojen koskevaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa E7. Palosuunnitteluohjeeseen kirjattiin ohjeet rakennuksen paloluokan määrittämiseen, kantavien rakenteiden luokkavaatimusten määrittämiseen sekä osastoinnin vaatimusten määrittämiseen.

Määräyksissä ja ohjeissa esitetyt taulukot olivat useassa tapauksessa laajoja ja sisälsivät teollisuusrakentamisen kannalta paljon ns. turhaa tietoa. Tällaisten taulukoiden tietoja karsittiin koskemaan vain teollisuusrakentamisessa yleensä esiintyviä tapauksia ja ne esitettiin selkeämmässä ja helpommin tulkittavassa muodossa. Myös muita tietoja ja ohjeita, joita ei lähteissä ollut esitetty taulukoituna, koottiin ohjeeseen taulukkomuotoon. Taulukkomuotoisilla esityksillä pyrittiin helpottamaan oleellisten tietojen löytymistä ohjeesta.

4.2 Osastoivat rakennusosat

Osastoinnin suunnitteluun liittyen ohjeeseen koottiin tietoja käytettävissä olevista ratkaisuista, yleisistä vaatimuksista osastoiville rakenteille sekä osastoivien rakenteiden ongelmakohtista. Ohjeeseen kerättiin perustietoja tyypillisimpien teollisuusrakennusten osastoivien rakenteiden toteutusvaihtoehdoista.

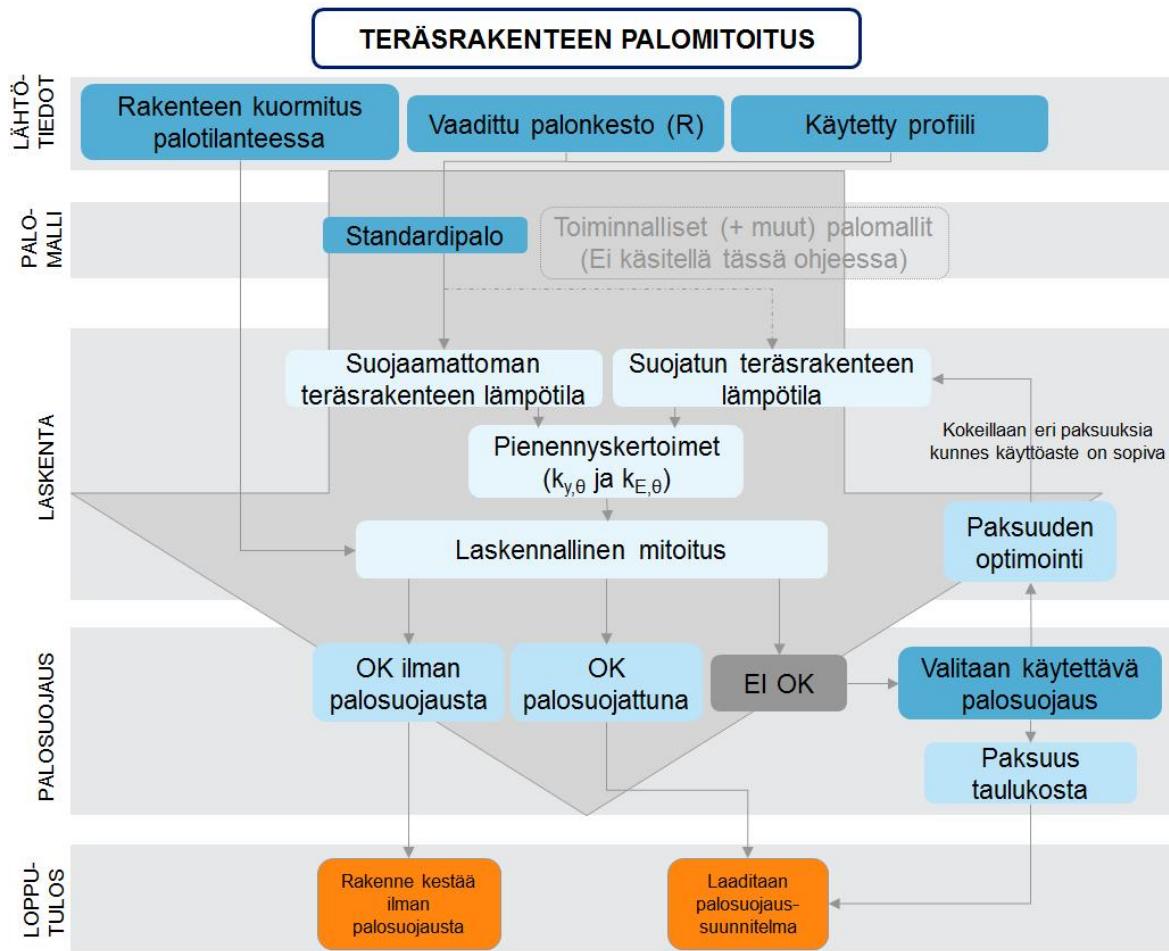
Osastoivien rakenteiden ja palomuurien suunnittelua varten ohjeeseen koottiin tietoja rakenteiden vähimmäispaksuuksista ja niihin liittyviä muita ehtoja. Tietoja koottiin sandwich-paneeleista, betonirakenteista, muuratuista rakenteista sekä kipsilevyrankarakenteista. Tiedot saatiin Eurokoodeista sekä tuotevalmistajien

dokumenteista. Standardeissa esitettyjä mitoituslaskukoita karsittiin ja yksinkertaistettiin ohjeen luettavuuden parantamiseksi.

Ohjeeseen kirjattiin myös palomureja ja osastoivia rakenteita koskevia muita huomioon otettavia asioita, joita ovat vaatimukset osastoivassa rakenteessa tai palomuurissa oleville aukoille, oville, ikkunoille sekä läpivienneille. Myös vaadittavat palomuurirakenteiden ulotukset vesikatolla ja seinälinjoilla kirjattiin ohjeeseen.

4.3 Kantavat teräsrakenteet

Ohjeeseen tehtiin kuvassa 12 esitetty kaavio teräsrakenteiden palomitoituksen toteuttamisesta. Varsinaiseen mitoituslaskentaan tarvittavia kaavoja ei katsottu tarpeelliseksi lisätä ohjeeseen, sillä ne löytyvät kokonaisuudessaan standardista SFS-EN 1993-1-2. Ohjeeseen sisällytettiin palotilanteen kuormitusten selvittämiseen tarvittavat kaavat. Lisäksi laadittiin yksinkertainen kuormitusyhdistelyesimerkki havainnollistamaan palotilanteen kuormitusten selvittämistä. Ohjeessa kuvailtiin myös teräsrakenteen kriittisen lämpötilan merkitys ja keinot sen selvittämiseen.

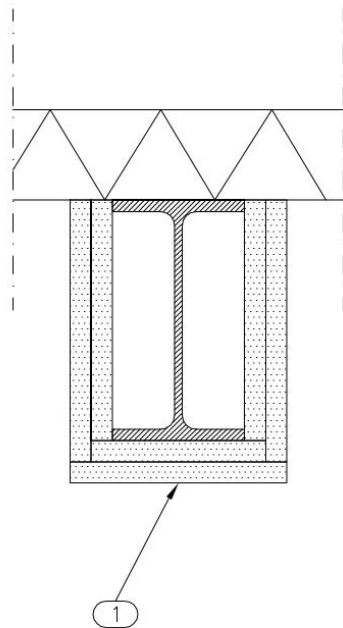


KUVA 12. Teräsrakenteiden palomitoitus

Ohjeessa annettiin keinot palosuojauksen paksuuden määrittämiseen taulukkomitoituksella sekä tarkemmalla laskennalla sekä esitettiin olemassa olevien palosuojamateriaalien ja -menetelmien ominaisuuksia. Tuotevalmistajien ohjeiden ja esitteiden perusteella saatiin selville kullekin menetelmälle maksimipalolonkestoajat, käyttöluokat sekä mitoituksessa tarvittavia lämpöteknisiä ominaisuuksia. Palosuojatuotteiden ja palosuojauksen kustannuksia ei käsitelty tämän oppinäytetyön yhteydessä.

Palosuojauksen toteutuksesta koottiin lisäksi AutoCAD-ohjelmalla tyyppiratkaisukirjasto, johon koottiin detaljipiirustukset yleisimmistä palosuojatuista palkki- ja pilarirakenteista. Piirustukset tehtiin periaatetasoisiksi, ilman tietoja kiinnityksistä ja muista tarkoista detaljeista, jolloin niitä voidaan jatkossa helposti muokata projektien palosuojaussuunnitelmissa käytettäväksi piirustuksiksi (kuva 13).

Laaditut detailjpiirustukset on esitetty liitteenä 3 olevan palosuunnitteluohjeen liitteissä.



PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
KIINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

KUVA 13. Esimerkki palosuojausten mallipiirustuksesta

Teräsrakenteiden palomitoituksesta esitettiin esimerkkilaskelmat palosuunnitteluohjeen liitteenä. Lisäksi tämän opinnäytetyödokumentin liitteessä 2 on esitetty teräspilarin palomitoituslaskelmaesimerkki.

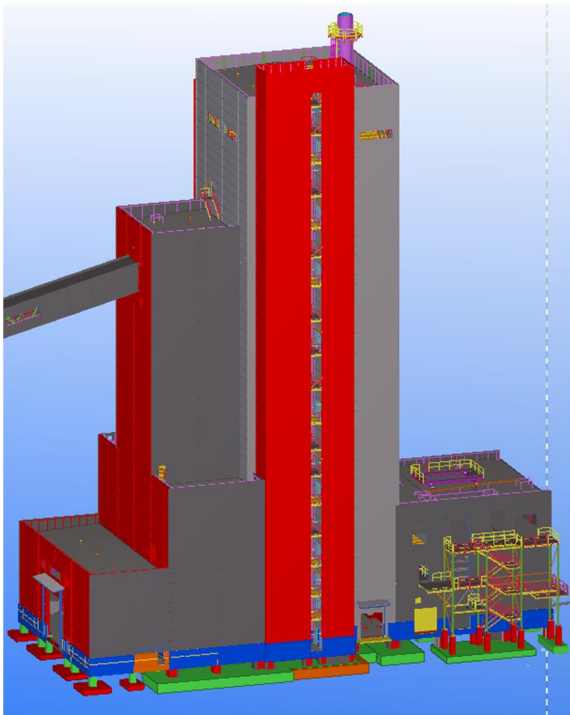
5 TEOLLISUUSKOHTTEEN RAKENTEELLINEN PALOTURVALLISUUS JA TERÄSRAKENTEIDEN PALOMITOITUS

Opinnäytetyössä perehdyttiin palosuunnitteluun tutustumalla Pöyryn vuonna 2014 suunnittelemaan projektiin. Esimerkkikohde oli raskaan teollisuuden käyttöön toteutetun kivihillen jauhatus- ja kuivatuslaitoksen sähkö- ja LVI-tila.

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi esimerkkikohteelle asetetut rakenteelliset paloturvallisuusvaatimukset. Lisäksi osa esimerkkikohteen teräsrakenteista palomitoitettiin ja saatuja tuloksia verrattiin aiemmin saatuihin palosuojausratkaisuihin.

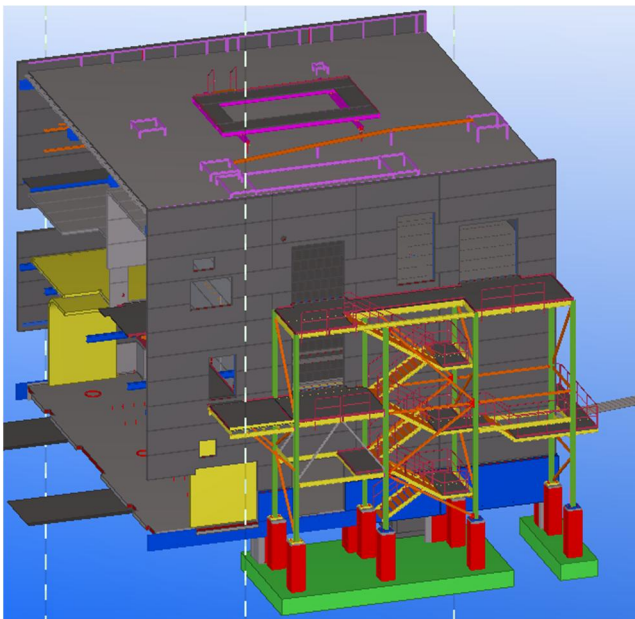
5.1 Kohteen tiedot ja vaatimukset rakenteille

Esimerkkikohde on kuvassa 14 rakennuksen oikeassa päädyssä näkyvä matalampi rakennuksen osa.



KUVA 14. Hiilen jauhatus- ja kuivatuslaitos sekä sähkö- ja LVI-tila (27)

Esimerkkikohte on suuren tuotantolaitoksen yhteydessä oleva kolmikerroksinen teräsrunkoinen, ristikoilla jäykistetty rakennus (kuva 15). Välipohjat on toteutettu ontelolaattarakenteisina ja ulko- ja väliseinät Ruukin sandwich-paneeleilla. Kerroksia rakennuksessa on kolme. Rakennuksen alimpaan kerrokseen on sijoitettu suurjännitesähkötila sekä kuivamuuntajatilat. Toinen kerros on kokonaisuudessaan toista sähkötilaa ja ylimpään kerrokseen on sijoitettu automaatio- LVI- ja taukotilat. Ensimmäisen ja toisen kerroksen välissä on matala kaapelitila, jota ei laskettu varsinaiseksi kerrokseksi. Rakennuksen ulkopuolelle on rakennettu porrastornit. (27.)

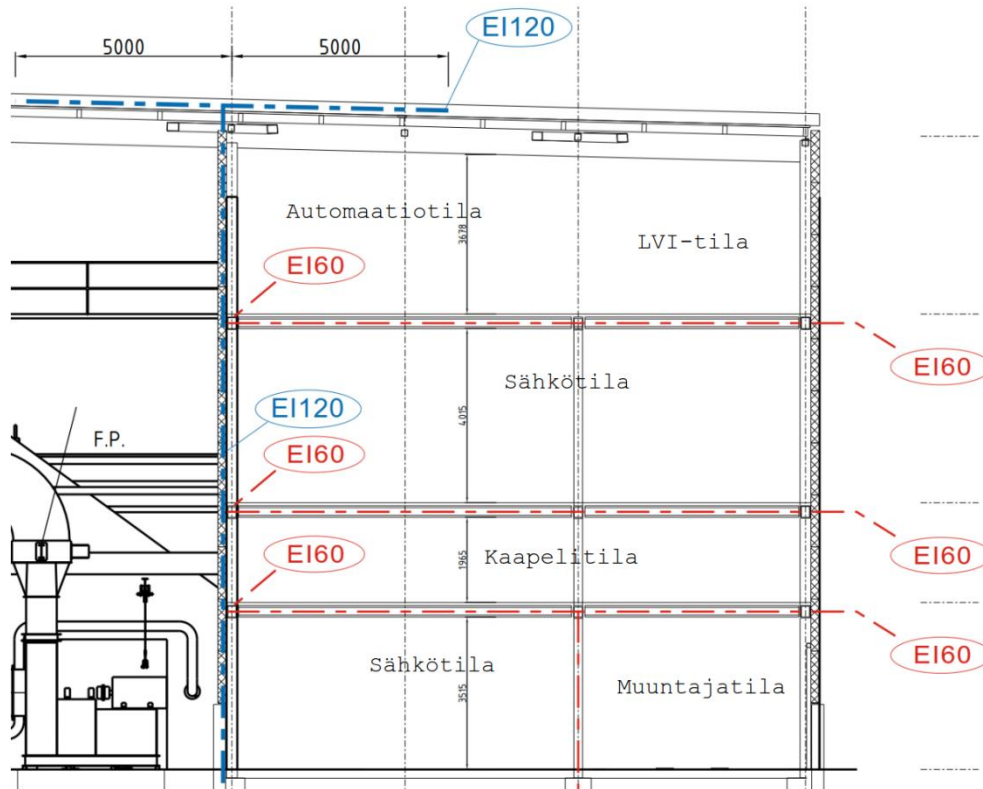


KUVA 15. Esimerkkikohteen 3D-malli (27)

Kaikkien palo-osastojen palokuormantiheydeksi oli projektin yhteydessä arvioitu alle 600 MJ/m^2 . Ensimmäisen ja toisen kerroksen välissä olevan kaapelitilan palokuormantiheydelle tehtiin tarkistusarviointi, koska sen palokuorman arvioitiin olevan suurin. Tehtyjen laskelmien mukaan palokuormantiheys pysyi riittäväällä varmuudella alle 600 MJ/m^2 , joten projektin yhteydessä tehty arvio osoittautui oikeaksi.

Esimerkkikohteen kantavien rakenteiden ja palo-osastoinnin vaatimukset ja kohteeseen suunnitellut ratkaisut käytiin läpi. Rakennus oli määritetty kuuluvan

paloluokkaan P1 ja sen kantaville rakenteille oli määritetty luokkavaatimus R60 (27). Projektin yhteydessä toteutetut osastointiratkaisut on esitetty kuvassa 16. Projektissa tehdyt ratkaisut todettiin palomääräysten ja -ohjeiden mukaisiksi kaikilta muilta osin, paitsi LVI-tilan osastoinnin merkinnän suhteen.

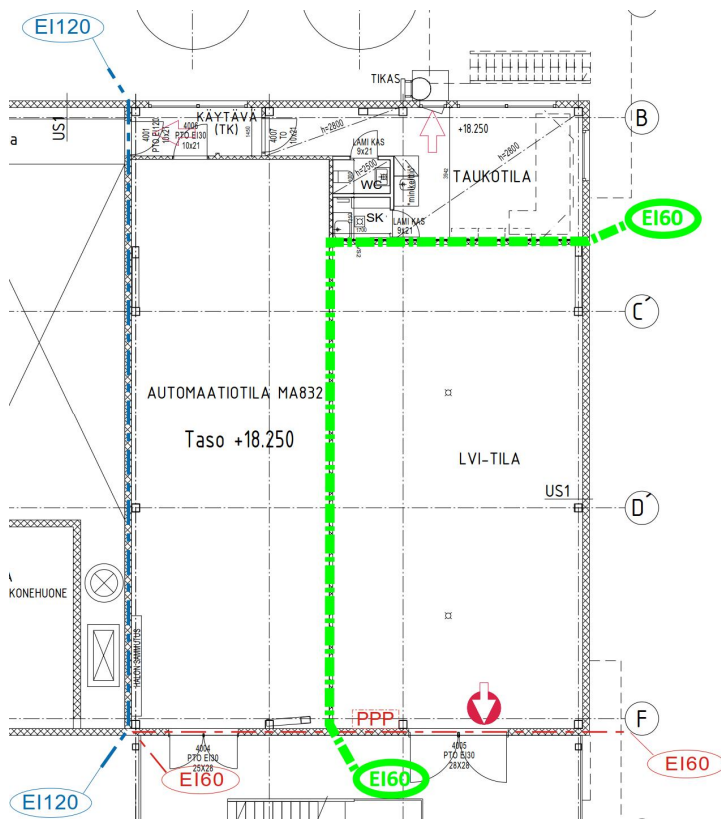


KUVA 16. Sähkö- ja LVI-tilan palo-osastot (27)

Havaittiin, että toteutettujen palo-osastointien lisäksi ylimmän kerroksen LVI-tilan osastoinnin merkitseminen arkkitehtipiirustuksiin ja muihin paloteknisiin dokumentteihin oli jäänyt tekemättä. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E7 perusteella LVI-tila olisi täytynyt osastoida vähintään luokan A1-s1, d0 -rakennustarvikkeista tehdyllä EI60-rakenteella, sillä LVI-tila palvelee useita eri palo-osastoja.

LVI-tilan seinät oli merkinnän puuttumisesta huolimatta toteutettu Ruukin SPA100-paneeleilla, joilla EI60, A1-s1, d0 -vaatimus täyttyy. Lisäksi ilmanvaihtohormit oli osastoitu EI60-vaatimuksen mukaisesti. Osastoinnin merkitseminen kaikkiin dokumentteihin olisi tärkeää, jotta esimerkiksi työmaalla ei tulisi epäsel-

vyyttä toteutettavista osastoinneista. Kuvassa 17 on esitetty paksummalla piste-tekotekoviivilla puuttuva LVI-tilan palo-osastoinnin merkintä.



KUVA 17. Esimerkkikohteen ylimmän kerroksen palo-osastointi

Esimerkkikohteessa oli projektin yhteydessä pystytty lieventämään rakenteille rakentamismääräysten perusteella asetettuja vaatimuksia. Esimerkkikohteessä oli kiinteästi yhteydessä suureen tuotantolaitokseen ja tilat haluttiin erottaa kahdeksi eri paloluokkaan kuuluvaksi rakennukseksi, jotta koko laitosta ei täytynyt luokitella paloluokkaan P1 kuuluvaksi. Rakennusten väliin täytyi tehdä EI-M 120-vaatimuksen mukainen palomuuritaulukon 5 mukaan. Tästä vaatimuksesta oli voitu kuitenkin pelastusviranomaisten hyväksynnällä joustaa ja rakenne oli toteutettu EI120-rakenteena. Vesikatolla EI120-osastointia oli lisäksi ulotettu vesikatkon suuntaisesti 5 metrin matkalle molemmin puolin seinää (kuva KUVA 16). EI120-vaatimus aiheutti kuitenkin sen, että kyseisen linjan kantavat rakenteet tuli tehdä luokan R60 sijasta luokkaan R120. (27.)

5.2 Kantavien rakenteiden palomitoitus

5.2.1 Lähtökohdat

Teräsrakenteiden palomitoitusta varten tehtiin Mathcad-ohjelmistolla laskentapohjat, joiden avulla pystytään tekemään palomitoitus teräspalkille, -pilarille, tai -siteelle. Laskentapohjilla saatiin laskettua teräsrakenteen lämpötila suojaamattomana sekä palosuojattuna, rakenteen käyttöasteet palotilanteessa ajan hetkellä 0, suojaamattomana palotilanteessa sekä palosuojattuna palotilanteessa. Myös rakenteiden kriittiset lämpötilat saatiin iteroitua laskentapohjien avulla. Esimerkki laskentapohjalla tehdystä pilarin palomitoituksesta on esitetty liitteessä 2.

Esimerkkikohteen teräsrakenteiden palomitoituksessa käytettiin apuna aiemmin kohteen rakennesuunnittelussa tehtyä rakennelaskentamallia. Malli oli tehty Robot Structural Analysis –ohjelmistolla. Laskentamallista saatiin selville rakenteiden dimensiot sekä kuormitukset palotilanteessa, joita käytettiin hyväksi Mathcad-laskennassa. Teräsrakenteille tehtiin myös vertailulaskelmat Robot Structural Analysis –laskentaohjelmistolla.

Esimerkkikohteesta tehtiin palomitoituslaskelmat 200x120x10 putkipilareille, yhden kantavan linjan 250x250x12,5 putkipilareille, kaikille seinä- ja kattositeille sekä primäärikattopalkkeille. Mitoitetuille rakenneosille oli määritetty paloluokka-vaatimukseksi joko R60 tai R120. Laskelmat tehtiin sekä Mathcad- että Robot-ohjelmistoilla. Laskennassa selvitettiin, kestävätkö rakenteet ilman palosuojautta. Lisäksi kaikille rakenneosille selvitettiin kriittinen lämpötila ja palosuojauksen vaatineille rakenneosille määritettiin tarvittava suojauspaksuus.

Rakenteille, joita tarkasteltiin tässä insinööriyössä, oli määritetty projektin yhteydessä suojausmateriaaliksi Promatect -H -palonsuojalevy. Lisäksi 200x120x10 putkipilarit oli tilan puutteen vuoksi määritetty suojaavaksi Novatherm 4Fre -palosuojamaalauksella. Maalinvalmistaja ei ollut ilmoittanut tarvittavia lämpöteknisiä ominaisuuksia, joten maalin paksuuden mitoitusta ei voitu tehdä Mathcad- tai Robot-laskennalla.

5.2.2 Palosuojauslaskelmien tulokset

Tehtyjen palosuojauslaskelmien tulokset on esitetty liitteen 1 taulukossa.

Eri työkaluilla tehtyjen mitoitustulosten vertailu

Mathcad- ja Robot-laskelmilla saatujen kriittisten lämpötilojen erot olivat osassa tapauksista suuria, pahimmillaan 120 °C. Tämä johtui siitä, että Robot-ohjelmisto käytti kriittisen lämpötilan laskennassa yksinkertaistettua menetelmää ja Mathcad-laskennassa otettiin huomioon myös rakenteiden stabiilius. Lisäksi Robot-laskelmilla ei saatu määritettyä kriittisiä lämpötiloja kattopalkeille.

Mathcad- ja Robot-laskelmilla saadut suojauspaksuuksien arvot vastasivat hyvin toisiaan. Pientä eroa esiintyi pilarien ja palkkien paksuuksissa, joiden osalta Mathcad-laskennalla saadut paksuudet olivat joissakin tapauksissa noin 5 mm Robot-laskennalla saatuja arvoja suurempia. Nämä erot johtuvat Mathcad-laskennassa tehdyistä yksinkertaistuksista.

Promatect-levyvalmistajan taulukoista ja laskurista saatuja suojauspaksuuksia vertailtaessa havaittiin, että taulukoista saadut paksuudet olivat usein paljon suurempia kuin laskurilla saadut vastaavat paksuudet. Tämä johtui siitä, että laskurin avulla pystyttiin huomioimaan erilaiset kriittisen lämpötilan arvot, kun taas taulukot oli annettu vain yhdelle kriittisen lämpötilan arvolle.

Laskurilla saadut paksuudet olivat puolestaan lähellä Mathcad- ja Robot-laskennalla saatuja paksuuksia. Laskuripaksuuksien määrittämisessä käytettiin Mathcad-laskelmien antamia kriittisen lämpötilan arvoja.

Palkkien ja pilareiden taulukoiden mukaiset suojauspaksuudet olivat suurimmillaan 25 millimetriä laskettuja suojauspaksuuksia suuremmat. Sen sijaan laskurilla saadut paksuudet olivat monessa tapauksessa samoja kuin lasketut paksuudet. Rakenneosissa, joissa eroa tuli, oli ero suurimmillaan vain 12 mm.

Seinä- ja kattositeillä, joilla rasitukset olivat paljon pienempiä kuin palkeilla ja pilareilla, taulukko- ja laskuripaksuudet olivat kaikkiaan paljon suurempia kuin tarkemmin laskemalla saadut paksuudet. Taulukkomitoitus antoi suurimmillaan suojauspaksuudeksi 40 mm rakenteille, joille ei tarkemman laskennan mukaan

olisi tarvinnut lainkaan suojausta. Laskuri antoi taulukoita pienempiä paksuuksia, mutta myös laskurin mukaan saatiin esimerkiksi 15 mm:n suojaus rakennosille, joille ei laskennan mukaan olisi tarvittu lainkaan suojausta.

Laskettujen suojauspaksuuksien vertailu toteutettuihin paksuuksiin

Vertailtaessa esimerkkikohteeseen aiemmin määritettyjä suojauspaksuuksia opinnäytetyössä saatuihin paksuuksiin havaittiin, että rakenteiden toteutettu suojaus oli joiltakin osin varmalla puolella. Ylimoitettua suojauspaksuutta oli määritetty joillekin seinäsiteille.

Seinäsiteille esimerkkikohteen toteutuksen yhteydessä oli määritetty 20 ja 30 millimetrin suojauspaksuuksia. Yli puolet seinäsiteistä olisi Mathcad- ja Robot-laskelmien mukaan kestänyt kokonaan ilman suojausta. Myös suojauksen vaatineet siteet olisivat kestäneet kevyemmällä suojauksella kuin oli aiemmin määritetty.

Palkkien ja pilareiden osalta ylimoitusta ei ollut tehty. Toteutetut suojauspaksuudet pilareilla ja palkeilla olivat lähellä Mathcad- ja Robot-laskelmilla saatuja arvoja.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia palosuunnitteluohje Pöyryn rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Ohjeen avulla suunnittelija pystyy tarkistamaan kaikki rakenteiden suunnitteluun vaikuttavat palomääräykset ja -ohjeet samasta dokumentista. Tavoitteena oli myös, että ohjeen avulla suunnittelija pystyy arvioimaan osastoivien rakenteiden ja teräsrakenteiden palosuojauksen vaatimuksia. Lisäksi tavoitteena oli perehtyä teräsrakenteiden palomitoitukseen sekä selvittää esimerkkikohteen teräsrakenteille palosuojauksien paksuudet.

Opinnäytetyössä laadittiin ohjeeseen tiivis kokonaisuus teollisuusrakennusten palosuunnittelusta rakennesuunnittelijan näkökulmasta. Työssä käytiin läpi tuotanto- ja varastorakennusten rakentamista koskevia määräyksiä ja ohjeita. Palosuunnitteluohjeeseen kirjattiin ohjeet rakennuksen paloluokan, kantavien rakenteiden luokkavaatimusten sekä osastoinnin vaatimusten määrittämiseen. Osastoinnin suunnittelun tueksi koottiin oleellisimpia vaatimuksia eri materiaaleilla toteutetuista osastoivista rakenteista. Lisäksi ohjeeseen sisällytettiin ohjeistus teräsrakenteiden palomitoitukseen ja palosuojauksen suunnitteluun. Eri palosuojatuotteista ja -menetelmistä kirjattiin myös oleellisimpia tietoja ja huomioon otettavia asioita.

Ohjeesta tuli laaja, johtuen lukuisista palosuunnittelussa huomioon otettavista yksittäisistä seikoista, vaikka ohje rajattiin käsittelemään vain kantavien rakenteiden ja osastoinnin suunnittelua. Laajuuden vuoksi ohjeeseen tiivistettiin paljon tietoja taulukoituna ja kuvien avulla esitettynä, jolloin ohjetta saatiin luettavammaksi ja selkeämmäksi. Lukijan aikaa pyrittiin säästämään muotoilemalla ohje siten, että tiedot ovat helposti löydettävissä.

Tulevaisuudessa palosuunnitteluohjetta voidaan laajentaa esimerkiksi betoni- ja liittorakenteiden palomitoituksen ohjeistukseen. Lisäksi poistumisturvallisuutta ja savunpoistoa koskevat vaatimukset voidaan lisätä ohjeeseen tulevaisuudessa.

Kantavien rakenteiden mitoituksen osalta tarkasteltiin teräsrakenteiden palomitoitusta ja -suojausta esimerkkikohteen avulla. Esimerkkikohteen teräsrakenteille tehtiin palomitoitus ja laskettiin tarvittavat suojauspaksuudet. Esimerkki-

kohteen teräsrakenteille oli aiemmin määritetty Pöyryllä palosuojaukset ja opinnäytetyössä saatuja tuloksia verrattiin näihin arvoihin. Tarkemmilla laskelmilla saatuja arvoja myös verrattiin palosuojamateriaalivalmistajan mitoituslaskurilla ja taulukoiden perusteella saatuihin paksuuksiin. Opinnäytetyön sivutuotteena syntyivät laskentapohjat, joiden avulla voidaan tehdä palomitoitus ja suojauspaksuuden määrittäminen teräspilarille, -palkille ja -siteelle.

Esimerkkikohteelle tehdyn mitoituksen perusteella voitiin todeta, että tarkemmalla laskennalla olisi saavutettu jonkin verran säästöä palosuojauksen rakennuskustannuksissa aiemmin tehtyyn mitoitukseen verrattuna. Tarkempi palomitoitus vei kuitenkin paljon aikaa, sillä jokainen rakenneosasto mitoitettiin yksitellen ja suojauspaksuus määritettiin jokaiselle rakenneosalle erikseen. Tarkemmista laskelmista saadut arvot olivat myös niin lähellä palosuojatuotevalmistajan laskurilla saatuja arvoja, että ero ei merkittävästi lisännyt palosuojamateriaalin tarvetta. Lisäksi tarkempiin laskelmiin tarvittavia tietoja palosuojatuotteiden lämpöteknisistä ominaisuuksista oli heikosti saatavilla.

Suunnittelun tuottavuuden kannalta tehokkaimmaksi tavaksi teräsrakenteiden palosuojauspaksuuden määrittämiseen osoittautui mitoitustaulukoiden tai -laskureiden käyttö. Taulukoita käytettäessä tulee huomioida, että taulukot ottavat huomioon rakenteen kriittisen lämpötilan sekä poikkileikkaustekijän. Muutoin tulokseksi saadaan ylimitoitettuja paksuuksia. Rakenteilla, joiden stabiiliutta ei tarvitse huomioida, kriittisen lämpötilan selvittämiseen tehokkain keino on Robot-laskenta. Rakenteilla, joiden stabiilius tulee ottaa huomioon, täytyy kriittinen lämpötila iteroida esimerkiksi Mathcad-laskennalla.

Jokaisen teräsrakennososan yksitellen mitoittaminen ei suurissa kohteissa ole tehokasta eikä tarkoituksenmukaista. Mitoitusprosessia voitaisiin tehostaa esimerkiksi jaottamalla teräsprofiilit ryhmiin käyttöasteiden mukaan. Joka ryhmästä mitoitettaisiin vain eniten rasitettu rakenneosasto ja palosuojauspaksuus määräytyisi sen perusteella muille saman ryhmän profiileille. Näin säästytään suurilta suojauspaksuuksien ylimitoituksilta.

Insinööriyössä laadittiin lisäksi tyyppiin piirustukset kantavien teräsrakenteiden palosuojaukseen. Piirustuksia voidaan jatkossa hyödyntää teräsrakenteiden palosuojauksessa suunniteltaessa.

LÄHTEET

1. RIL 195-2-2005. 2005. Rakenteellinen paloturvallisuus. Tuotanto- ja varastorakennukset. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL Ry.
2. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2016. Ympäristöministeriö. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaara_yskokoelma. Hakupäivä 7.3.2016.
3. E1. 2011. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto.
4. E2. 2005. Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus. Ohjeet 2005. E2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.
5. Inha, Timo – Kallioniemi, Pekka 1991. Teräsrakenteiden palosuunnittelu. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys Ry.
6. Rakennusten paloturvallisuus ja paloturvallisuus korjausrakentamisessa. 2003. Ympäristöopas 39. Helsinki: Ympäristöministeriö.
7. RT 08-11139. 2014. Rakennusten paloluokat ja paloluokan määrittäminen. Rakennustieto Oy.
8. Palokatko-opas. 2013. Suomen palokatko-yhdistys Ry. saatavissa: http://www.palokatko-yhdistys.fi/pdf/palokatko-opas_2013.pdf. Hakupäivä 7.1.2016.
9. ST 51.18.02. 2014. Sähköläpivientien paloeristäminen. Sähkötieto Oy.
10. Pintojen ja katteiden paloluokat. Tekninen tiedote. 2012. Puuinfo Oy. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohje>

[et/pintojen-ja-katteiden-paloluokat/pintojen-ja-katteiden-paloluokat.pdf](#). Hakupäivä 18.12.2015.

11. Iso-Mustajärvi, Pekka – Inha, Timo 1999. Kantavien teräsrakenteiden palosuojaus. Helsinki: Rakennustieto Oy, Teräsrakenneyhdistys Ry.
12. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurokoodi 3 –oppikirja. 2010. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys Ry.
13. SFS-EN 1990. 2002. Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
14. Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1990. 2002. Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet. 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö.
15. SFS-EN 1991-1-2+AC. 2003. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat: Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
16. SFS-EN 1993-1-2. 2005. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu: Osa 1-2: Rakenteen palomitoitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
17. RIL 201-2-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL Ry.
18. Rakenneputket. EN 1993 –käsikirja. 2012. Rautaruukki Oyj. Saatavissa: https://software.ruukki.com/Ruukki-Rakenneputket-Kasikirja-2012_PDF-versio.pdf. Hakupäivä 16.3.2016.
19. CE-merkintä. 2016. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/ce-merkinta>. Hakupäivä 15.3.2016.
20. ETAG 018-2. Fire protective products. Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements. European Organization for Technical Approvals EOTA. 2011.
21. Teräsrakenteiden palosuojamaalaus 2007. 2007. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys Ry. Saatavissa:

http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/236/81bd049/TRY_Terasrakenteiden_palosuojamaalaus_2007.pdf. Hakupäivä 16.3.2016.

22. Eurooppalainen tekninen hyväksyntä. ETA-08/0093. 2008. European Organization for Technical Approvals EOTA.
23. Teräsrakenteiden palosuojaus. Oy Minerit Ab. n.v. Promat s.a.
24. ETAG 018-2. Fire protective products. Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements. European Organization for Technical Approvals EOTA. 2011.
25. Eurooppalainen tekninen hyväksyntä. ETA-08/0093. 2008. European Organization for Technical Approvals EOTA.
26. SFS-EN 1994-1-2. 2006. Eurokoodi 4: Betoni-teräs –liittorakenteiden suunnittelu: Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
27. Juvonen, Jouni 2013. Teräsbetoni- ja liittopilarin palomitoitus R180 luokkaan eurokoodin mukaisesti. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan koulutusohjelma.
28. Esimerkkikohteen projektitiedot. 2016. Pöyry Finland Oy.
29. ST 51.17. 2013. Sähkökaapelit ja paloturvallisuus. Sähkötieto Ry.

PILARIT		Kriittinen lämpötila			SUOJAUSPAKSUUS: PROMATECT-H -LEVY				
Profiili	Palonkestov aatimus	Mathcad	Robot	Tarvitaanko suojaus	Toteutettu palosuojaus	Taulukko- paksuus	Laskurin mukainen paksuus	Paksuus Mathcad- laskennan mukaan	Paksuus Robotin mukaan
CFRHS200X120X10	R60	460	550	KYLLÄ	Maali: Novatherm 1,65 mm	(20 mm)		25 mm Promatect - H, tai Novatherm 4Fre 1.628 mm	-
CFRHS250X250X12.5	R120	510	570	KYLLÄ	20 mm	30 mm	37 mm	20 mm	20 mm
CFRHS250X250X12.5	R120	475	540	KYLLÄ	2x15 mm	30 mm	25 mm	25 mm	25 mm
CFRHS250X250X12.5	R120	490	540	KYLLÄ	2x15 mm	30 mm	25 mm	30 mm	25 mm
CFRHS250X250X12.5	R120	620	670	KYLLÄ	2x15 mm	30 mm	18 mm	20 mm	15 mm
CFRHS250X250X12.5	R120	620	665	KYLLÄ	2x15 mm	30 mm	18 mm	20 mm	15 mm
CFRHS250X250X12.5	R120	480	600	KYLLÄ	20 mm	30 mm	37 mm	22 mm	20 mm

KATTOPALKIT		Kriittinen lämpötila			SUOJAUSPAKSUUS: PROMATECT-H -LEVY				
Profiili	Palonkestov aatimus	Mathcad	Robot	Tarvitaanko suojaus	Toteutettu palosuojaus	Taulukko- paksuus	Laskurin mukainen paksuus	Paksuus Mathcad- laskennan mukaan	Paksuus Robotin mukaan
IPE400	R120	655	-	KYLLÄ	3x15 mm	50 mm	37 mm	30 mm	25 mm
	R60				20 mm	22 mm	15 mm	15 mm	12 mm
IPE600	R120	580	-	KYLLÄ	3x15 mm	40 mm	37 mm	35 mm	30 mm
	R60				20 mm	18 mm	15 mm	15 mm	15 mm
IPE600	R120	570	-	KYLLÄ	3x15 mm	40 mm	37 mm	35 mm	30 mm
	R60				20 mm	18 mm	15 mm	15 mm	15 mm
IPE400	R120	665	-	KYLLÄ	3x15 mm	50 mm	37 mm	30 mm	25 mm
	R60				20 mm	22 mm	15 mm	15 mm	12 mm

SEINÄSITEET		Kriittinen lämpötila			SUOJAUSPAKSUUS: PROMATECT-H -LEVY					
Seinäsiteet	Palonkestov aatimus	Mathcad	Robot	Tarvitaanko suojaus	Toteutettu palosuojaus	Taulukko- paksuus	Laskurin mukainen paksuus	Paksuus Mathcad- laskennan mukaan	Paksuus Robotin mukaan	
CFRHS200X200X8	R60	YLI 1200	1175	EI	-	18 mm	15 mm	(0.104)	-	
	R60		1115	EI	-	18 mm	15mm	(0.32)	-	
	R60		950	EI	-	18 mm	15 mm	(0.947)	-	
	R120		1150	EI	3x15 mm	40 mm	18 mm	(0.323)	-	
	R120		860	860	KYLLÄ	3x15 mm	40 mm	18 mm	12 mm	12 mm
	R120		830	830	KYLLÄ	3x15 mm	40 mm	18 mm	12 mm	12 mm
	R120		685	680	KYLLÄ	3x15 mm	40 mm	25 mm	25 mm	25 mm
	R60		960	960	EI	20 mm	18 mm	15 mm	(0.912)	-
	R60		890	895	KYLLÄ	20 mm	18 mm	15 mm	6 mm	6 mm
	R60		1010	975	EI	20 mm	18 mm	15 mm	(0.707)	-
	R60		1065	1025	EI	20 mm	18 mm	15 mm	(0.508)	-
	R60		940	945	EI	20 mm	18 mm	15 mm	(0.973)	-
	R60		835	835	KYLLÄ	20 mm	18 mm	15 mm	6 mm	6 mm

TERÄSPILARIN PALOMITOITUS

KELTAISELLA MERKATUT KOHDAT LÄHTÖTIE TOJA TAI TAPAUSKOHTAISESTI TARKISTETTAVIA/LASKETTAVIA ARVOJA.

Sisällä oleva rakenneosa.

Lämmön noususta aiheutuvia muodon- ja pituudenmuutoksia ei oteta huomioon.

Oletetaan lämpötila poikkileikkauksessa tasaiseksi.

Lähtöarvot:

Palonkesto aika

Teräs $f_y := 355 \text{ MPa}$

$R_{\text{m}} := 120$

Profiili: 250x250x12,5

$h := 250$ $r := 21$ $A_{\text{www}} := 112 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$

$b := 250$

$t_t := 12.5$

$I_y := 10161 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$ $W_y := 812.9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ $W_z := 812.9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$I_z := 10161 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$ $W_{\text{pl}} := 975.2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Palotilanteen kuormitus:

Nurjahduspituudet

$L_{\text{cr},y} := 4.0 \text{ m}$

Taivutus $M_{\text{Ed},fi} := 25 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$L_{\text{cr},z} := 4.0 \text{ m}$

$M_{z,\text{Ed},fi} := 15 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Veto $N_{t,\text{Ed},fi} := 0 \text{ kN}$

Puristus $N_{\text{Ed},fi} := 1400 \text{ kN}$

Leikkaus $V_{\text{Ed},fi} := 10 \text{ kN}$

Palolle altistettuja sivuja: 3

Poikkileikkaustekijä suojaamattomalle terässauvalle, SFS-EN 1993-1-2, taulukko 4.2. (rakenneputkille ja hitsatuille profiileille valmiita taulukoita):

$A_u := 0.936$

$$v_{\text{m}} := A \cdot \frac{1}{2} = 0.011$$

$$\text{PLT} := \frac{A_u - 0.25}{v} = 61.25$$

Poikkileikkaustekijä, suojatulle terässauvalle (PLTS), SFS-EN 1993-1-2 taulukko 4.3:

$$\text{PLTS} := \frac{2 \cdot 0.25 + 0.25}{v} = 66.964$$

Suojaamaton rakenne

Suojaamattoman profiilin lämpötilan kehitys

Varjostusvaikutuksen korjaustekijä k_{sh} on putki- ja muilla kuperilla profiileilla 1. Muille profiileille laskettava:

$$\text{I-profiileille} \quad k_{sh} = \frac{0.9 \left(\frac{A_{ps}}{V} \right)}{PLT}$$

$$\text{Muille profiileille} \quad k_{sh} = \frac{\left(\frac{A_{mb}}{V} \right)}{\left(\frac{A_m}{V} \right)}$$

Missä k_{sh} on poikkileikkaustekijän arvo kun poikkileikkausta käsitellään kotelona

$$A_{ps} := 3 \cdot 0.25$$

$$k_{sh} := \frac{0.9 \left(\frac{A_{ps}}{V} \right)}{PLT} = 0.984$$

$$k_{sh} = 0.984$$

Vakioita:

Teräksen tiheys $\rho_a := 7850$

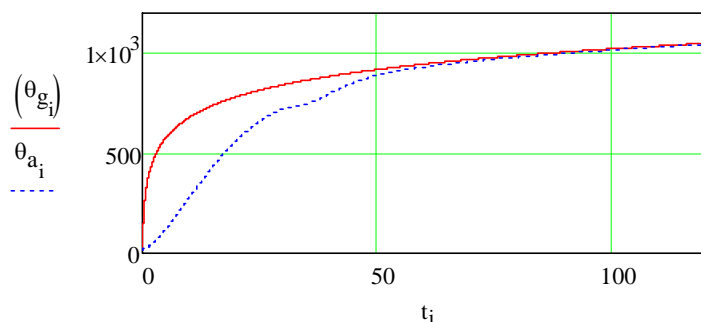
Stefan-Boltzmannin vakio $\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8}$

Kuljettumisen lämmönsiirtymiskerroin $\alpha := 25$

Palon säteilykerroin $\epsilon_f := 1.0$

Rakennepinnan säteilykerroin $\epsilon_m := 0.7$

Näkyvyyskerroin $\phi := 1.0$



PALOAIKA ON $t_i = 120$

- Palotilan lämpötilä
- - - Suojaamattoman profiilin lämpötilä

Palotilan lämpötilä $\theta_{g_i} = 1.049 \times 10^3$

Suojaamattoman teräksen lämpötilä $\theta_{a_i} = 1.044 \times 10^3$

Poikkileikkausluokitus:

$$c_w := h - 2 \cdot t_t - 2 \cdot r = 183$$

Normaalitilanteessa

$$\varepsilon_{ww} := \sqrt{\frac{235 \text{MPa}}{f_y}} = 0.814$$

(puristettu)

$$\text{PLL}_1 := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{c_w}{\varepsilon \cdot t_t} \leq 33 \\ 2 & \text{if } 33 < \frac{c_w}{\varepsilon \cdot t_t} \leq 38 \\ 3 & \text{if } 38 < \frac{c_w}{\varepsilon \cdot t_t} \leq 42 \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{PLL}_1 = 1$$

(taivutettu)

$$\text{PLL}_2 := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{c_w}{\varepsilon \cdot t_t} \leq 72 \\ 2 & \text{if } 72 < \frac{c_w}{\varepsilon \cdot t_t} \leq 83 \\ 3 & \text{if } 83 < \frac{c_w}{\varepsilon \cdot t_t} \leq 124 \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{PLL}_2 = 1$$

Palotilanteessa

$$\varepsilon_\theta := 0.85 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{MPa}}{f_y}} = 0.692$$

(puristettu)

$$\text{PLL}_{p1} := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{c_w}{\varepsilon_\theta \cdot t_t} \leq 33 \\ 2 & \text{if } 33 < \frac{c_w}{\varepsilon_\theta \cdot t_t} \leq 38 \\ 3 & \text{if } 38 < \frac{c_w}{\varepsilon_\theta \cdot t_t} \leq 42 \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{PLL}_{p1} = 1$$

(taivutettu)

$$\text{PLL}_{p2} := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{c_w}{\varepsilon_\theta \cdot t_t} \leq 72 \\ 2 & \text{if } 72 < \frac{c_w}{\varepsilon_\theta \cdot t_t} \leq 83 \\ 3 & \text{if } 83 < \frac{c_w}{\varepsilon_\theta \cdot t_t} \leq 124 \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{PLL}_{p2} = 1$$

Mikäli sauvan PL-luokaksi saadaan 4, lasketaan sauvan kestävyys käyttämällä tehollista pinta-alaa ja taivutusvastusta. Lujuutena käytetään palotilanteen pienennettyä lujuutta

Tehollisen pinta-alan ja taivutusvastuksen laskennassa käytetään normaalilämpötilan lujuutta ja kimmokerrointa, mutta palotilanteen pienennettyä ε -arvoa.

Pienennystekijät suojamaattomalle profiilille

Mytölujuuden pienennystekijä (SFS-EN 1993-1-2, taulukko 3.1)

$$k_{y,\theta} = 0.031 \quad f_{y,\theta} := k_{y,\theta} \cdot f_y = 11.053 \text{MPa}$$

Kimmokertoimen pienennystekijä (SFS-EN 1993-1-2, taulukko 3.1)

$$k_{E,\theta} = 0.035 \quad E_{y,\theta} := k_{E,\theta} \cdot E = 7.355 \text{GPa}$$

Kestävyyden tarkistus

Osavarmuusluvut

$$\gamma_{m,0} := 1.0$$

$$\gamma_{m,1} := 1.0$$

$$\gamma_{m,2} := 1.25$$

$$\gamma_{m,fi} := 1.0$$

Puristuskestävyys

Ajan hetkellä $t = 0$

$$N_{c,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m,0}} = 3.976 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = 0$

$$\mu_{0,c} := \frac{N_{Ed,fi}}{N_{c,Rd}} = 0.352$$

Ajan hetkellä $t = R$

$$N_{c,Rd,fi} := k_{y,0} \cdot N_{c,Rd} \cdot \frac{\gamma_{m,0}}{\gamma_{m,fi}} = 123.79 \cdot \text{kN}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t,c} := \frac{N_{Ed,fi}}{N_{c,Rd,fi}} = 11.309$$

Nurjahduskestävyys y-akselin suhteen

$$N_{cr,y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = 1.316 \times 10^7 \text{ N}$$

Ajan hetkellä $t = 0$

Nurjahduskäyrä

NK := "c"

$$N_{b,y,Rd} := \chi_y \cdot A \cdot f_y \cdot \frac{1}{\gamma_{m,1}} = 3.24 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = 0$

$$\mu_{0,y,Nb} := \frac{N_{Ed,fi}}{N_{b,y,Rd}} = 0.432$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$ Ajan hetkellä $t = R$

$$N_{b,y,Rd,fi} := \chi_{y,fi} \cdot A \cdot k_{y,0} \cdot f_y \cdot \frac{1}{\gamma_{m,fi}} = 92.205 \cdot \text{kN}$$

$$\mu_{t,y,Nb} := \frac{N_{Ed,fi}}{N_{b,y,Rd,fi}} = 15.184$$

Nurjahduskestävyys z-akselin suhteen

$$N_{cr.z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr.z}^2} = 1.316 \times 10^7 \text{ N}$$

$$\frac{h}{b} = 1$$

Ajan hetkellä $t = 0$

Nurjahduskäyrä $N_{K_z} := "c"$

$$N_{b.z.Rd} := \chi_z \cdot A \cdot f_y \cdot \frac{1}{\gamma_{m.1}} = 3.24 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = 0$

$$\mu_{0.z.Nb} := \frac{N_{Ed.fi}}{N_{b.z.Rd}} = 0.432$$

Ajan hetkellä $t = R$

$$N_{b.z.Rd.fi} := \chi_{z.fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y \cdot \frac{1}{\gamma_{m.fi}} = 92.205 \cdot \text{kN}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t.z.Nb} := \frac{N_{Ed.fi}}{N_{b.z.Rd.fi}} = 15.184$$

Taivutuskestävyys

Y-suunnassa

Ajan hetkellä $t = 0$

$$M_{Rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{m.0}} = 346.196 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = 0$

$$\mu_{0.M} := \frac{M_{Ed.fi}}{M_{Rd}} = 0.072$$

Ajan hetkellä $t = R$

$$M_{Rd.fi} := k_{y,\theta} \cdot M_{Rd} \cdot \frac{\gamma_{m.0}}{\gamma_{m.fi}} = 10.779 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t.M} := \frac{M_{Ed.fi}}{M_{Rd.fi}} = 2.319$$

Z-suunnassa

Ajan hetkellä $t = 0$

$$M_{z,Rd} := \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{m,0}} = 346.196 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t=0$

$$\mu_{0,z,M} := \frac{M_{z,Ed,fi}}{M_{z,Rd}} = 0.043$$

Ajan hetkellä $t = R$

$$M_{z,Rd,fi} := k_{y,\theta} \cdot M_{z,Rd} \cdot \frac{\gamma_{m,0}}{\gamma_{m,fi}} = 10.779 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t,z,M} := \frac{M_{z,Ed,fi}}{M_{z,Rd,fi}} = 1.392$$

Leikkauskestävyys

Ajan hetkellä $t = 0$

$$A_v := \frac{A \cdot h}{(b + h)} = 5.6 \times 10^{-3} \cdot \text{m}^2$$

Käyttöaste ajan hetkellä $t = 0$

$$V_{pl,Rd} := A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_{m,0}} = 1.148 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$\mu_{0,V} := \frac{V_{Ed,fi}}{V_{pl,Rd}} = 8.713 \times 10^{-3}$$

Ajan hetkellä $t = 0$

$$V_{Rd,fi} := k_{y,\theta,web} \cdot V_{pl,Rd} \cdot \frac{\gamma_{m,0}}{\gamma_{m,fi}} = 35.735 \cdot \text{kN}$$

Koska lämpötila oletetaan tasaiseksi koko poikkileikkauksessa

$$k_{y,\theta,web} := k_{y,\theta} = 0.031$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t,V} := \frac{V_{Ed,fi}}{V_{Rd,fi}} = 0.28$$

Yhdistetty taivutus ja puristus

$$\beta_{M,y} := -0.1$$

$$\beta_{M,z} := -0.1$$

$$\beta_{M,LT} := \beta_{M,y}$$

ks. SFS-EN 1993-1-2, kuva 4.2

Käyttöaste ajan hetkellä $t = R$

$$\mu_{t,N,M} := \frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{z,fi} N_{c,Rd,fi}} + \frac{k_{y,fi} \cdot M_{Ed,fi}}{M_{Rd,fi}} + \frac{k_{z,fi} \cdot M_{z,Ed,fi}}{M_{z,Rd,fi}} = 26.317$$

$$\mu_{t.N.Mb} := \frac{N_{Ed.fi}}{\chi_{z.fi} \cdot N_{c.Rd.fi}} + \frac{k_{LT.fi} \cdot M_{Ed.fi}}{M_{Rd.fi}} + \frac{k_{z.fi} \cdot M_{z.Ed.fi}}{M_{z.Rd.fi}} = 21.678$$

MAKSIMIKÄYTTÖASTEET

Ajan hetkellä $t = 0$

$$\mu_0 = 0.432$$

Suojaamaton rakenne ajan hetkellä $t = R$

$$\mu_t = 26.317$$

Palosuojaus = "TARVITSEE"

KRIITTINEN LÄMPÖTILA hetken $t=0$ hyväksikäyttöasteen μ_0 mukaan, kun stabiiliutta ei oteta huomioon

$$\theta_{a.crit} := 39.19 \ln \left(\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right) + 482 = 639.394$$

Palosuojattu rakenne

Palosuojatun teräsrakenteen lämpötilan kehitys:

Tarvitaan palosuojamateriaalin paksuus d_p (m), tiheys ρ_p (kg/m³), lämmönjohtavuus λ_p (W/mk) ja ominaislämpökapasiteetti c_p (J/kgK).

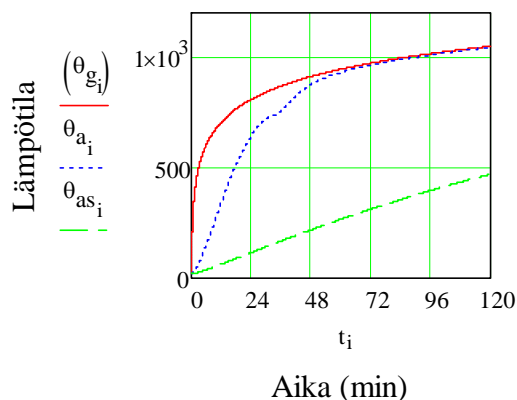
Käytetty levy Promatect-H

$$d_p := 0.03$$

$$\rho_p := 870$$

$$\lambda_p := 0.21$$

$$c_p := 920$$



PALLOAIKA ON	$t_i = 120$
Palotilan lämpötila	$\theta_{g_i} = 1.049 \times 10^3$
Suojaamattoman teräksen lämpötila	$\theta_{a_i} = 1.044 \times 10^3$
Suojatun teräksen lämpötila	$\theta_{as_i} = 470.766$

Pienennystekijät suojatulle profiilille:

Myötölujuuden pienennystekijä (SFS-EN 1993-1-2, taulukko 3.1)

$$k_{y,\theta,s} = 0.844 \quad f_{y,\theta,s} := k_{y,\theta,s} \cdot f_y = 299.731 \text{ MPa}$$

Kimmokertoimen pienennystekijä (SFS-EN 1993-1-2, taulukko 3.1)

$$k_{E,\theta,s} = 0.629 \quad E_{y,\theta,s} := k_{E,\theta,s} \cdot E = 132.139 \text{ GPa}$$

Suojatun profiilin kestävyys tarkistus

Puristuskestävyys (suojattu)

Ajan hetkellä $t = 0$

$$N_{c,Rd} = 3.976 \times 10^3 \text{ kN}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = 0$

$$\mu_{0,t} := \frac{N_{Ed,fi}}{N_{c,Rd}} = 0.352$$

Ajan hetkellä $t = R$

$$N_{c,Rd,fi,s} := k_{y,\theta,s} \cdot N_{c,Rd} \cdot \frac{\gamma_{m,0}}{\gamma_{m,fi}} = 3.357 \times 10^3 \text{ kN}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t,c,s} := \frac{N_{Ed,fi}}{N_{c,Rd,fi,s}} = 0.417$$

Nurjahduskestävyys (suojattu)

Y - suunnassa

Ajan hetkellä $t = 0$

$$N_{b,y,Rd} = 3.24 \times 10^6 \text{ N}$$

Ajan hetkellä $t = R$

$$N_{b,y,Rd,fi,s} := \chi_{y,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta,s} \cdot f_y \cdot \frac{1}{\gamma_{m,fi}} = 2.5 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Nurjahduskestävyys (suojattu)

Z-suunnassa

$$N_{b,z,Rd} = 3.24 \times 10^6 \text{ N}$$

Ajan hetkellä $t = R$

$$N_{b,z,Rd,fi,s} := \chi_{z,fi,s} \cdot A \cdot k_{y,\theta,s} \cdot f_y \cdot \frac{1}{\gamma_{m,fi}} = 2.291 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Taivutuskestävyys (suojattu)

Y -suunnassa

Ajan hetkellä $t = 0$

$$M_{Rd} = 346.196 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Ajan hetkellä $t = R$

$$M_{Rd,fi,s} := k_{y,\theta,s} \cdot M_{Rd} \cdot \frac{\gamma_{m,0}}{\gamma_{m,fi}} = 292.298 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Z -suunnassa

Ajan hetkellä $t = 0$

$$M_{z,Rd} = 346.196 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Ajan hetkellä $t = R$

$$M_{z,Rd,fi,s} := k_{y,\theta,s} \cdot M_{z,Rd} \cdot \frac{\gamma_{m,0}}{\gamma_{m,fi}} = 292.298 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = 0$

$$\mu_{0,y,Nb} = 0.432$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t,y,Nb,s} := \frac{N_{Ed,fi}}{N_{b,y,Rd,fi,s}} = 0.56$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = 0$

$$\mu_{0,z,Nb} = 0.432$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t,z,Nb,s} := \frac{N_{Ed,fi}}{N_{b,z,Rd,fi,s}} = 0.611$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = 0$

$$\mu_{0,M} = 0.072$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t,M,s} := \frac{M_{Ed,fi}}{M_{Rd,fi,s}} = 0.086$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = 0$

$$\mu_{0,z,M} = 0.043$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t,z,M,s} := \frac{M_{z,Ed,fi}}{M_{z,Rd,fi,s}} = 0.051$$

Leikkauskestävyys (suojattu)

Ajan hetkellä $t = 0$

$$V_{pl.Rd} = 1.148 \times 10^6 \text{ N}$$

Ajan hetkellä $t = R$

$$V_{Rd.fi.s} := k_{y.\theta.web.s} \cdot V_{pl.Rd} \cdot \frac{\gamma_{m.0}}{\gamma_{m.fi}}$$

Käyttöaste ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t.V.s} := \frac{V_{Ed.fi}}{V_{Rd.fi.s}} = 0.01$$

Käyttöaste ajan hetkellä $t = 0$

$$\mu_{0.V} = 8.713 \times 10^{-3}$$

Koska lämpötila oletetaan tasaiseksi koko poikkileikkauksessa

$$k_{y.\theta.web.s} := k_{y.\theta.s} = 0.844$$

Yhdistetty taivutus ja puristus (suojattu)

$$\beta_{M.LT} = -0.1$$

$$\beta_{M.y} = -0.1$$

$$\beta_{M.z} = -0.1$$

Ajanhetkellä $t = R$

$$\mu_{t.N.M.s} := \frac{N_{Ed.fi}}{\chi_{z.fi.s} \cdot N_{c.Rd.fi.s}} + \frac{k_{y.fi.s} \cdot M_{Ed.fi}}{M_{Rd.fi.s}} + \frac{k_{z.fi.s} \cdot M_{z.Ed.fi}}{M_{z.Rd.fi.s}} = 0.968$$

$$\mu_{t.N.Mb.s} := \frac{N_{Ed.fi}}{\chi_{z.fi.s} \cdot N_{c.Rd.fi.s}} + \frac{k_{LT.fi.s} \cdot M_{Ed.fi}}{M_{Rd.fi.s}} + \frac{k_{z.fi.s} \cdot M_{z.Ed.fi}}{M_{z.Rd.fi.s}} = 0.822$$

MAKSIMIKÄYTTÖASTEET

Ajan hetkellä $t = 0$

$$\mu_0 = 0.432$$

Suojaamaton rakenne ajan hetkellä $t = R$

$$\mu_t = 26.317$$

Palosuojattu rakenne ajan hetkellä $t = R$

$$\mu_{t.s} = 0.968$$



Pöyry Finland Oy
Tutkijantie 2 D
FI-90590 OULU
Finland
Kotipaikka Vantaa, Finland
Y-tunnus 0625905-6
Tel. +358 10 33 33280
Fax +358 10 33 28250
www.poyry.fi

Teollisuusrakennusten palosuunnitteluohje

Päivä 12.5.2016
Elisa Leinonen

Sivu 1 (47)

OHJE TEOLLISUUSRAKENNUSTEN PALO-OSASTOINNIN SUUNNITTELUUN JA KANTAVIEN TERÄSRAKENTEIDEN PALOMITOITUKSEEN

alkup	12.5.2016/E.Leinonen				
	Päiväys/Laattija	Päiväys/Tarkastanut	Päiväys/Hyväksynyt	Päiväys/Julkaissut	Huomautukset

SISÄLLYSLUETTELO

LÄHDELUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	RAKENNUKSEN PALOLUOKAN MÄÄRITTÄMINEN	8
2.1	Rakennuksen paloluokka.....	8
2.2	Tarvittavat lähtötiedot	9
2.2.1	Käyttötapa.....	9
2.2.2	Palovaarallisuusluokka	9
2.2.3	Kerrosluku.....	10
2.2.4	Korkeus ja pinta-ala.....	10
2.2.5	Suojaustaso	10
2.2.6	Henkilömäärä	11
3	VAATIMUKSET RAKENTEILLE	12
3.1	Palokuorman tiheyden määrittäminen.....	12
3.2	Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset.....	12
3.3	Palo-osastointi.....	14
3.3.1	Pinta-alaosastointi	15
3.3.2	Käyttötapa- ja kerrososastointi.....	16
3.3.3	Sähkö- ja muuntajatilojen osastointi	16
3.3.4	Muut osastointiperusteet.....	17
3.4	Palon leviämisen rajoittaminen rakennuksesta toiseen	19
3.5	Rakennustarvikkeiden luokitus ja pintamateriaalien vaatimukset.....	20
3.5.1	Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset.....	20
3.5.2	Ulkopuolisten pintojen luokkavaatimukset	21
4	OSASTOIVIEN RAKENTEIDEN TOTEUTUS.....	22
4.1	Rakenteet ilman palomuurivaatimusta.....	22
4.1.1	Sandwich-paneelit	22
4.1.2	Betonirakenteet.....	22
4.1.3	Muuratut rakenteet	25
4.1.4	Kipsilevyrakenteet.....	25
4.2	Palomuurit	26
4.2.1	Palomuurien toteutus.....	26
4.2.2	Palomuurirakenteiden ulotukset.....	26
4.3	Osastoivien rakenteiden aukot, läpiviennit ja ulotukset.....	28
5	TERÄSRAKENTEIDEN PALOMITOITUS	30
5.1	Mitoituksen kulku	30
5.2	Kuormitus palotilanteessa	30
5.3	Lämpötilan kehittyminen	31
5.4	Teräsrakenteen kestävyys palotilanteessa	34
5.5	Suojauspaksuuden määrittäminen.....	35
6	TERÄSRAKENTEIDEN PALOSUOJAUS	39
6.1	Levysuojatut rakenteet	40
6.2	Ruiskutteilla suojatut rakenteet.....	40
6.3	Palosuojamaalatut rakenteet	40
6.4	Betonoinnilla suojatut pilarit	41
6.5	Esimerkkipiirustukset.....	41
7	ESIMERKKIKOHTIEN PALOSUUNNITTELU	43

**LIITELUETTELO:**

- Liite 1. Erityiskäyttöiset tilat
- Liite 2. ETA-hyväksytyt palosuojatuotteet
- Liite 3. Materiaalien ominaislämpöarvoja
- Liite 4. Palosuojausdetaljit

LÄHDELUETTELO

- [1] RT 08-11139. Rakennusten paloluokat ja paloluokan määrittäminen. 2014.
- [2] RT RakMK-21502. E1. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011.
- [3] RT RakMK-21277. E2. Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus. Ohjeet 2005.
- [4] Ympäristöopas 39. Rakennusten paloturvallisuus ja paloturvallisuus korjausrakentamisessa. 2003.
- [5] RIL 195-2-2005. Rakenteellinen paloturvallisuus. Tuotanto- ja varastorakennukset. 2005.
- [6] RT 92-10774. Muuntamotila rakennuksessa. 2002.
- [7] SFS 6001. Suurjännitesähköasennukset. 2015.
- [8] Pintojen ja katteiden paloluokat. Tekninen tiedote. Puuinfo Oy. 2012.
- [9] Toimivat katot 2013. Kattoliitto Ry.
- [10] Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuusopas. Suomen LVI-liitto. 2012.
- [11] RT RakMK-21219. E7. Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuus. Ohjeet 2004.
- [12] Suunnitteluohje. Paroc Panel Systems. 2014.
- [13] SFS-EN 1992-1-2. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu: Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. 2005.
- [14] Elementtisuunnittelu.fi
- [15] RT RakMK-21353. B8. Tiilirakenteet. Ohjeet 2007.
- [16] RT 38407. Leca –kevytsoraharkot. 2013
- [17] SFS-EN 1996-1-2. Eurokoodi 6: Muurattujen rakenteiden suunnittelu: Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. 2005.
- [18] Palokatko-opas. Suomen palokatko yhdistys Ry. 2013.
- [19] SFS-EN 1990. 2002. Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet. 2007.
- [20] NA SFS-EN 1990. 2002. Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet. Kansallinen liite. 2007.
- [21] SFS-EN 1993-1-2. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu: Osa 1-2: Rakenteen palomitoitus. 2005.
- [22] Rakenneputket. EN 1993 –käsikirja. Rautaruukki Oyj. 2012.
- [23] Kantavien teräsrakenteiden palosuojaus. Iso-Mustajärvi, Pekka – Inha, Timo. Rakennustieto Oy, Teräsrakenneyhdistys Ry. 1999.
- [24] ETAG 018-2. Fire protective products. Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements. European Organization for Technical Approvals EOTA. 2011.
- [25] Teräsrakenteiden palosuojamaalaus 2007. Teräsrakenneyhdistys Ry. 2007.
- [26] SFS-EN 1994-1-2. Eurokoodi 4: Betoni-teräs –liittorakenteiden suunnittelu: Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. 2006.
- [27] Juvonen, Jouni. Diplomityö. Teräsbetoni- ja liittopilarin palomitoitus R180 luokkaan eurokoodin mukaisesti. Tampereen teknillinen yliopisto. 2013.



- [28] SFS-EN 1991-1-2. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat: Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. 2003.
- [29] ST 51.17. Sähkökaapelit ja paloturvallisuus. 2013.
- [30] Leinonen, Elisa. Opinnäytetyö. Teollisuusrakennusten palosuunnittelu ja teräsrakenteiden palomitoitus. Oulun ammattikorkeakoulu. 2016.

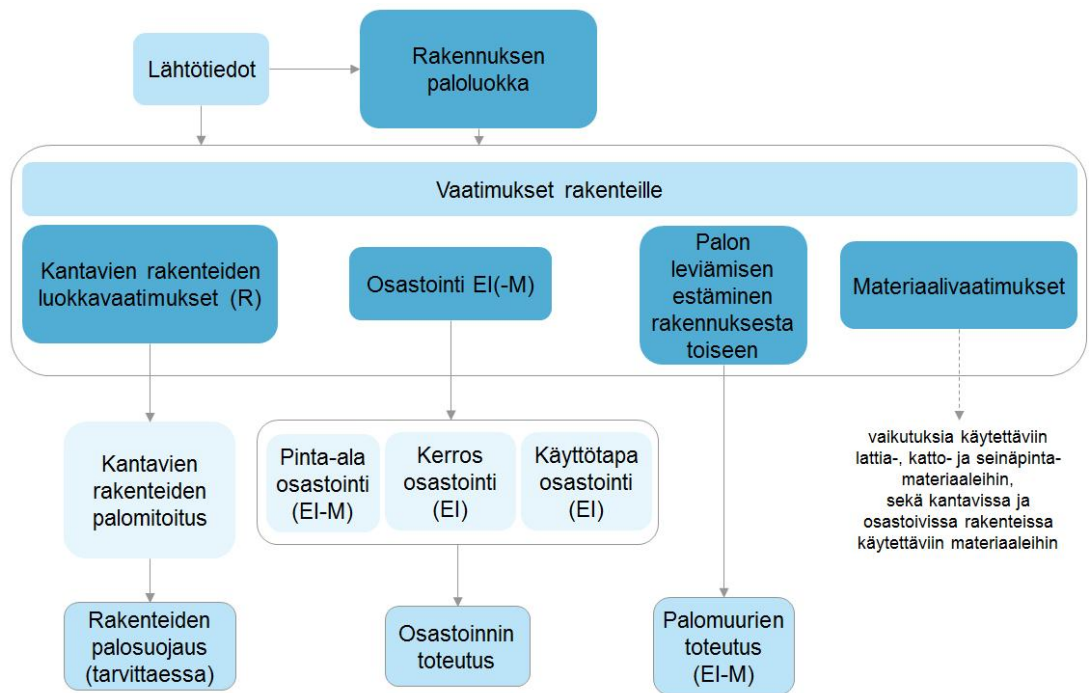
1 JOHDANTO

Tähän dokumenttiin on koottu tuotanto- ja varastorakennuksien rakenteellista paloturvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet sekä ohjeistusta niiden tulkintaan. Ohjeistus on rajattu käsittelemään kantavia rakenteita ja osastointia.

Teollisuusrakennuksen palosuunnittelu voidaan tehdä alla olevassa ja tämän dokumentin sisällön mukaisessa järjestyksessä. Tässä ohjeessa esitettyjen asioiden lisäksi teollisuusrakennusten palosuunnittelussa tulee ottaa huomion savunpoistoon liittyvät seikat sekä henkilöiden poistumisturvallisuus palon sattuessa. Kantavien rakenteiden osalta tässä ohjeessa käsitellään vain teräsrakenteiden palomitoitusta ja -suojausta koskevia asioita.

Teollisuusrakennusten palosuunnittelu (kuva 1):

1. Rakennuksen paloluokan määrittäminen ja paloluokkaan vaikuttavien lähtötietojen määrittäminen → yleisvaatimustaso rakennuksen rakenteille
2. Rakenteiden vaatimusten määrittäminen:
 - Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset (R-vaatimukset)
 - Osastointitavat → osastoiden sijainnit ja osastoivien rakenteiden luokkavaatimukset (EI-vaatimukset)
 - Palon leviämisen rajoittaminen rakennuksesta toiseen → palomuurirakenteet
 - Pintamateriaalien ja rakennustarvikkeiden vaatimukset → sisä- ja ulkopuoliset pinnat
3. Osastoivien rakenteiden toteutus → käytettävissä olevat rakennetyypit
 - Osastoivat rakenteet ilman palomuurivaatimuksia
 - Palomuurirakenteet
 - Huomioon otettavat yksityiskohdat: Aukot, läpiviennit, ulotukset
4. Kantavien rakenteiden palomitoitus (tässä ohjeessa käsitelty vain teräsrakenteiden palomitoitusta)
5. Kantavien rakenteiden palosuojaus tarvittaessa (tässä ohjeessa käsitelty vain teräsrakenteiden palosuojausta)



KUVA 1 Teollisuusrakennusten palosuunnittelu

2 RAKENNUKSEN PALOLUOKAN MÄÄRITTÄMINEN

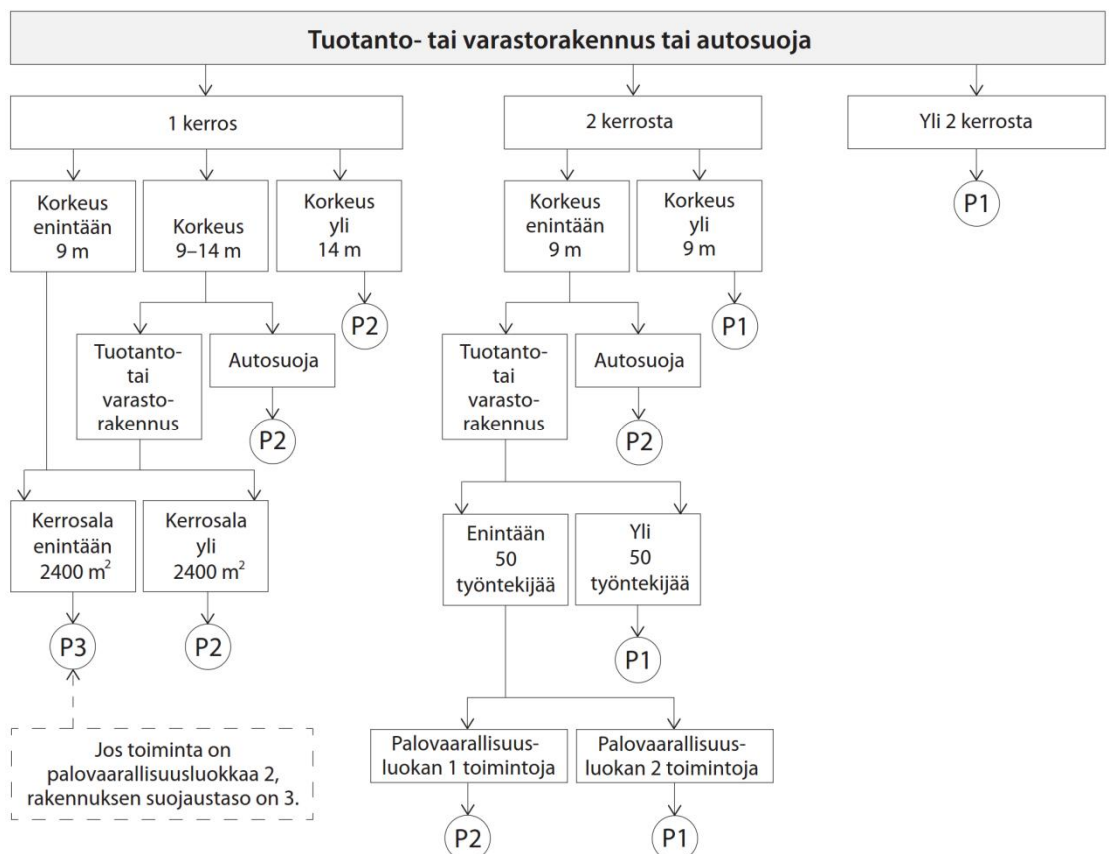
2.1 Rakennuksen paloluokka

Rakennukset jaetaan kolmeen paloluokkaan: P1, P2 ja P3. Näistä luokka P1 on vaativin. Kantavien rakenteiden ja osastoinnin luokkavaatimukset ovat sitä korkeammat mitä vaativamman paloluokan rakennuksesta on kysymys.

Taulukossa 1 on esitetty tyypillisten teollisuusrakennusten karkea jako paloluokkien mukaan. Rakennuksen paloluokka voidaan määrittää kuvan 2 kaavion avulla.

TAULUKKO 1 Rakennusten jakautuminen paloluokkiin tyypillisissä teollisuuskohteissa

Paloluokka		
P1	P2	P3
Monikerroksiset rakennukset	1-kerroksiset suuret tuotantotilat	Matalat 1-kerroksiset hallirakennukset
Esim. sähkö- ja muut aputilat	Esim. kattilarakennukset	Pienet apurakennukset



KUVA 2 Rakennuksen paloluokan määräytyminen [1]

Alemman paloluokan rakennus on edullisempi toteuttaa. Taulukosta 2 nähdään, että mitä vaativampi rakennuksen paloluokka on, sitä pidempään tulee rakenteiden kestää paloa. Tämän takia rakennusta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon seikat, joilla voidaan mahdollisesti vaikuttaa rakennuksen paloluokan määräytymiseen. Rakennus voidaan esimerkiksi jakaa palomuurilla kahteen osaan, jolloin osat voidaan luokitella

eri paloluokkiin kuuluviksi. Tällöin joko toisen tai molempien osien paloluokasta saadaan vähemmän vaativa kuin rakennuksella yhtenäisenä olisi. [2]

TAULUKKO 2 Rakenteiden maksimipalonkestoajat vaativimmissa tapauksissa eri paloluokkien mukaan [2], [3]

Palonkestoaja vaativimmissa tapauksissa	Rakenne		
	Kantava	Osastoiva	
	R	EI	EI-M
P1	240	120	120
P2	180	60	120
P3	-	30	90

2.2 Tarvittavat lähtötiedot

2.2.1 Käyttötapa

Rakennuksen käyttötapa, eli minkälaisia toimintoja rakennuksessa pääasiassa on. Käyttötavat on luokiteltu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 seuraaviin ryhmiin: asunnot, kokoontumis- ja liiketilat, majoitustilat, hoitolaitokset, autosuojat, työpaikkatilat sekä tuotanto- ja varastorakennukset. Teollisuusrakennukset ovat tuotanto- ja varastointirakennuksia.

Rakennuksen sisällä olevien tilojen käyttötarkoitukset (esim. prosessitilat, varastot, sosiaalitalat jne.) ja niiden sijainnit rakennuksessa tulee tietää, koska tilojen paloturvallisuusvaatimukset, jotka on esitetty kohdassa 3, muuttuvat käyttötarkoituksen mukaan.

2.2.2 Palovaarallisuusluokka

Teollisuusrakennukset jaetaan palovaarallisuusluokkiin 1 ja 2 (palovaarallisuusluokka 2 vaarallisempi). Rakennuksen päätoiminta määrittää palovaarallisuusluokan. Tavanomaiset teollisuuskohteet kuuluvat useimmiten palovaarallisuusluokkaan 1.

Esimerkkejä eri teollisuusalojen palovaarallisuusluokittelusta on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3 Esimerkkejä eri palovaarallisuusluokkiin kuuluvista toiminnoista

Palovaarallisuusluokka	Esimerkkikohteita
1	Betoni- ja sementtiteollisuus Metalli- ja konepajateollisuus Paperi-, kartonki- ja selluloosateollisuus
2	Saha-, lastulevy- ja vaneriteollisuus Palavien nesteiden jalostamot Vahto- ja lujitemuoviteollisuus

Palovaarallisuusluokkaan 1 kuuluvat toiminnot, joihin liittyy vähäinen tai kohtuullinen palovaara. Tällaisia ovat toiminnot, joissa

- kerrallaan käsiteltävien raaka-aineiden määrä on pieni
- käsitellään kosteita raaka-aineita

- käsitellään tai varastoidaan palavia nesteitä, joiden leimahduspiste on yli 55 °C
- käsitellään tai varastoidaan höyryjä tai pölyjä, jotka ovat vain rajoitetuissa määrin palovaarallisia. ([3], s. 5.)

Palovaarallisuusluokkaan 2 kuuluvat toiminnot, joissa voi esiintyä räjähdysvaara tai joihin liittyy huomattava tai suuri palovaara. Tällaisia ovat esimerkiksi toiminnot, joissa

- syntyy höyryjä tai hienojakoisia pölyjä, jotka yhdessä ilman kanssa voivat muodostaa räjähtävän/ helposti syttyvän seoksen
- käsitellään herkästi syttyviä ja nopeasti lämpöä luovuttavia aineita
- käsitellään tai varastoidaan palavia nesteitä, joiden leimahduspiste on alle 50 °C
- käsitellään räjähdysaineita tai aineita jotka voivat syttyä itsestään esimerkiksi ilman, veden kitkalämmön tai tärähdyksen vaikutuksesta [3].

Kohdesuojaus ja -osastointi

Jos yksittäiset palovaarallisuusluokkaan 2 kuuluvat palovaaralliset tuotantokohtat kohdesuojataan tai ympäröidään vähintään A2-s1, d0 – luokan tarvikkeista valmistetuilla EI60 -rakenteilla, voidaan rakennuksen palovaarallisuusluokaksi valita 1. Tällaisia tuotantokohtia ovat esim. pölyn- ja purunpoistojärjestelmien suodattimet ja siilot, kuljetuslinjat ja muut vastaavat pienehköt palo- ja räjähdysvaaralliset tilat. [3]

2.2.3 Kerrosluku

Kerroslukuun lasketaan mukaan kaikki maanpinnan yläpuolella olevat kerrokset, joissa on rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisia tiloja. Koneiden ja laitteiden huoltoon tarkoitettuja avonaisia hoito- ja ritilätasoja tai varastoparvia ei yleensä pidetä kerroksina (esimerkiksi kattilarakennuksen ritilätasot). [3]

Pääosin yksikerroksisessa tuotanto- ja varastorakennuksessa saa olla toisessa kerroksessa tiloja, jotka oleellisesti liittyvät rakennuksen toimintaan. Tällaisia ovat tilat, joiden käyttötapa on sama kuin alemassa kerroksessa tai tilat palvelevat rakennuksen toimintaa (esim. toimisto- ja sosiaalitilat). Toisen kerroksen kerrosala ei saa olla yli 200 m² tai yli 15 % koko rakennuksen kerrosalasta. [3]

2.2.4 Korkeus ja pinta-ala

Rakennuksen palotekninen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkausviivan korkeus maan pinnasta. Tarvittaessa lasketaan nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo.

Pinta-ala lasketaan kuten huoneistoala.

2.2.5 Suojaustaso

Suojaustaso tarkoittaa rakennuksessa olevan ensisammutuskaluston ja palohälytintjärjestelmän tasoa.

Tuotanto- ja varastorakennuksille suojaustasoja on kolme, joista taso 1 on heikoin. Suojaustasojen laitteistovaatimukset on esitetty taulukossa 4. [3]

TAULUKKO 4 Suojaustasot [3]

	Suojaustaso		
	1	2	3
Sammutuskalusto ja palohälytinjärjestelmä	Palovaarallisuus- luokka 1	Palovaarallisuus- luokka 2	
Tavanomainen alkusammutuslaitteisto			
Pikapalopostit ja käsiammuttimet	X	X	X
Tehokkaat palopostit tai kemialliset sammuttimet		X	
Palonilmoitin		X	
Automaattinen sammutuslaitteisto			X

Valitsemalla suojaustaso korkeammaksi voidaan palo-osastoinnin suurimpia pinta-aloja kasvattaa. Suojaustasolla on myös joissakin tapauksissa vaikutusta rakennuksen paloluokkaan. [5]

2.2.6 Henkilömäärä

Rakennuksessa oleskelevien henkilöiden määrä.

Mikäli rakennuksessa on eri käyttötaparyhmiin kuuluvia tiloja, tulee turvallisuustasoa E1 ohjeen mukaan tarkastella kokonaisuutena. Käytännössä tämä voidaan tehdä jakamalla käyttötavan suunniteltu henkilömäärä ko. käytön suurimmalla sallitulla henkilömäärällä. Tämä jakolasku tehdään kaikille eri käyttötapa ryhmiin kuuluville tiloille. Saadut osamäärät lasketaan yhteen ja mikäli summa pysyy noin yhdessä rakennus täyttää kokonaisuutena tarkasteluna henkilömäärärajoitukset. [4]

3 VAATIMUKSET RAKENTEILLE

Yleensä kohteen pääsuunnittelija määrittää rakenteiden paloturvallisuusvaatimukset yhteistyössä pelastusviranomaisen kanssa. Teollisuuskohteissa vaatimuksista yleensä sovitaan asiakkaan ja muiden suunnittelualojen kanssa yhteistyössä, jonka jälkeen vaatimukset hyväksytetään viranomaisilla. Tässä osiossa esitetyjä vaatimuksia voidaan tiukentaa tai lieventää tapauskohtaisesti rakennusvalvonnan ja/tai pelastusviranomaisten sekä asiakkaan hyväksynnällä.

3.1 Palokuorman tiheyden määrittäminen

Rakennuksessa olevien palokuormien tiheydet tulee tietää/määrittää, jotta rakenteiden vaatimukset voidaan määritellä.

Palokuormalla tarkoitetaan vapautuvaa kokonaislämpö määrää, kun palotilassa oleva aine palaa kokonaan. Palokuorma koostuu tilan irtaimistosta sekä kantavista, jäykistäivistä, osastoivista ja muista rakennusosista.

Palokuormaryhmät ovat: Alle 600 MJ/m², 600 - 1200 MJ/m² ja yli 1200 MJ/ m². Palokuorma määritetään käyttötavan perusteella tai laskemalla. [2]

Teollisuusrakennuksissa käyttötavan perusteella määrittely ei yleensä sovellu palokuorman määrän määrittämiseen. Vain varastotilat voidaan suoraan luokitella ryhmään yli 1200 MJ/ m².

Palokuorman tiheyden laskentaa varten tulee selvittää palo-osastossa olevien palavien aineiden laatu ja määrä sekä palo-osaston pinta-ala. Palokuorman tiheys voidaan laskea kaavalla 1. [4]

$$q_f = \frac{1}{A} * \sum_i (H_{ui} * m_i) \quad \text{KAAVA 1}$$

Jossa

A on palo-osaston pinta-ala [m²]

H_{ui} on materiaalin ominaislämpöarvo [MJ] (ks. liite 3)

m_i on materiaalin massa [kg]

Palavat aineet jaotellaan niiden lämpöarvojen mukaan. Materiaalien ominaislämpöarvoja on esitetty liitteen 3 taulukossa.

Teollisuusrakentamisessa palokuormaa aiheuttavat pääasiassa käsiteltävät ja varastoitavat materiaalit, sähkökaapelit ja muut sähkölaitteistot, kuljettimien hihnat, sekä laitteistojen moottori-, hydraulii- ja vaihteistoöljyt.

3.2 Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset

Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset määritetään taulukon 5 mukaan.

TAULUKKO 5 Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset [2], [3]

	Rakennuksen paloluokka								P3
	P1				P2				
	Palokuorma MJ/ m ²		Kaikki palokuormaryhmät		Palokuorma MJ/ m ²		PVL 1: PVL 2: Kaikki palokuormaryhmät		
Yli 1200	600-1200	Alle 600		Yli 1200	600-1200	Alle 600			
Yksikerroksinen tuotanto- ja varistorakennus									
Automaattinen sammutuslaitteisto				R15 / R30				R15	R15
Enintään 2-kerroksinen rakennus yleensä	R120*	R90*	R60*		R30	R30	R30		
Jos rakennuksen eristeet eivät ole vähintään luokkaa A2-s1, d0	R120	R90	R60		R30	R30	R30		
Kellarit	R120	R90	R60		R30	R30	R30		Ei mahd.
3-8 kerroksinen rakennus	R180	R120	R60		Ei mahd.	Ei mahd.	Ei mahd.		Ei mahd.
Yli 8 kerroksinen rakennus	R240	R180	R120		Ei mahd.	Ei mahd.	Ei mahd.		Ei mahd.
Ylimmän maanalaisen kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset	R240	R180	R120		R240	R180	R120		R60
Yläpohjan rakenteiden vaatimukset enintään 2-kerroksisessa rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa, kun yläpohjan eristeet luokkaa A2-s1, d0 TAI suojattu P1-luokan rakennuksessa EI60, P2-luokan rakennuksessa EI30 rakenteilla									
Rakenteet, jotka ovat kantavan rungon tai jäykisteiden olennainen osa	R60	R60	R60		R30	R30	R30		
Rakenteet, jotka eivät ole kantavan rungon tai jäykisteiden olennainen osa	R15	R15	R15		R15	R15	R15		
Huomautukset:	Kantavan rungon tai jäykisteiden olennaisia osia ovat pääkannattajat, runkoa jäykistävät sekundäärikannattajat ja yläpohjan jäykisteet ja muut sellaiset yksittäiset rakenteet, jotka toimivat yläpohjan stabiileetin säilyttämiseksi, sekä näiden väliset liitokset.								
Merkinnät:	* = rakennuksen eristeiden tulee olla vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista. RXX = (lihavoidut kohdat) kantavat rakenteet tehtävä vähintään luokan A2-s1,d0 tarvikkeista - = ei luokkavaatimusta PVL = palovaarallisuusluokka								

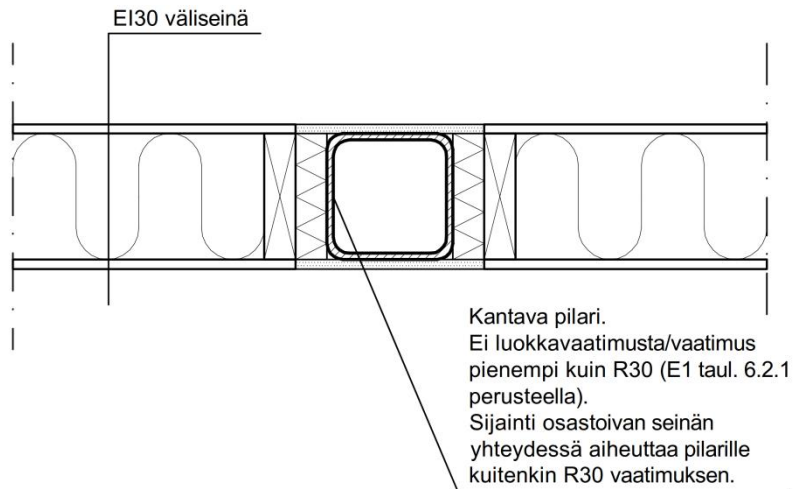
Taulukossa esitettyjä lievennyksiä enintään 2-kerroksisen rakennuksen yläpohjan rakenteille voidaan toteuttaa, mikäli yläpohjan lämmöneristeenä käytetään A2-s1, d0 -luokan eristettä (palamatonta), jatkuva sortuminen on estetty ja palo-osastointi on tehty määräysten mukaan. [1]

Lisäksi yli kaksikerroksisen P1- luokan rakennuksen ja 3-8 kerroksisen P2-luokan rakennuksen uloskäytävien porrassyöksyjen ja -tasanteiden tulee täyttää taulukon 6 mukaiset luokkavaatimukset.

TAULUKKO 6 Porrastasanteiden ja -syöksyjen luokkavaatimukset [2]

Uloskäytävien porrassyöksyjen ja -tasanteiden rakenteiden luokkavaatimukset		
Paloluokka	P1	P2
Kerrosluku	Yli 2	3-8
Palokuorma		
– Alle 600 MJ/m ²	R30	R30
– Yli 600 MJ/m ²	R60	R60

Osastoivaa rakennetta tukevat pilarit ym. rakenneosat tulee myös palosuojata. Kun osastoivan rakenteen luokkavaatimus on korkeampi kuin kantavalle rakenteelle annettu, määräytyy kantavan rakennusosan luokkavaatimus osastoinnin vaatimuksen mukaan. Esimerkkitalanne esitetty kuvassa 3, jossa EI30 seinää tukee pilari, jonka luokkavaatimus määräytyy seinän palonkestoajan mukaan.



KUVA 3 Esimerkki: Pilari osastoivassa seinässä

Lisäksi monikerroksisessa rakennuksessa ylempien kerrosten kantavien rakenteiden luokkavaatimus voi nostaa alempien kerrosten rakenteiden luokkavaatimusta, jotta rakennus ei sortuisi. Esimerkki tällaisesta tapauksesta on esitetty kuvassa 4.

R90	Tilan palokuorma 600 - 1200 MJ/m ²	R90
R60 → R90	Tilan palokuorma Alle 600 MJ/m ²	R60 → R90

KUVA 4 Esimerkki: Ylemmän kerroksen vaatimusten vaikutus alempiin kerroksiin

3.3 Palo-osastointi

Tuotanto- ja varastorakennuksissa palo-osastointi toteutetaan ensisijaisesti pinta-alaosastointina ja sitä täydennetään käyttötapa- ja kerrossastoinnilla. [3]

Palo-osastointia suunniteltaessa on oleellista tietää, millä perusteella osastoiva rakenne tehdään. Rakenteiden luokka- ja materiaalivaatimukset vaihtelevat osastointitavasta riippuen (taulukko 7). Osastoivien rakenteiden luokkavaatimuksia kuvataan seuraavilla merkinnöillä

- E – tiiviys
- I – eristävyys
- M – iskunkestävyys palotilanteessa (ts. palomuur).

Numeroarvo kirjainmerkinnän perässä tarkoittaa palonkestävyysaika minuutteina.

TAULUKKO 7 Osastointitavan perusteella määräytyvät rakenteet

Osastointiperuste	Rakenteet
Pinta-ala	EI-M
Käyttötapa	EI
Kerros	EI

HUOM! Erityyppisiä tiloja erottavien osastoivien rakenteiden suunnittelussa täytyy ottaa huomioon kummankin puolen vaatimukset. Suurempi vaatimus on aina määräävä.

3.3.1 Pinta-alaosastointi

Suurimmat sallitut osastojen koot pinta-alaosastoinnissa on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8 Pinta-alaosastojen suurimmat sallitut koot [1]

Sarake	P1			P2		P3
	1 kerros	2–3 kerrosta	yli 3 kerrosta	1 kerros	2 kerrosta	1 kerros
	1	2	3	4	5	6
Palovaarallisuusluokka 1						
– suojaustaso 1	6000 m ²	4000 m ²	3000 m ²	4000 m ²	2000 m ²	2000 m ²
– suojaustaso 2	12000 m ²	6000 m ²	4500 m ²	6000 m ²	4000 m ²	4000 m ²
– suojaustaso 3	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	12000 m ²	12000 m ²
Palovaarallisuusluokka 2						
– suojaustaso 1	2000 m ²	1000 m ²	750 m ²	1000 m ²	<i>ei sallittu</i>	<i>ei sallittu</i>
– suojaustaso 2	4000 m ²	2000 m ²	1500 m ²	2000 m ²	<i>ei sallittu</i>	<i>ei sallittu</i>
– suojaustaso 3	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	<i>ei sallittu</i>	2000 m ²
Taulukon huomautus:	Pinta-alat lasketaan kuten huoneistoala. Kellarien osastointi harkinnan mukaan.					

Taulukon 8 merkintä ”harkinnan mukaan” tarkoittaa käytännössä suurimman osaston pinta-alan rajoittamista enintään kolminkertaiseksi suojaustason 2 palo-osastoon nähden [5]. Varastointitilan vapaan sisäkorkeuden ylittäessä 6 m, osaston maksimipinta-ala lasketaan kertomalla vastaava taulukkoarvo suhteella 6/h [1].

Pinta-alaosastoinnin luokkavaatimukset

Pinta-alaosastoja rajaavat rakennusosat tehdään taulukossa 9 esitettyjen vaatimusten mukaan.

TAULUKKO 9 Pinta-alaosastointia toteuttavien rakenteiden luokkavaatimukset [1]

	P1	P2	P3
Palovaarallisuusluokka 1			
– suojaustaso 1 ja 2	EI-M 90	EI-M 90	EI-M 90
– suojaustaso 3	EI-M 60	EI-M 60	EI-M 60
Palovaarallisuusluokka 2			
– suojaustaso 1 ja 2	EI-M 120	EI-M 120	<i>ei sallittu</i>
– suojaustaso 3	EI-M 60	EI-M 60	EI-M 60
Taulukon merkintä:	○ = Edellytetään A1-luokan tarviketta		

3.3.2 Käyttötapa- ja kerrososastointi

Käyttötapaosastointi: Käyttötavaltaan toisistaan poikkeavat tilat esimerkiksi palveluosastot, sosiaalitulat, prosessitulat sekä erilaiset varastot erotetaan osastoinnilla. Samassa käyttötaparyhmässä toisistaan palokuormaltaan eroavat tilat erotetaan myös osastoinnilla. [3]

Myös rakennuksen toiminnan kannalta elintärkeitä tilat on suositeltavaa osastoida taulukon 10 vaatimusten mukaan. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi varavoimakonehuoneet, ATK-keskukset sekä suurteollisuuden ja voimalaitosten valvomot. Lisäksi erityiskäyttöisten ja vaarallisten tilojen osastointi tulee tehdä kyseisiä tiloja koskevien määräysten mukaan. Listaus näistä tiloista ja niitä koskevista määräyksistä on esitetty liitteessä 1. [3]

Kerrososastointi: Rakennuksen eri kerrokset, ullakko ja kellarikerrokset muodostavat yleensä omat palo-osastonsa. Kerrososastointia ei tarvita yksikerroksisessa rakennuksessa, jossa on kooltaan alle 50 m² tiloja toisessa kerroksessa. Lisäksi osastointia ei välttämättä tarvita jos toisessa kerroksessa olevat tilat ovat

- samaa käyttötapaa kuin alemmassa kerroksessa
- kooltaan alle 200 m² ja alle 15 % rakennuksen kokonaiskerrosalasta. [2]

Käyttötapa- ja kerrososastoinnin luokkavaatimukset

Käyttötapa- ja kerrososastointia toteuttavien rakennusosien luokat määräytyvät taulukon 10 mukaan.

TAULUKKO 10 Käyttötapa- ja kerrososastointia toteuttavien rakenteiden luokkavaatimukset [2]

	Rakennuksen paloluokka ja kerrosluokka				
	P1 ja P2 3–8 kerrosta			P2 1–2 kerrosta	P3
	Palokuorma MJ/m ²				
		yli 1200	600–1200	alle 600	
Sarake	1	2	3	4	5
Osastoivat rakennusosat kerroksissa	EI 120	EI 90	EI 60	EI 30	EI 30
Osastoivat rakennusosat kellareissa	EI 120	EI 90	EI 60	EI 60	EI 30

3.3.3 Sähkö- ja muuntajatilojen osastointi

Muuntajatilat osastoidaan taulukon 11 mukaisesti.

TAULUKKO 11 Muuntajatilojen osastointi [6]

Kerroksien lukumäärä	O1 luokan eristysnestettä sisältävän F0 luokan kuivamuuntaja- tai kojeis-		totila	
	Kantavien rakennusosien vaatimukset	Osastoivien rakennusosien vaatimukset	Kantavien rakennusosien vaatimukset	Osastoivien rakennusosien vaatimukset
Enintään 2	R 120	EI 120	R 60	EI 60
3...8 tai 1. kellaritaso	R 180	EI 120	R 60	EI 60
Yli 8 tai 1. kerroksen alapuolella	R 240	EI 120	R 120	EI 120

Jos muuntamoon tulee useampia muuntajia, tulee jokainen yli 1000 kVA muuntaja osastoida erikseen.

Sisätiloihin aukeavien ovien palonkeston oltava muuntajatiloiissa vähintään 60 min. Suoraan ulos aukeavat ovet oltava palamatonta materiaalia. [6]

Suurjännitesähkötilat osastoidaan taulukon 10 mukaan. [6]

3.3.4 Muut osastointiperusteet

Uloskäytävät

Uloskäytävästä muodostetaan yleensä oma palo-osasto taulukon 10 vaatimusten mukaan. Lisäksi uloskäytävien porrassyöksyt ja -tasanteet tulee tehdä vähintään A2-s1, d0- luokan rakennustarvikkeista. [2]

Ullakot ja yläpohjan ontelot

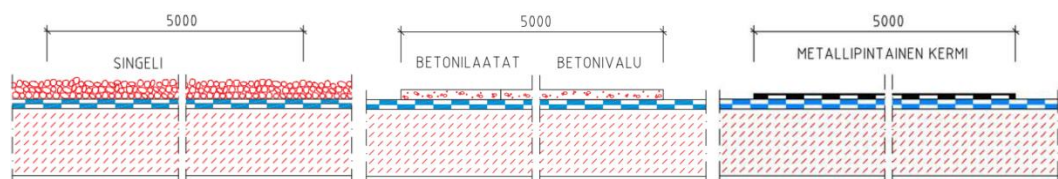
Ullakot ja yläpohjan ontelot osastoidaan korkeintaan 1600 m² osastoiksi P1- ja P2- rakennuksissa. Lisäksi ullakot ja yläpohjan ontelot on jaettava korkeintaan 400 m² osiin. [2]

- P3-paloluokan rakennuksissa ullakoiden ja yläpohjan onteloiden osastointi toteutetaan yleensä alapuolisten osastojen mukaan.
- P2- ja P1 -luokan rakennuksissa
 - o ullakko muodostetaan yleensä omaksi palo-osastoksi tekemällä alakattorakenteesta osastoiva
 - o yläpohjan ontelo toteutetaan omana palo-osastona vain jos alakaton tulee estää palon leviäminen osastosta toiseen.

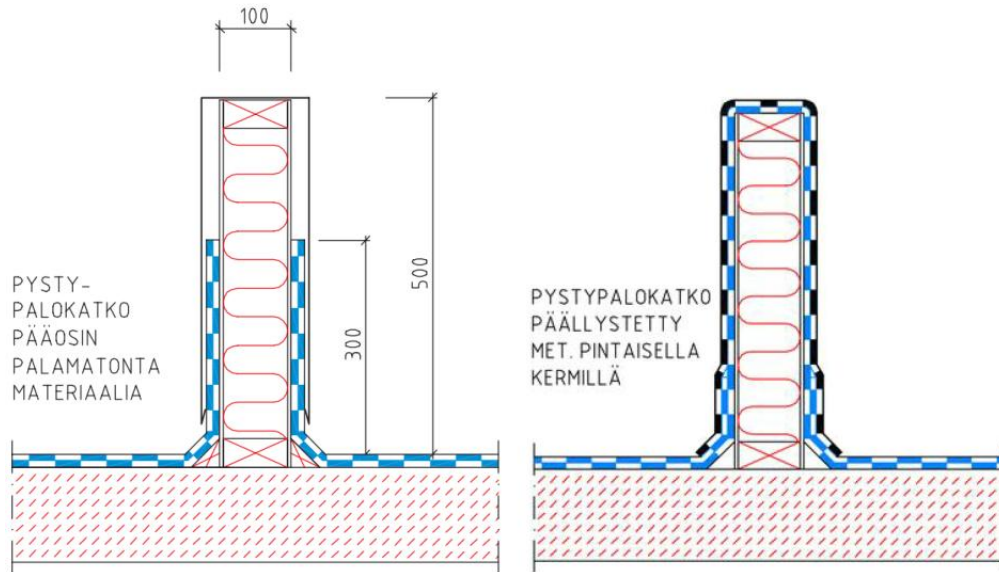
Ullakon ja yläpohjan osastoiville rakenteille on annettu luokkavaatimus EI30. Ullakon ja yläpohjan ontelon palo-osaston osiin jakavien rakenteiden vaatimus on EI15. [2], [8]

Suuret kattopinnat

Suuret kattopinnat on jaettava korkeintaan 2400 m² osiin jos katteen materiaali ei ole vähintään luokkaa A2-s1, d0 tai B_{ROOF}. Kattopinta täytyy jakaa osiin joko pysty- tai vaakasuorilla palokatkoilla. Katkot on pyrittävä sijoittamaan alapuolisten osastovien seinien kohdalle. Vaakasuuntainen palokatko voidaan toteuttaa joko 5 m leveällä suojakiveyskaistalla, betonilaatoituksella/valulla tai metallipintaisella pintakermillä (kuva 5). Pystysuuntainen palokatko voidaan toteuttaa väh. 500 mm korkealla ja 100 mm leveällä palamattomista materiaaleista tehdyllä ja suojapellitetyllä katkolla. Katko voidaan pellityksen sijaan päällystää metallipintaisella kermillä (kuva 6). [9]



KUVA 5 Vaakapalokatkot vesikatolla [9]



KUVA 6 Pystypalokatkot vesikatolla [9]

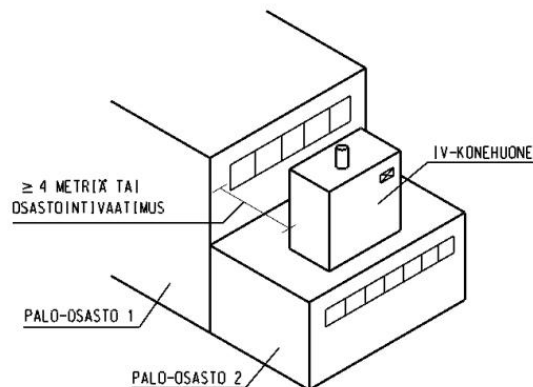
IV-konehuoneet

IV-konehuoneet osastoidaan taulukon 12 mukaan silloin kun IV-laitteisto palvelee useampia palo-osastoja. IV-laitteistoa palvelevat toiminnot (esim. sähkö- ja automaatiokeskukset) saavat olla IV-konehuoneessa. [10]

TAULUKKO 12 IV-konehuoneen osastointivaatimukset [11]

Rakennuksen paloluokka	P1	P2	P3
Osastointivaatimus	EI 60 A2-s1, d0 tarvikkeista	EI 30	EI 30

Katolla sijaitsevan IV-konehuoneen seinät tulee osastoida 300 mm korkeudelle jos vesikattorakenteissa ei ole käytetty vähintään A2-s1, d0-luokkaisia tarvikkeita. Mikäli kuvan 7 mukainen 4 metrin etäisyys ei täyty, tulee IV-konehuoneen seinä tai korkeamman osan seinä tehdä osastoivaksi taulukon 12 mukaan. [11]



KUVA 7 IV-konehuone katolla, jossa korkeuseroja [11]

3.4 Palon leviämisen rajoittaminen rakennuksesta toiseen

Silloin kun palomuuuri ei ole pinta-alaosastointia toteuttava rakenne luokkavaatimus palomuurille määräytyy taulukon 13 mukaan. Rakennuksen eri osat voidaan luokitella eri paloluokkiin kuuluviksi, mikäli palon leviäminen osastosta toiseen on estetty palomuurilla. Palomuuuri tulee tehdä kaikissa P1-luokan rakennuksissa ja 3-8 kerroksisissa P2-luokan rakennuksissa A1-luokan rakennustarvikkeista. [2]

TAULUKKO 13 Palomuurien luokkavaatimukset [2]

Rakennuksen paloluokka ja kerrosluku					
P1 ja P2 3–8 kerrosta			P2 1–2 krs.		P3
Palokuorma MJ/m ²					
yli 1200		600–1200		alle 600	
Sarake	1	2	3	4	5
PALOMUURI	EI-M 240	EI-M 180	EI-M 120	EI-M 120	EI-M 60

Kun rakennusten välinen etäisyys on alle 8 metriä, täytyy palon leviämistä rakennuksesta toiseen rajata palomuurilla tai osastoivilla rakenteilla. Myös vesikaterakenteiden tulee olla palamattomia (A1 tai A2-s1, d0 –rakennustarvikkeita). [2]

Ulkotiloissa olevat muuntajat

Ulosasennettaville muuntajille on annettu etäisyysvaatimuksia taulukon 14 mukaan.

TAULUKKO 14 ulkona olevien muuntajien etäisyysvaatimukset [7]

Muuntajatyyppi	Nestemäärä	Etäisyys G ₁ toisiin muuntajiin ja palonkestäviin rakennuspintoihin	Etäisyys G ₂ syttyviin rakennuspintoihin
	l	m	m
Öljyeristeiset muuntajat (O)	200 <...< 2 000	3	8
	2 000 ≤...< 20 000	5	10
	20 000 ≤...< 45 000	10	20
	≥ 45 000	15	30
Vähemmän palonarat nesteeristeiset muuntajat (K)	200 <...< 3 800	1,5	8
	≥ 3 800	4,5	15
Kuivamuuntajat (A)	Paloluokka	Etäisyys G₁ rakennuspintaan tai viereisiin muuntajiin	
		Vaakaetäisyys m	Pystyettäisyys m
		F0	1,5
	F1	0	0

HUOM. Hartsieristeisten muuntajakäymitysten määräjain toistuvaan puhdistukseen on varattava riittävä tila, jotta likaantunut ilma ei aiheuta sähkövikoja ja palovaaraa.

Lähellä olevat muuntajat erotetaan toisistaan osastoivalla seinällä (EI60). Kun muuntamo on lähellä toista rakennusta, käytetään EI120 seinää joko muuntamon seinänä tai lähellä olevan rakennuksen seinänä. [7]

Kaavamääräykset

Kaavassa voidaan esimerkiksi määrätä rakennus tehtäväksi tontin rajaan kiinni, jolloin rakennusten välinen etäisyys on alle 8 m ja rakenteille voi tulla palomuurivaatimuksia.

3.5 Rakennustarvikkeiden luokitus ja pintamateriaalien vaatimukset

Rakennuksissa käytettäville rakennustarvikkeille on asetettu vaatimuksia, joissa otetaan huomioon tarvikkeiden vaikutus palon syttymiseen ja leviämiseen sekä savun ja palavien pisaroiden muodostuminen palossa. Tarvikkeet on näiden ominaisuuksien perustella jaettu luokkiin, joita kuvataan merkinnöillä A1, A2, B, C, D, E ja F sekä lisämääreillä s1, s2 ja s3 ja d0, d1 ja d2. Merkintöjen selitykset on esitetty taulukossa 15 ja esimerkkejä näiden luokkien rakennustarvikkeista taulukossa 16. Suomessa ovat käytössä luokat A1; A2-s1, d0; B-s1, d0; B-s2, d0; C-s2, d1; D-s2, d2. [2]

TAULUKKO 15 Rakennustarvikkeiden luokat [2]

Vaikutus palon syttymiseen ja leviämiseen	
A1	Tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon
A2	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu
B	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu
C	Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti
D	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä
E	Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä
F	Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty
Savuntuotto	
s1	Savuntuotto on erittäin vähäistä
s2	Savuntuotto on vähäistä
s3	Savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia
Palavien pisaroiden muodostaminen	
d0	Palavian pisaroita tai osia ei esiinny
d1	Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti
d2	Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia

TAULUKKO 16 Rakennustarvikkeiden paloluokitus-esimerkkejä

A1	Kivi, Betoni, Tiili Lasi, Teräs, Paroc-eristeet (ilman pinnoitetta)
A2 -s1, d0	Sementtikuitulevyt, Kipsikartonkilevyt (esim. Gyproc GN 13), Ruukki Paneelit
B	Kipsilevyt (esim. Knauf KH 13, KL 15), Palosuojattu puu
B -s1, d0	Sementtilastulevy
-s2, d0	Palosuojatut/pinnoitetu vanerit
C	Palosuojattu puu
C -s2,d1	Pinnoitetut lastulevyt
D	Puutuotteet yleensä, EPS-eristeet, Kovat puukuitulevyt, Vanerilevyt, MDF-levyt, puupanelointi
D -s2,d2	Rakennuspuutavara, vaneri 3mm
E	Huokoinen puukuitulevy, Puukuitueristeet, XPS-eristeet, EPS-eristeet
F	XPS-eristeet, EPS-eristeet, muovi, paperi

HUOM! Paloluokittelussa rakenteessa käytettävien tuotteiden paloluokitus tarkistettava valmistajalta

3.5.1 Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset

Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset on esitetty taulukossa 17.

TAULUKKO 17 Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset [2]

Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset		Rakennuksen paloluokka		
		P1	P2	P3
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 _{FL} -s1	D _{FL} -s1	-
- Palovaarallisuusluokka 2	Seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
	Lattiat	A2 _{FL} -s1	A2 _{FL} -s1	A2 _{FL} -s1
Uloskäytävät	Seinät ja katot	A2-s1, d0	A2-s1, d0	B-s1, d0
	Lattiat	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
Ullakot ja kellarit				
- Käyttöullakot	Lattiat	A2 _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
- Käyttämättömät ullakot ja ontelot	Yläpohjan yläpinta	B-s1, d0	B-s1, d0	-
- Kellaritilat yleensä	Seinät ja katot	C-s2, d1	B-s1, d0	D-s2, d2
	Lattiat	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
- Teknisen huollon tilat	Seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
	Lattiat	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
	Kattilahuoneen lattiat	A2 _{FL} -s1	A2 _{FL} -s1	A2 _{FL} -s1

Sähkötilojen pintavaatimukset

Sähkötiloissa katto- ja seinäpintojen on oltava vähintään luokkaa B-s1, d0. [7]

IV-konehuoneiden pintavaatimukset

Lattiat ilmanvaihtokonehuoneissa tulee tehdä luokan D_{FL} -s1 tarvikkeista. [11]

P2- ja P3-luokan rakennuksissa IV-konehuoneen sisäpuolisten seinä- ja kattopintojen luokkavaatimus on B-s1, d0. [11]

3.5.2 Ulkopuolisten pintojen luokkavaatimukset

P1 luokan rakennuksen ulkopinnat oltava yleensä luokkaa B-s1, d0. Ulkopinnoilla tarkoitetaan tässä ulkoseinän ulkopintaa, tuuletusraon ulkopintaa ja tuuletusraon sisäpintaa. P2- ja P3- luokan rakennuksissa ulkopintojen luokkavaatimus on yleensä D-s2, d2. Katteet tulee tehdä luokan B_{ROOF}(t2) tarvikkeista, joita ovat esimerkiksi tiilet, kivilaatat ja peltikatteet (ks. E1: Liite, opastavia tietoja, kohta 6). [2]

4 OSASTOIVIEN RAKENTEIDEN TOTEUTUS

4.1 Rakenteet ilman palomuurivaatimusta

4.1.1 Sandwich-paneelit

Sandwich-paneeleilla voidaan toteuttaa osastoivia rakenteita luokkaan EI240 saakka. Suunnittelussa täytyy ottaa huomioon suurimmat sallitut jännemitat, jotka valmistaja on antanut jokaiselle paneelityypille. Sandwich-paneelien saumojen ja liittymien tiivistykset sekä kiinnikkeiden suojaus toteutetaan valmistajan ohjeiden mukaan. Paroc-paneelit ja Ruukin SPA-paneelit kuuluvat luokkaan A2-s1, d0. [12]

Taulukossa 18 on esitetty Paroc-paneelien vaaditut paksuudet ja suurimmat sallitut jännemitat paloluokitelluille seinille ja sisäkatoille. [12]

TAULUKKO 18 Paloluokitellut seinät ja sisäkato Paroc- paneeleilla [12]

Elementti- tyyppi	Elementin paksuus, mm	Suurimmat sallitut jännevälit paloluokitelluille seinille, m							
		Vaaka-/Pystyasennus							
		EI 15	EI 30	EI 45	EI 60	EI 90	EI 120	EI 180	EI 240
AST® T	80	4/4	4/4						
	100	4/9*	4/9*	4/4					
	120	4/9*	4/9*	4/9*	4/4				
	150	9*/9*	9*/9*	9*/9*	4/4				
	175	9*/9*	9*/9*	9*/9*	9*/9*	4/4	4/4		
	200	9*/9*	9*/9*	9*/9*	9*/9*	4/4	4/4	4/4	
	240-300	9*/9*	9*/9*	9*/9*	9*/9*	4/9*	4/9*	4/9*	4/4
AST® S	50	4/9*							
	80	4/10*	4/10*						
	100	10*/10*	10*/10*	10*/8,7	10*/8,2				
	120	10*/10*	10*/10*	10*/8,7	10*/8,2	3/8,2			
	150	10*/10*	10*/10*	10*/10*	4/10*	4/4	4/4		
	175	10*/10*	10*/10*	10*/10*	10*/10*	4/4	4/4	4/4	
	200	10*/10*	10*/10*	10*/10*	10*/10*	4/10*	4/10*	4/10*	4/4
	240-300	10*/10*	10*/10*	10*/10*	10*/10*	4/10*	4/10*	4/10*	4/4
AST® F AST® E	50	4/9*	4/4	4/4					
	80	4/11	4/11	4/4					
	100	11*/11*	11*/11*	11*/9,5	10,8/9	10,8/8,8	10,8/3		
	120	11*/11*	11*/11*	11*/9,5	10,8/9	10,8/8,8	10,8/8,7		
	150	11*/11*	11*/11*	11*/11*	11*/11*	4/11*			
	175	11*/11*	11*/11*	11*/11*	11*/11*	11*/11*	4/11*	4/4	4/4
	200-300	11*/11*	11*/11*	11*/11*	11*/11*	11*/11*	11*/11*	11*/11*	11*/11*
AST® E		Suurimmat sallitut jännevälit paloluokitelluille sisäkatoille, m							
	100	7,3*	7,3*	7,3*	6				
	120	8,3*	8,3*	7,5	6				
	150	9,6*	9,6*	7,5	6				
	175	10,5*	10,5*	7,5	6				
	200-300	11*	10,8	7,5	6				

4.1.2 Betonirakenteet

Seinät

Betonisille osastoiville seinille annetut vähimmäispaksuudet on annettu taulukoissa 19 ja 20. Taulukoiden vähimmäispaksuuksia voidaan pienentää 10 % jos käytetään kalkkipitoisia kiviaineksia. Seinän vapaan korkeuden ja seinän paksuuden suhde saa olla korkeintaan 40 ($h/b \leq 40$). [13]

TAULUKKO 19 Ei-kantavien osastoivien betoniseinien vähimmäispaksuuksia [13]

Luokkavaatimus	Seinän vähimmäispaksuus (mm)
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

TAULUKKO 20 Kantavien osastoivien betoniseinien vähimmäispaksuuksia [13]

Luokka-vaatimus	Vähimmäismitat (mm)			
	seinän paksuus/keskiöetäisyys			
	$\mu_{fi}=0,35$		$\mu_{fi}=0,7$	
	Altistus toiselta puolelta	Altistus molemmilta puolilta	Altistus toiselta puolelta	Altistus molemmilta puolilta
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25*	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60
* tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä betoni peitteen paksuus on määräävä.				
ks. Standardin EN 1992-1-2 kohdasta 5.3.2 (3) hyväksikäyttöasteen μ_{fi} määrittelmä				

Paikallavalulaatat

Osastoivien betoniumpilaattojen minimivahvuudet ja -keskiöetäisyydet on esitetty taulukossa 21.

TAULUKKO 21 Vapaasti tuettujen teräsbetoni- tai jännebetoniumpilaattojen vähimmäismitat ja keskiöetäisyydet [13]

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	laatan paksuus h_s (mm)	keskiöetäisyys a		
		yhteen suuntaan kantava	ristiin kantava	
			$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

l_x ja l_y ovat ristiin kantavan laatan jännemitat (kaksi toisiaan vastaan kohtisuoraa suuntaa) missä l_y on pitempi jännemitta.

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyyden suurentaminen kohdan 5.2. (5) mukaisesti.

Sarakkeiden 4 ja 5 mukainen keskiöetäisyys a ristiin kantavissa laatoissa koskee kaikilta neljältä reunalta tuettuja laattoja. Muita laattoja käsitellään yhteen suuntaan kantavina laattoina.

* Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä raudoituksen betonipeite on määräävä.

Valmisosat

Ontelolaattojen palonkesto saadaan taulukosta 22.

TAULUKKO 22 Ontelolaattojen palonkesto [14]

Ontelolaatat	
Ilman erityistoimenpiteitä	REI60
Erikseen suunnitellut palolaatat	REI90 REI120
Alapuolinen palosuojaus	REI180 REI240

Kuorilaattojen palonkesto saadaan taulukosta 23.

TAULUKKO 23 Kuorilaattojen palonkesto [14]

Kuorilaatat	
Ilman erityistoimenpiteitä	REI60
Erikseen palomitoitetut tai palosuojatut	REI90 -> REI240

4.1.3 Muuratut rakenteet

Tiilestä muurattujen rakenteiden palonkestävyyksiä on esitetty taulukkomuodossa standardin SFS-EN 1996-1-2 liitteessä B sekä ko. standardin kansallisessa liitteessä. Suuntaa-antavina ohjeina voidaan pitää taulukossa 24 esitettyjä vähimmäismittoja.

TAULUKKO 24 Tiilestä muurattujen seinien vähimmäispaksuuksia [14]

Palonkestävyysluokka, palonkesto-aika (minuutteina)	Muuratun seinän minimipaksuus (mm)					
	30	60	90	120	180	240
EI	70	85	100	110	130	160
REI	100	100	100	110	180	235
R ¹	100	120	135	200	235	300

¹ Seinän pituus vähintään 1 m.

Leca- kevytsoraharkkoseinien palonkestävyyksiä on esitetty taulukossa 25.

TAULUKKO 25 Leca-kevytsoraharkkojen palonkestoajat [16]

Seinässä käytetty harkko	Osastoiva kantamaton seinä	Kantava seinä	
		Osastoiva seinä	Osaston sisäinen seinä ¹
H-75	EI 60	-	-
UH-100	EI 120	REI 60	R 30
UH-125	EI 180	REI 90	R 60
UH-150	EI 240	REI 120	R 90
RUH-200	EI 240	REI 240	R 120
RUH-250	EI 240/EI-M 60	REI 240/REI-M 60	R 180
RUH-300	EI 240/EI-M 60	REI 240/REI-M 60	R 240
RUH-340	EI 240/EI-M 120	REI 240/REI-M 120	R 240
RUH-380...420	EI 240/EI-M 180	REI 240/REI-M 180	R 240
LTH-300	EI 120	REI 60	-
LTH-380/LTH-420	EI 120	REI 60	-

¹ Seinän pituus vähintään 1 m

4.1.4 Kipsilevyrakenteet

Kipsilevytetyt rankaseinät voidaan toteuttaa osastoivina rakenteina luokkaan EI120 saakka. Saavutettava palonkesto riippuu käytettävistä levy- ja eristetyypeistä, levykerrosten määrästä sekä eristeen ja koko rakenteen paksuudesta. Käytettävien levyjen ja eristemateriaalien palonkesto on varmistettava aina valmistajalta!

Nyrkkisääntöinä osastoivien kipsilevytetyjen rankaväliseinien suunnittelussa voidaan käyttää seuraavia:

- 1 kipsilevykerros molemmin puolin → EI30
- 2 kipsilevykerrosta molemmin puolin → EI60
- 1 kipsilevykerros molemmin puolin + eriste → EI30/EI60 riippuen eristeestä
- 2 kipsilevykerrosta molemmin puolin + eriste → EI60/EI120 riippuen eristeestä ja kipsilevytyypistä

Osastoivia vaakarakenteita suunniteltaessa pätevät yllä mainitut periaatteet sillä erotuksella, että levytyksiä ei tarvita molemmin puolin.

4.2 Palomuurit

Palomuurirakenteet, eli rakenteet, joille on annettu iskunkestävyysvaatimus (M) toteutetaan pääsääntöisesti betonista tai muurattuna.

Ikkunoiden, ovien ja muiden aukkojen tekemistä palomuuereihin tulee välttää. Mikäli sellaisia kuitenkin joudutaan tekemään, tulee aukkojen palonkestoajan olla sama kuin muurin palonkesto aika. [2]

4.2.1 Palomuurien toteutus

Kevytsoraharkosta muurattujen palomuurien vähimmäismitat löytyvät taulukosta 25.

Kahi-tiilistä tai poltetuista tiilistä muurattujen palomuurien vähimmäispaksuudet on esitetty taulukossa 26.

TAULUKKO 26 Tiilirakenteisten palomuurien vähimmäispaksuudet [17]

Luokkavaatimus	Seinän vähimmäispaksuus (mm)
(R)EI-M 30	235
(R)EI-M 60	235
(R)EI-M 90	235
(R)EI-M 120	300
(R)EI-M 180	350

Betonirakenteisten kantavien palomuurien vähimmäismitat on esitetty taulukossa 27. Raudoittamattoman ei-kantavan seinän vähimmäispaksuus on 200 mm. [13]

TAULUKKO 27 Betonirakenteisten kantavien palomuurien vähimmäismitat [13]

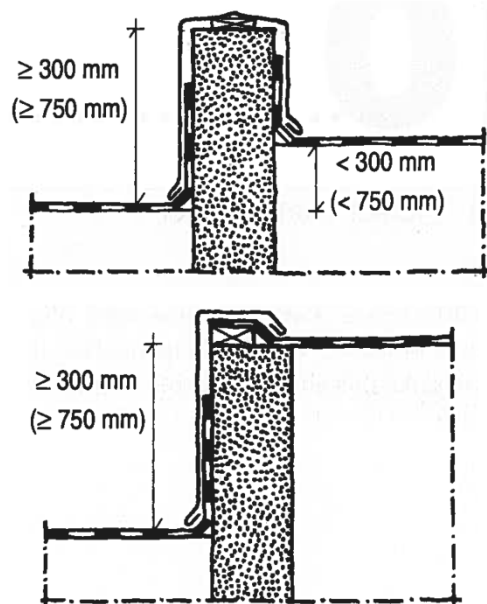
Luokka-vaatimus	Vähimmäismitat (mm)			
	seinän paksuus/keskiöetäisyys			
	$\mu_{fi}=0,35$		$\mu_{fi}=0,7$	
	Altistus toiselta puolelta	Altistus molemmilta puolilta	Altistus toiselta puolelta	Altistus molemmilta puolilta
REI-M 30	140/25	140/25	140/25	140/25
REI-M 60	140/25	140/25	140/25	140/25
REI-M 90	140/25	140/25	140/25	170/25
REI-M 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI-M 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI-M 240	230/55	250/55	270/60	350/60

ks. Standardin EN 1992-1-2 kohdasta 5.3.2 (3) hyväksikäyttöasteen μ_{fi} määritelmä

4.2.2 Palomuurirakenteiden ulotukset

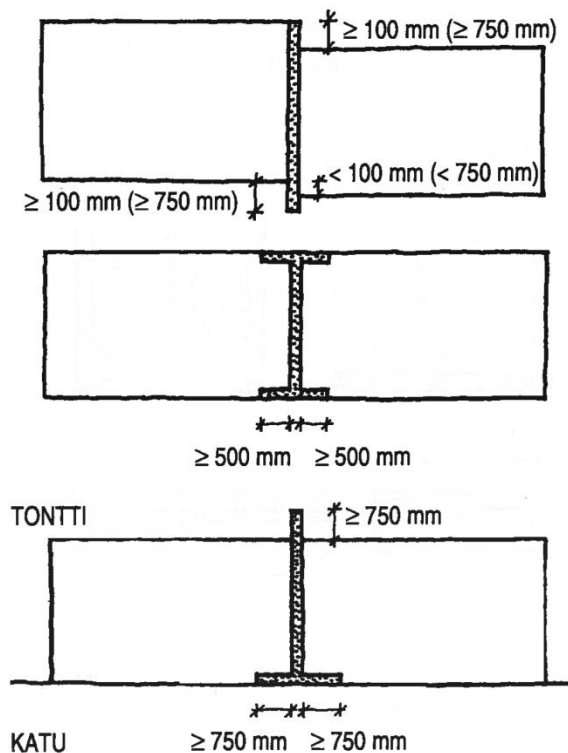
Vesikaton eristeet ja rakenteet tulee katkaista palomuurin kohdalta. Jos yläpohjan rakennustarvikkeet ovat vähintään luokkaa A2-s1, d0 ei katkoa tarvita. Kun katon korkeusero on alle 300 mm, tulee palomuurirakenne ulottaa vähintään 300 mm katteen

yläpuolelle. Tämä pystysuuntainen ulotus voidaan myös korvata riittävällä vaakakatkona. Kattoliiton suositus riittävän vaakakatkon ulotuksen pituudeksi on 5 m. Jos palokuormaa on yli 1200 MJ/m^2 , tulee ulotuksen olla vähintään 750 mm, eikä ulotusta voida korvata vaakakatkona. Periaatteet ulotuksista vesikatolla on esitetty kuvassa 8. [2], [4], [9]



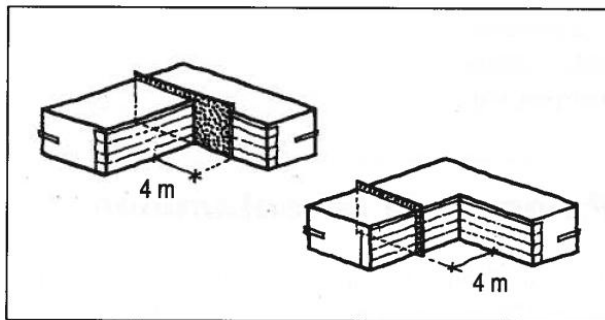
KUVA 8 Palomuurin ulotus vesikatolla Error! Reference source not found.

Sivusuunnassa palomuri tulee ulottaa vähintään 100 mm seinälinjan ohi. Mikäli osastoitavassa tilassa on palokuormaa yli 1200 MJ/m^2 , tulee ulotusta olla vähintään 750 mm. Ulotukset voidaan tehdä myös seinän suuntaisina, jolloin ulotuksen vähimmäismitta tulee olla 500 mm molemmin puolin palomuuria. Kun palokuorma on yli 1200 MJ/m^2 , tulee seinän suuntaisia ulotuksia käyttää vain tapauksissa, joissa seinälinjan ohi ulottaminen ei ole mahdollista. Tällöin seinän suuntaisen ulotuksen vähimmäismitta on 750 mm molemmille puolilla palomuuria. Periaatteet ulotuksista seinillä on esitetty kuvassa 9. [2], [4]



KUVA 9 Palomuurien ulotukset seinälinjan ohi tai suuntaisesti [4]

Myös rakennuksen sisänurkka aiheuttaa erityisvaatimuksia palomuurirakenteille (kuva 10). Sisänurkassa oleva palomuri täytyy ulottaa 4 m seinälinjan ohi nurkan sisäpuolella. Tämä koskee palomureja, jotka ovat alle 4 m etäisyydellä sisänurkasta. Jos nurkka on tylpempi kuin 135 °, palomuri voidaan tehdä kuten kuvassa 9. [4]



KUVA 10 Palomuri rakennuksen sisänurkassa [4]

4.3 Osastoivien rakenteiden aukot, läpiviennit ja ulotukset

Osastoivassa rakennusosassa olevien ikkunoiden, ovien ja muiden pienehköjen luukkujen palonkesto-aika on yleensä oltava vähintään puolet ympäröivälle rakennusosalle määrätystä ajasta. Kun ikkunan tai oven pinta-ala on suurempi kuin 7 m², suunnitellaan ikkuna tai ovi seinien vaatimusten mukaan. [5], [2]

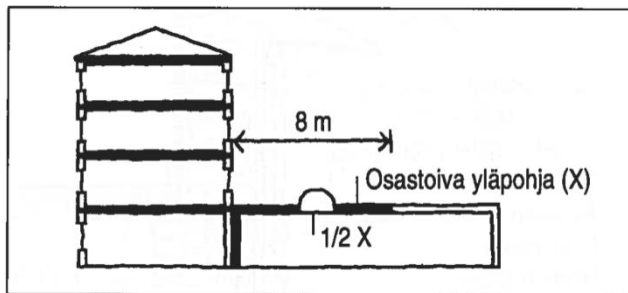
Silloin kun osastoivan seinän palonkesto on EI15, on ovien ja ikkunoiden oltava myös luokkaa EI15. Osastoivassa seinässä olevan oven täytyy olla palon sattuessa suljettu. Palo-ovien tulee olla palon sattuessa itsestään sulkeutuvia ja salpautuvia tai ne on varustettava sulkevin laittein. [5], [2]

Paloluokiteltujen ovien ja ikkunoiden asennuksissa on noudatettava valmistajien antamia ohjeita. Tavallisesti paloluokiteltujen ovien ja ikkunoiden karmien ja seinän välinen rako tulee tiivistää palamattomalla eristeellä (vähintään luokka A2) tai

palonsuojauretaanilla. Rako voidaan myös saumata palamattomalla saumamassalla tai peittää listoilla. Karmiruuviin reiät peitetään tulpilla.

Palokatkon edellytetään kestävän palossa yhtä kauan kuin sitä ympäröivä rakennusosa. Osastoivien rakennusosien läpi kulkevat putket, kaapelit, kuljetinlaitteistot yms. tulee tiivistää siten, että tulipalon syttyessä kuumuus, savukaasut tai liekit eivät pääse leviämään läpivientien kautta. Palokatkot voidaan toteuttaa erilaisilla palokatkomassoilla, pinnoitetuilla villalevyillä, vaahdoilla sekä tiiviste-elementeillä. Käytettyjen tuotteiden ja asennusmenetelmien tulee olla tyyppihyväksytyjä ja suunniteltavan kohteen palokatkoista tulee laatia palokatkosuunnitelma. Palokatkosuunnitelmassa on esitettävä rakennuksen pohjakuvan ja tarvittaessa leikkauskuvien avulla läpivientien paikat ja käytettävät palokatkoratkaisut. [18]

Kun erikorkuiset erilliset rakennukset tai eri palo-osastoina olevat rakennuksen osat liittyvät toisiinsa tarvitaan osien erottamiseen osastoivia rakenteita. Osastointi voidaan toteuttaa joko matalamman osan kattorakenteilla tai korkeamman osan seinärakenteilla. Tarvittavat ulotukset on esitetty kuvissa 11 ja 12. [4]



KUVA 11 Katon osastoinnin ulotus [4]

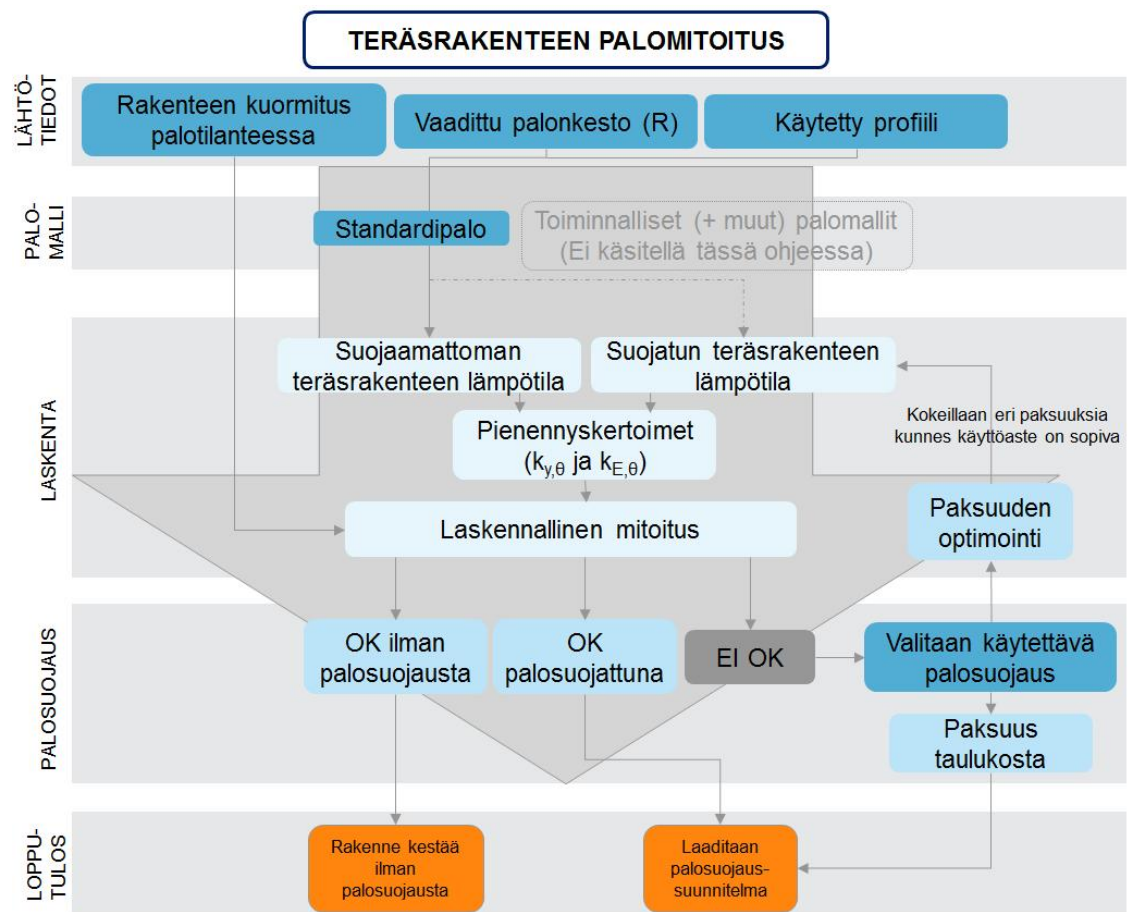


KUVA 12 Ulkoseinän osastoinnin ulotus [4]

5 TERÄSRAKENTEIDEN PALOMITOITUS

5.1 Mitoituksen kulku

Teräsrakenteen palomitoitus voidaan tehdä kuvan 13 kaavion mukaisesti. Ensin selvitetään rakenteen palotilanteen kuormitus. Vaaditun palonkestoajan, palotilan lämpötilan ja käytetyn profiilin poikkileikkaustietojen perusteella lasketaan rakenneosien lämpötilat. Lämpötilojen perusteella saadaan pienennyskertoimet myötölujuudelle ja kimmokertoimelle. Pienennyskertoimien perusteella lasketaan rakenneosan kestävyudet. Jos kestävyys ei ole riittävä, täytyy rakenne palosuojata.



KUVA 13 Teräsrakenteen palomitoitus

5.2 Kuormitus palotilanteessa

Palonaikaiset voimasuureet lasketaan palonaikaisilla kuormilla, jotka saadaan kaavan 2 yhdistelystä. Palotilanteen kuormat lasketaan ilman varmuuskertoimia. Määrävän muuttuvan kuorman ollessa lumi-, jää- tai tuulikuorma käytetään yhdistelykerrointa $\Psi_{1,1}$. Muissa tapauksissa käytetään kerrointa $\Psi_{2,1}$. [19], [20]

$$G_{k,j} + A_d + (\Psi_{1,1} \text{ tai } \Psi_{2,1})Q_{k,1} + \sum_{i>1} \Psi_{2,i}Q_{k,i} \quad \text{KAAVA 2}$$

Jossa

$G_{k,j}$ on pysyvän kuorman ominaisarvo

A_d on onnettomuuskuorman mitoitusarvo

$\Psi_{1,1}$ on määrävän muuttuvan kuorman yhdistelykerroin Ψ_1

$\Psi_{2,1}$ on määrävän muuttuvan kuorman yhdistelykerroin Ψ_2

$Q_{k,1}$ on määrävän muuttuvan kuorman ominaisarvo

$Q_{k,i}$ on muun muuttuvan kuorman ominaisarvo

Esimerkki palotilanteen kuormitusyhdistelystä on esitetty tämän dokumentin kappaleessa 7.

5.3 Lämpötilan kehittyminen

Rakenteiden palomitoituksessa on yleisesti käytetty standardiin ISO 834-1:1999 (testistandardi EN1363-1:2000) perustuvaa standardipalomallia. Palotilan lämpötila voidaan määrittää myös muita (toiminnalliset, parametrinen ym.) palomalleja käyttämällä. Tässä ohjeessa käytetään vain standardipaloon perustuvaa palomallia.

Palotilassa olevan kaasun lämpötila on oleellinen tekijä teräsrakenteen palon aikaista lämpötilaa selvitettäessä. Palotilan lämpötila standardipalossa kehittyy kaavan 3 ja kuvan 14 mukaisesti. [21]

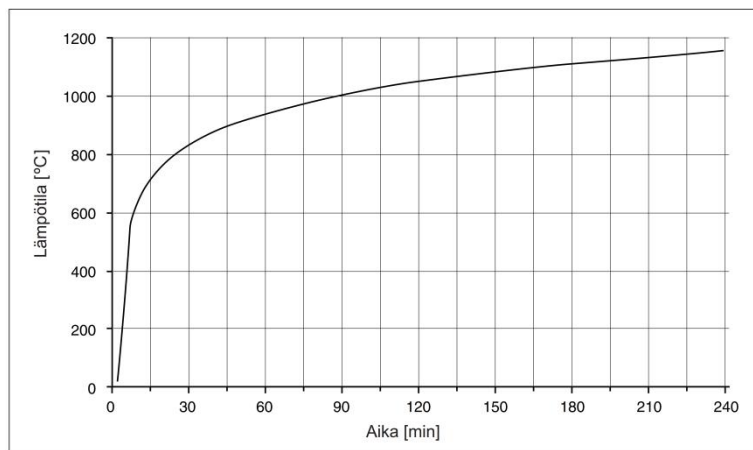
$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad \text{KAAVA 3}$$

Jossa

θ_g on kaasun lämpötila palotilassa [°C]

20 on alkulämpötila [°C] (normaali huoneenlämpötila)

t on aika [min]



KUVA 14 Palotilan lämpötilan kehittyminen standardipalossa

Teräsprofiilin lämpötilankehitys riippuu palonkestoajasta, palotilan kaasun lämpötilasta sekä profiilin poikkileikkaustekijästä A_m/V (usein käytetty myös merkintää F/A). Poikkileikkaustekijällä tarkoitetaan teräsoosan palolle alttiin pinnan suhdetta osan tilavuuteen. Kaikilta sivuilta palolle altistettujen profiilien poikkileikkaustekijöitä on esitetty myös valmistajien profiilitaulukoissa. [21]

Mitä suurempi poikkileikkaustekijän arvo on, sitä nopeammin teräsprofiili lämpenee.

Teräsprofiilin lämpötilan kehityksen laskemiseen on esitetty kaavat standardissa EN 1993-1-2 kappaleessa 4.2.5. Lämpötilan kehittyminen lasketaan eri tavalla suojaamattomille ja palosuojatuille profileille. [21]

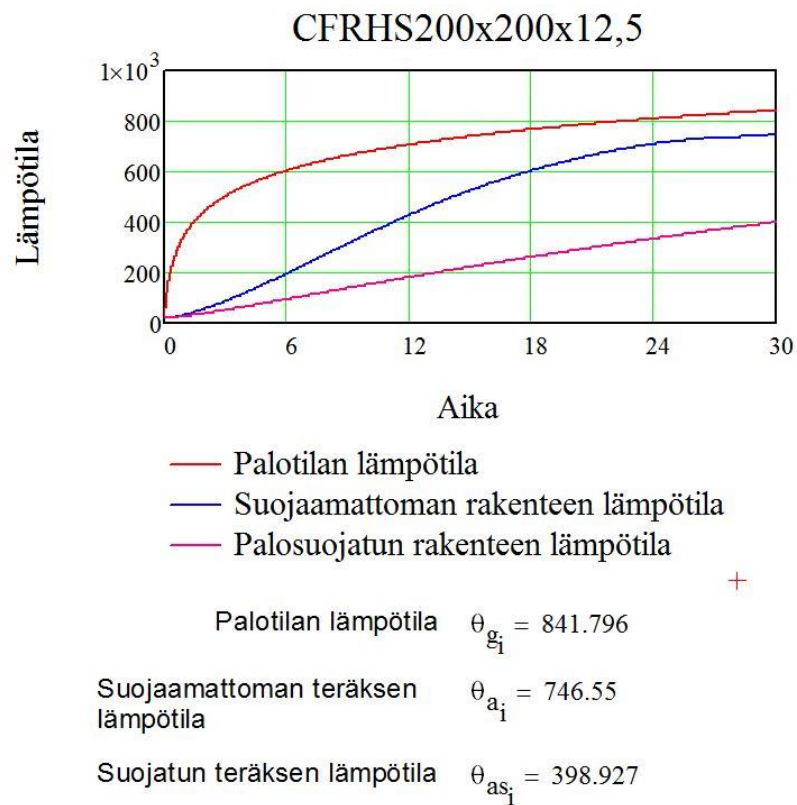
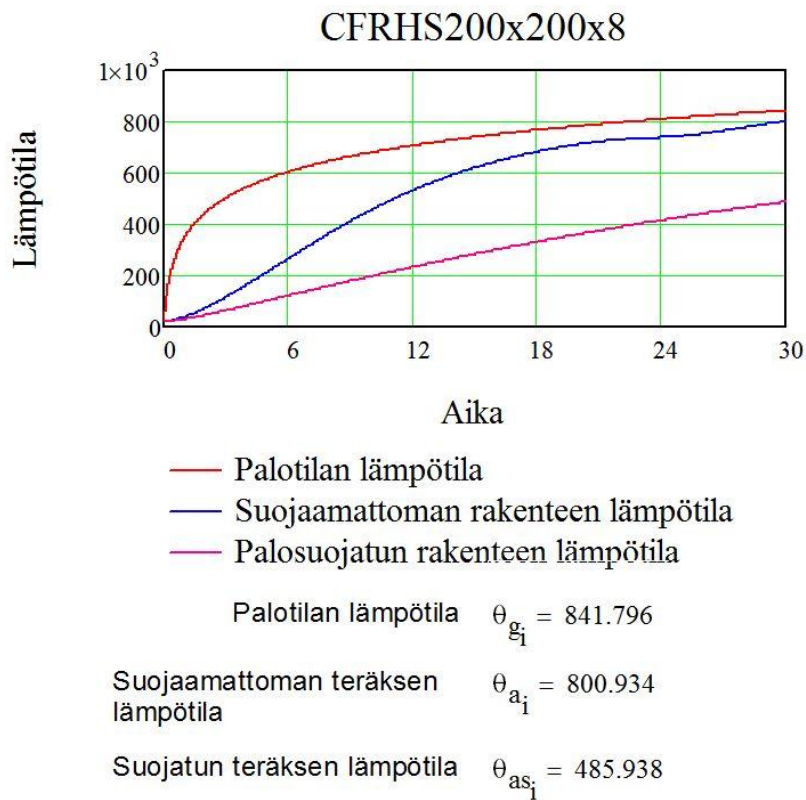
Esimerkki teräsrakenteen lämpötilan noususta

Kuvassa 15 on esitetty suojaamattomien ja palosuojattujen teräsputkiprofiilien 200x200x8 ja 200x200x12,5 lämpötilan kehitys 30 minuutin standardipalossa. Profiilit on altistettu palolle neljältä sivulta. Palosuojauksena esimerkin laskennassa on käytetty 10 mm Promatect -H -levyä.

Paksumpi suojaamaton profiili lämpiää hitaammin, kuten kuvista käy ilmi. Ero pienentyy kun palonkesto lisätään.

Suojaamattomana:

- 15 minuutin palossa lämpötilaero on noin 95 °C
- 30 minuutin palossa ero on noin 50 °C.
- 60 minuutin palossa ero on noin 3 °C

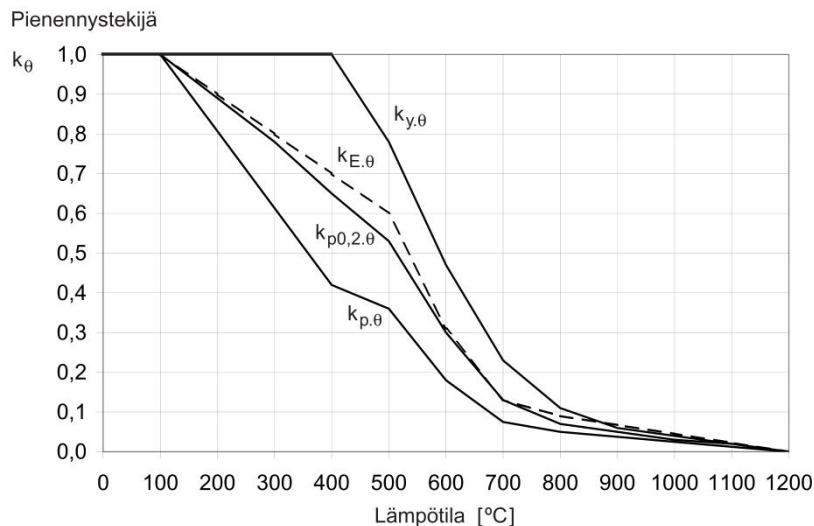


KUVA 15 Putkiprofiilien lämpötila 30 min palossa

5.4 Teräsrakenteen kestävyys palotilanteessa

Teräsrakenteen kestävyys palotilanteessa lasketaan standardin SFS-EN 1993-1-2 kohdan 4.3.2 kaavojen ja menetelmien mukaisesti. Laskennassa käytetään kuvan 16 ja taulukon 28 perusteella saatuja pienennyskertoimia.

Teräksen lujuus alkaa heiketä, kun lämpötila on yli 400 °C. Kimmokerroin alkaa pienentyä, kun lämpötila on yli 100 °C. Teräsrakenteen palotilanteen lämpötilan perusteella saadaan pienennystekijät myötölujuudelle ja kimmokertoimelle kuvasta 15 tai taulukossa 28. [13]



KUVA 16 Teräksen lujuuden ja kimmokertoimen pienennystekijät lämpötilan funktiona [22]

TAULUKKO 28 Teräksen lujuuden ja kimmokertoimen pienennystekijät [22]

Teräksen lämpötila	Pienennystekijät lämpötilassa θ_a suhteessa 20 °C lämpötilaa vastaaviin arvoihin			
	Tehollisen myötölujuuden pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y)	Suhteellisuusrajan pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y)		Kimmokertoimen pienennystekijä (suhteessa arvoon E_a)
		PL-luokat 1-3	PL-luokka 4	
θ_a	$k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	$k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$	$k_{p0,2,\theta} = f_{p0,2,\theta} / f_y$	$k_{E,\theta} = E_{y,\theta} / E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,00	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,00	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,89	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,78	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,65	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,53	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,30	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,13	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,07	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,05	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,03	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,02	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,00	0,0000

Välisarvat lämpötilan suhteen saadaan lineaarista interpolointia käyttäen.

Kriittinen lämpötila

Teräsrakenteen kriittinen lämpötila on lämpötila, jossa rakenteen käyttöaste (palotilanteen kuormituksilla ja kestävyyksillä laskettuna) on yksi. Kun teräsrakenteen lämpötilaa pysyy alle sen kriittisen lämpötilan, on rakenteen kestävyys riittävä. Kriittinen lämpötila saadaan selville iteroimalla teräsrakenteen lämpötilojen

perusteella saatuja lujuuden ja kimmokertoimen pienennyskertoimia lujuuden ja stabiliteetin tarkistaviin kaavoihin.

Kriittinen lämpötila on aina tapauskohtainen arvo! Mitä pienempi kriittinen lämpötila on, sitä huonommin profiili kestää palotilanteessa.

Yksinkertaistettu mitoitus

Teräsrakenteen palomitoitus voidaan suorittaa myös yksinkertaistettuna, jos lämpötilajakauma poikkileikkauksessa on tasainen ja sauvan stabiiliutta ei tarvitse ottaa huomioon. Yksinkertaistetussa tarkastelussa rakenteen lämpötilan palotilanteessa on oltava pienempi kuin yksinkertaistetusti saatu kriittinen lämpötila. [21]

Yksinkertaistettu kriittinen lämpötila saadaan kaavojen 4 ja 5 perusteella.

$$\theta_{a,cr} = 39,19 * \ln \left[\frac{1}{0,9674 * \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 \quad \text{KAAVA 4}$$

Jossa

θ_a on teräksen lämpötila ajan hetkellä t

μ_0 on hyväksikäyttöaste ajan hetkellä $t = 0$, μ_0 :n arvon tulee olla vähintään 0,013

Hyväksikäyttöaste μ_0 lasketaan kaavalla 5. [21]

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}} \quad \text{KAAVA 5}$$

Jossa

$E_{fi,d}$ on voiman tai momentin mitoitusarvo palomitoitustilanteessa

$R_{fi,d,0}$ on teräsrakenneosan vastaava kestävyuden mitoitusarvo palotilanteessa ajanhetkellä $t = 0$

5.5 Suojauspaksuuden määrittäminen

Taulukkomitoitus

Palosuojaeristeen paksuus voidaan valita palosuojamateriaalien valmistajien taulukoista käytetyn profiilityyppin, profiilin poikkileikkaustekijän, kriittisen lämpötilan ja vaaditun palonkestoajan perusteella.

Osalla valmistajista on myös olemassa mitoituslaskureita. Esim. Promatect-levyille <http://promat-calculator.com/>.

Oikeaa taulukkoa valittaessa tulee huomioida valmistajien antamat ehdot taulukoiden käytölle. Esimerkkejä mitoitusaulukoista on esitetty taulukoissa 29, 30 ja 31.

Osa valmistajista antaa mitoitusaulukot, joissa esitetään tietylle palonkestoajalle paksuudet kriittisen lämpötilan ja poikkileikkaustekijän perusteella (taulukko 29).

TAULUKKO 29 Novatherm 4FRe -palosuojamaalin mitoitus taulukko suorakaideputkipilarille kun paloluokkavaatimus on R60

Annex 1, Table 14: columns, rectangular hollow sections

NOVATHERM 4FRe		Fire Resistance 60 minutes								
		Design Temperature θ_b in °C								
A/V	V/A	350	400	450	500	550	600	650	700	750
m ⁻¹	m	Minimum thickness required – DFT in mm (without primer and topcoat)								
49	0,0204	1,180	0,964	0,808	0,674	0,540	0,432	0,371	0,371	0,371
50	0,0200	1,210	0,989	0,830	0,693	0,556	0,446	0,371	0,371	0,371
55	0,0182	1,356	1,115	0,940	0,790	0,640	0,518	0,408	0,371	0,371
60	0,0167	1,504	1,242	1,052	0,888	0,724	0,590	0,470	0,371	0,371
65	0,0154	1,651	1,370	1,165	0,988	0,809	0,664	0,532	0,420	0,371
70	0,0143		1,498	1,279	1,088	0,895	0,738	0,596	0,474	0,371
75	0,0133		1,628	1,394	1,190	0,983	0,814	0,661	0,530	0,412
80	0,0125		1,758	1,510	1,292	1,071	0,891	0,727	0,586	0,460
85	0,0118			1,627	1,396	1,161	0,969	0,794	0,643	0,508
90	0,0111			1,745	1,502	1,252	1,048	0,862	0,701	0,557
95	0,0105				1,608	1,344	1,128	0,931	0,761	0,607
100	0,0100				1,715	1,437	1,209	1,001	0,821	0,659
105	0,0095					1,532	1,292	1,072	0,882	0,711
110	0,0091					1,628	1,376	1,144	0,944	0,763
115	0,0087					1,725	1,461	1,218	1,008	0,817
120	0,0083						1,547	1,293	1,072	0,872
125	0,0080						1,635	1,369	1,138	0,928
130	0,0077						1,724	1,446	1,204	0,985
135	0,0074							1,525	1,272	1,043
140	0,0071							1,605	1,342	1,102
145	0,0069							1,686	1,412	1,163
150	0,0067								1,484	1,224
155	0,0065								1,557	1,287
160	0,0063								1,631	1,351
165	0,0061								1,707	1,416
170	0,0059									1,482
175	0,0057									1,550
180	0,0056									1,620
185	0,0054									1,690
190	0,0053									1,763
195	0,0051									
200	0,0050									
205	0,0049									
210	0,0048									
215	0,0047									
220	0,0045									
225	0,0044									
230	0,0043									
235	0,0043									
240	0,0042									
245	0,0041									
250	0,0040									
255	0,0039									
260	0,0038									
265	0,0038									
270	0,0037									
273	0,0037									

Toiset valmistajat taas antavat taulukoita tietyllä kriittiselle lämpötilalle poikkileikkaustekijään ja vaadittuun palonkesto-aikaan perustuen (esim. taulukko 30).

TAULUKKO 30 Paroc FPS 17- eristelevytyksen mitoitus taulukko, kun teräksen kriittinen lämpötila on vähintään 450 °C

Eristepaksuus, PAROC FPS 17

Teräksen kriittinen lämpötila 450°C

A/V	R 30	R 60	R 90	R 120	R 150	R 180	R 210
50	20	20	20	25	40	40	50
60	20	20	20	30	40	50	60
70	20	20	20	40	50	60	
80	20	20	25	40	50		
90	20	20	25	40	60		
100	20	20	30	50			
110	20	20	40	50			
120	20	20	40	60			
130	20	20	40	60			
140	20	20	40	60			
150	20	20	50				
160	20	25	50				
170	20	25	50				
180	20	25	50				
190	20	25	50				
200	20	25	50				
210	20	30	60				
220	20	30	60				
230	20	30	60				
240	20	30	60				
250	20	30	60				

Osassa taulukoista esitetään suojauspaksuus suoraan tietyn tyyppisille profiileille tietyllä kriittisen lämpötilan arvolla (taulukko 31).

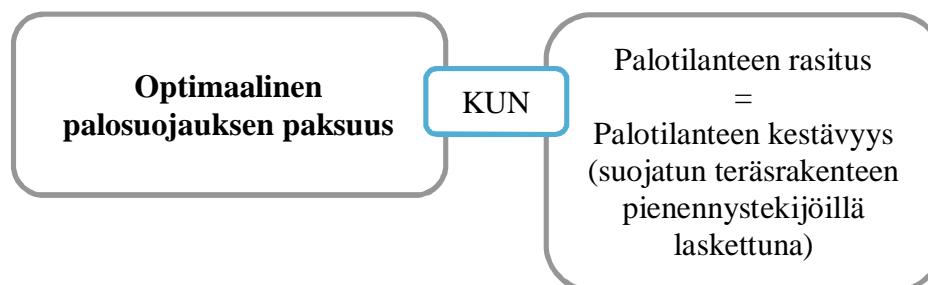
TAULUKKO 31 Promatect -H -levyjen mitoitus taulukko, kun kriittinen lämpötila on vähintään 500 °C ja suojattava profiili on HEA-profiili

HEA No	4-sivulta			3-sivulta			2-sivulta		
	60	90	120	60	90	120	60	90	120
100	25	40	50	22	35	50	18	30	35
120	25	40	50	22	35	50	18	30	35
140	25	35	50	20	35	40	15	25	35
160	25	35	50	20	30	40	15	25	35
180	25	35	50	20	30	40	15	25	35
200	22	35	50	18	30	40	15	22	30
220	22	35	50	18	30	35	15	22	30
240	20	30	40	18	30	35	12	20	30
260	20	30	40	15	25	35	12	18	25
280	20	30	40	15	25	35	12	18	25
300	18	30	40	15	25	35	12	18	25
320	18	30	35	15	22	30	10	18	22
340	18	30	35	15	22	30	10	18	22
360	18	30	35	15	22	30	10	18	22
400	15	25	35	15	22	30	10	15	22
450	15	25	35	15	22	30	10	15	22
500	15	25	35	15	22	30	10	15	22
550	15	25	35	15	22	30	10	15	22
600	15	25	35	15	22	30	10	15	22
650	15	25	35	15	22	30	10	15	22
700	15	25	35	15	22	30	10	15	22
800	15	25	35	15	22	30	10	15	22
900	15	22	30	15	22	30	10	15	22
1000	15	22	30	15	22	30	10	15	22

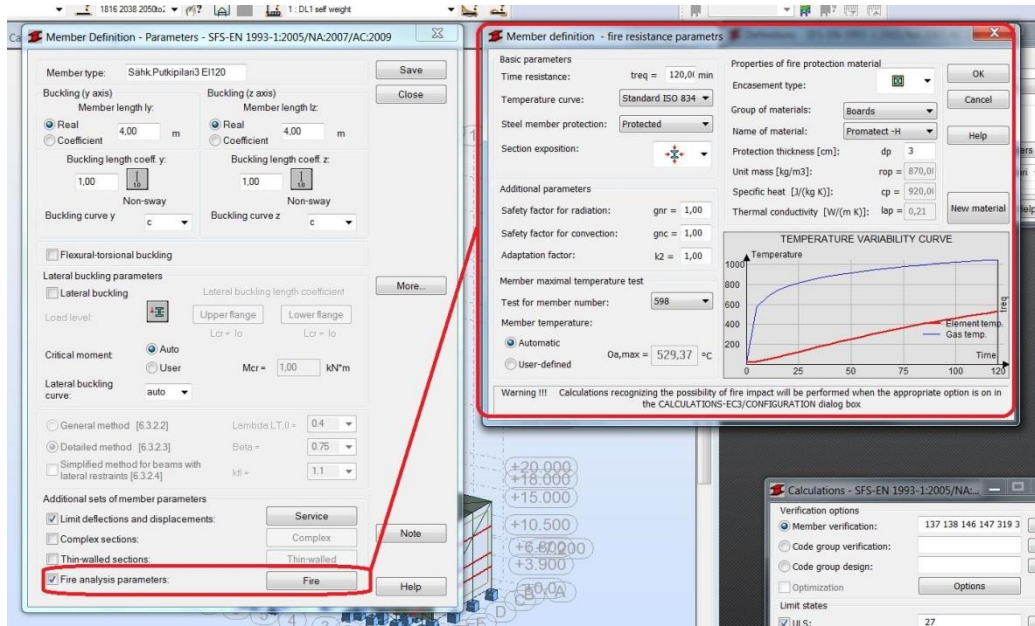
Suojauspaksuuden optimointi

Palosuojausten paksuus voidaan myös optimoida laskemalla, kun tiedetään käytettävän palosuojamateriaalin tiheys (kg/m^3), lämmönjohtavuus (W/mK) ja ominaislämpökapasiteetti (J/kgK). Optimointi vaatii samanlaista iterointia kuin kriittisen lämpötilan määrittäminen. Optimoinnissa lasketaan palosuojatun teräsrakenteen lämpötila, jonka perusteella taulukosta saadaan pienennystekijät kimmokertoimelle ja myötölujuudelle. Pienennyskerrointen perusteella selvitetään rakenteen käyttöaste kuten suojaamattoman rakenteenkin mitoituksessa. Suojauspaksuutta muutetaan kunnes saadaan rakenteelle halutun suuruinen käyttöaste. [23]

Palosuojausten paksuus on aina tapauskohtainen arvo!



Suojauspaksuus voidaan määrittää käsinlaskennalla esim. liitteenä olevien esimerkkilaskelmien avulla. Suojauspaksuus selvittää myös Robot Structural Analysis -ohjelmalla, kun määritellään käytettävän palosuojamateriaalin ominaisuudet Member definition dialogista löytyvällä Fire resistance parameters dialogilla (kuva 17).



KUVA 17 Robotin Fire resistance parameters -dialogi

6 TERÄSRAKENTEIDEN PALOSUOJAUS

Teräsrakenne voidaan palosuojata eristämällä, lämmönsitomiskykyä nostamalla sekä rakenteellisin keinoin. Lämmönsitomiskykyä voidaan nostaa betonoimalla putkipilarit tai putkiprofiilien vesitäytöllä. Rakenteellinen suojaus voidaan toteuttaa sijoittamalla rakenteet palotilan ulkopuolelle.

Palosuojieristys voidaan toteuttaa levyillä, ruiskutteilla ja palosuojamaaleilla. Käytettävien palosuojatuotteiden tulee olla testattuja ja käyttötarkoitukseensa hyväksytyjä. Palosuojatuotteille hyväksynnäksi kelpaa esimerkiksi rakennustuotteen vapaaehtoisesta eurooppalaisesta teknisestä arvioinnista, eli ETA-arvioinnista, perusteella myönnetty CE-merkintä. Listat ETA-hyväksytyistä tuotteista on esitetty taulukossa 33.

ETA-hyväksyntädokumenteissa tai valmistajien muissa dokumenteissa annetaan tuotteen tekniset ominaisuudet, rajoitukset käyttöolosuhteille, soveltuvat kiinnitys- ja asennustavat sekä taulukot tms. tiedot riittävän suojauspuoleisuuden määrittämiseen. ETA-dokumenteissa on käytetty ilmastorasitusluokkien sijasta käyttöluokitusta. Käyttöluokat ovat taulukon 32 mukaiset. [24]

TAULUKKO 32 ETA-hyväksytyjen tuotteiden käyttöluokat [24]

KÄYTTÖLUOKAT	
Z ₂	Kuivat sisätilat, RH alle 85 %
Z ₁	Kosteat sisätilat, RH yli 85 %
Y	Sisätilat ja katetut ulkotilat
X	Sisätilat, katetut ulkotilat ja avoimet ulkotilat

Yleisesti voidaan sanoa, että ruiskutteilla ja maaleilla palosuojatut teräsrakenteet kestävät heikosti mekaanisesta rasituksesta sekä kosteusrasituksesta. Tällaiset rakenteet voivat tarvita palosuojauksen suojaksi esimerkiksi ylimääräisen pinnoituksen tai levytyksen. Levysuojaus on yleisesti ottaen mekaanisesti kestävämpi ratkaisu, mutta palosuojalevyjen ominaisuudet vaihtelevat suuresti levytyypistä riippuen.

Taulukossa 33 on esitetty joitakin ETA-hyväksytyjä palosuojamateriaaleja ja niiden ominaisuuksia. Tiedot on koottu tuotteiden ETA-hyväksyntädokumenteista sekä esitteistä.

TAULUKKO 33 ETA-hyväksytyjä palosuojamateriaaleja

PALOSUOJAMATERIAALEJA	Tyyppi	Maksimi palonkestoaika (min)	Käyttöluokka	Materiaali- luokitus	Tiheys (kg/m ³)	Lämmön- johtavuus (W/(mK))	Ominaislämpö- kapasiteetti (J/(kgK))
Nullifire System S707 120	Vesipohjainen maali	120	Z ₂	B-s2, d0	-	-	-
Novatherm 4Fre	Vesipohjainen maali	90	Z ₂	E	-	-	-
HEMPACORE ONE 43600 ja HEMPACORE ONE 43601	Luotinpohjainen maali	120	Y	B-s2, d0	-	-	-
Promaspray P300/Cafco 300	Vermikuliittiruiskute	240	Z ₂	A1	310	0,078	-
Promaspray C450/ Cafco Mandolite CP2	Vermikuliittiruiskute	240	Z ₁ , Z ₂ , Y	A1	323-352	0,095	-
Monokote MK-6	Kipsiruiskute	240	Y	A1	240	0,067	-
Vermiplaster	Kipsiruiskute	120	Z ₂ , Y	A1	530	-	-
Paroc FPS 17	Mineraalikulitulevy	210	Z ₂ , Y	A1	170	0,041	840
Promatect H	Kalsiumsilikaattilevy	120	Z ₁ , Z ₂ , Y	A1	870	0,21	920
Promatect L	Kalsiumsilikaattilevy	120	Z ₁ , Z ₂	A1	450	0,11	950
Promatect 200	Kalsiumsilikaattilevy	90	Z ₂	A1	750	0,189	-

6.1 Levysuojatut rakenteet

Levyillä suojatut profiilit eivät yleensä vaadi esikäsitteilyä tai karkeaa puhdistusta tarkempaa pesua. Levyillä suojatut rakenteet kestävät kohtuullista mekaanista rasitusta.

Levytyksen kiinnityksessä on noudatettava valmistajien ohjeita. Levyt voidaan kiinnittää nauloilla, ruuveilla, hitsipiikeillä tai liimaamalla suoraan teräsprofiilin pintaan. Kiinnitys voidaan toteuttaa myös peltikulmalistojen tai -rankojen avulla. Korkeita I-profiileja suojattaessa levyjen saumakohtiin voidaan tarvita tukipaloja. Käytettäessä useampia levykerroksia päällekkäin tulee levyjen saumat limittää. [23]

6.2 Ruiskutteilla suojatut rakenteet

Ruiskutteella suojattavien pintojen tulee olla puhdistettuja. Osa materiaaleista vaatii lisäksi primer-esikäsitteilyn. Pinnan esikäsitteilyvaatimukset tarkistettava aina tuotevalmistajalta.

Ruiskutteiden maksimikerrospaksuudet tarkistettava aina tuotevalmistajalta. Ruiskutus suoritetaan vasta työmaalla. Ruiskutteen sisälle tarvitaan tueksi sinkitty teräsverkko jos eristeen paksuus on yli 45 mm. Rakenteita voidaan suojata profiilin pintaa myötäilemällä tai ruiskuttamalla profiili umpeen. Teräsverkon avulla profiili voidaan myös koteloida. Mineraalikulituruiskutteet voidaan ruiskuttaa suoraan vaadittuun paksuuteen. Muut ruiskutteet täytyy ruiskuttaa ohuempina kerroksina ja kerrosten täytyy antaa kuivua välillä. [23]

Erityisesti ominaispainoltaan kevyiden ruiskutteiden mekaanisen rasituksen kesto on huono. Lisäksi kevyet ruiskutteet ovat herkkiä kosteudelle. Ruiskutteiden mekaanista kestävyyttä voidaan parantaa pinnoittamalla ruiskute. Ruiskutepinta voidaan myös suojata liimaamalla pintaa lasikuitukangas, rappaamalla pinta kovemmalla rappauksella tai koteloimalla sopivilla levyillä. [23]

6.3 Palosuojamaalatut rakenteet

Palosuojamaaleilla saavutetaan tavallisesti R30 ja R60 palokestovaatimukset. Sopivilla maalausjärjestelmien valinnoilla voidaan kuitenkin päästä jopa luokkaan R120.

Palosuojamaalit kestävät huonosti mekaanista rasitusta sekä kosteusrasitusta ja ne on tavallisesti tarkoitettu käytettäväksi kuivissa sisätiloissa (ilmastorasitusluokassa C1/ käyttöluokassa Z₂). [25]

Palosuojamaalattavat profiilit on puhdistettava maalivalmistajan ohjeiden mukaan ennen maalaus- ja esikäsitteilyä. Palosuojamaalaus toteutetaan yleensä kolmessa vaiheessa:

- pohjamaalaus
- varsinainen palosuojamaalaus
- pintamaalaus. [25]

Sopivilla pohja- ja pintamaalivalinnoilla voidaan palosuojamaalausta käyttää myös luokkaa C1 kosteammissa olosuhteissa. Maalausjärjestelmän soveltuminen suunniteltavaan kohteeseen on varmistettava maalivalmistajalta.

Teräsprofiilien palosuojamaalaus voidaan tehdä joko työmaalla tai maalaamossa. Maalauksen toteutus on helpompaa maalaamossa, mutta hankaluutta aiheuttaa palosuojamaalien huono mekaanisen rasituksen kesto sekä sää- ja kosteusrasituksen

kesto. Maalaamossa maalatut profiilit tulee varustaa nostokorvakkeilla sekä suojata hyvin. Kolhitut ja vaurioituneet maalipinnat tulee paikkamaalata mahdollisimman pian. [25]

Myös käytettävä liitos vaikuttaa profiilien maalauspaikan valintaan:

- pulttiliitokset → voidaan maalata maalaamossa
- hitsattavat rakenteet → maalataan työmaalla (hitsaus vaurioittaa maalausta). [25]

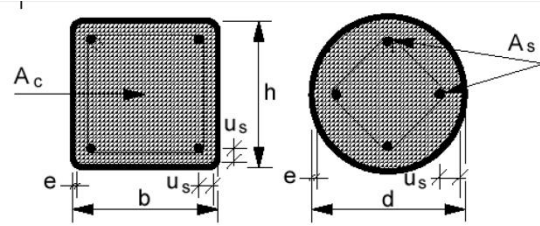
6.4 Betonoinnilla suojatut pilarit

Taulukossa 34 on esitetty pienimmät poikkileikkausmitat, raudoitussuhteet ja keskiöetäisyydet betonitäytteisille teräsputkiliittopilareille eri luokkavaatimusten mukaan. Taulukon arvot riippuvat pilarin kuormitustasosta $\eta_{fi,t}$. Taulukon käytölle on annettu seuraavat ehdot:

- putken myötölujuus f_y on teräslajista riippumatta 235 MPa
- putken seinämän paksuudesta e huomioidaan korkeintaan 1/25 pienimmästä poikkileikkauksen ulkomitasta b tai d
- betonin lujuutena käytetään normaalilämpötilan arvoa
- huomioon otettava raudoitussuhde on $A_s/(A_c+A_s) \leq 3\%$. [26]

Liitopilarin taulukkomitoitus antaa varmalla puolella olevia ratkaisuja. Lisäksi ongelmaksi voi muodostua taulukon antaman raudoitusmäärän mahtuminen putken poikkileikkaukseen. Liittorakenteiden tarkempi mitoitus on esitetty standardissa EN 1994-1-2. [27]

TAULUKKO 34 Teräsputkiliittopilarin palomitoitustaulukko [26]

		Standardipalonestävyys				
		R30	R60	R90	R120	R180
	teräsprofiili: $(b/e) \geq 25$ tai $(d/e) \geq 25$					
1	Kuormitustasoa $\eta_{fi,t} \leq 0,28$ vastaavat pienimmät poikkileikkaus mitat					
1.1	Pienimmät sivumitat h ja b tai pienin halkaisija d [mm]	160	200	220	260	400
1.2	Pienin raudoitussuhde $A_s / (A_c + A_s)$ prosentteina	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Betoniterästankojen pienin keskiöetäisyys u_s [mm]	–	30	40	50	60
2	Kuormitustasoa $\eta_{fi,t} \leq 0,47$ vastaavat pienimmät poikkileikkaus mitat					
2.1	Pienimmät sivumitat h ja b tai pienin halkaisija d [mm]	260	260	400	450	500
2.2	Pienin raudoitussuhde $A_s / (A_c + A_s)$ prosentteina	0	3,0	6,0	6,0	6,0
2.3	Betoniterästankojen pienin keskiöetäisyys u_s [mm]	–	30	40	50	60
3	Kuormitustasoa $\eta_{fi,t} \leq 0,66$ vastaavat pienimmät poikkileikkaus mitat					
3.1	Pienimmät sivumitat h ja b tai pienin halkaisija d [mm]	260	450	550	–	–
3.2	Pienin raudoitussuhde $A_s / (A_c + A_s)$ prosentteina	3,0	6,0	6,0	–	–
3.3	Betoniterästankojen pienin keskiöetäisyys u_s [mm]	25	30	40	–	–

6.5 Esimerkkipiirustukset

Palosuojatuista teräsprofiileista on tehty mallipiirustuspaketti, jossa on joitakin tyypillisiä palosuojattuja teräsprofiileja. Palosuojausdetaljit on esitetty liitteessä 4.



Palosuojauskuvissa ja -ohjeissa täytyy esittää rakenteen paloluokka, käytettävä suojamateriaali/tuote ja sen vähimmäispaksuus. Palosuojauksen kiinnitys toteutetaan aina valmistajan ohjeiden mukaan.

7 ESIMERKKIKOHTTEEN PALOSUUNNITTELU

Esimerkkikohteen rakenteiden vaatimusten määrittäminen ja kantavien teräsrakenteiden palomitoitus

LÄHTÖTIEDOT

Käyttötapa: sähkö-, muuntamo-, automaatio-, LVI-tilat sekä pieni taukotila

Palovaarallisuusluokka 1: Tiloissa ei esiinny suurta palovaaraa, ei käsillä tai varastoida räjähdysaineita, herkästi syttyviä nesteitä, helposti syttyviä höyryjä tai pölyjä.

Kerrosluku: 3

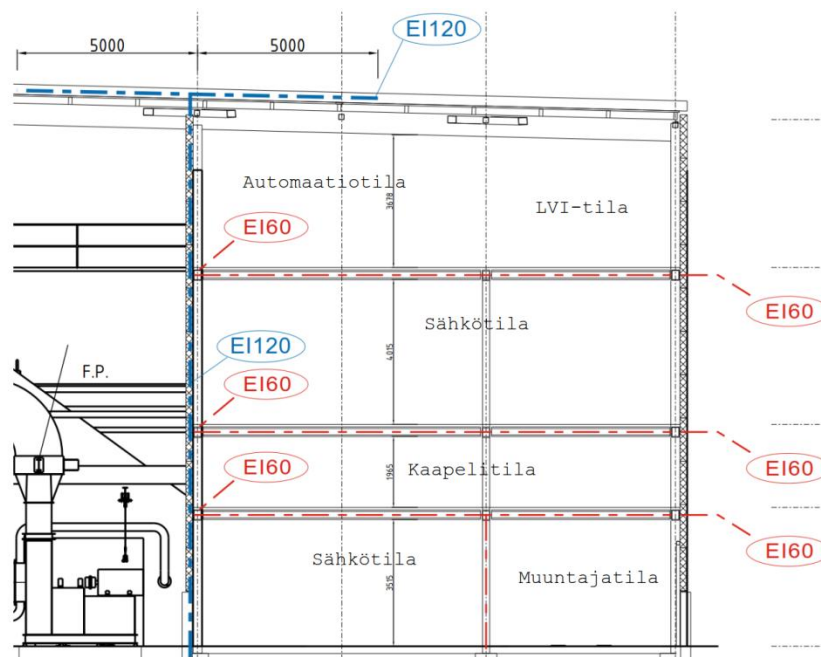
Korkeus: n. 15 m

Pinta-ala: noin $3 \times 260 \text{ m}^2 = 780 \text{ m}^2$

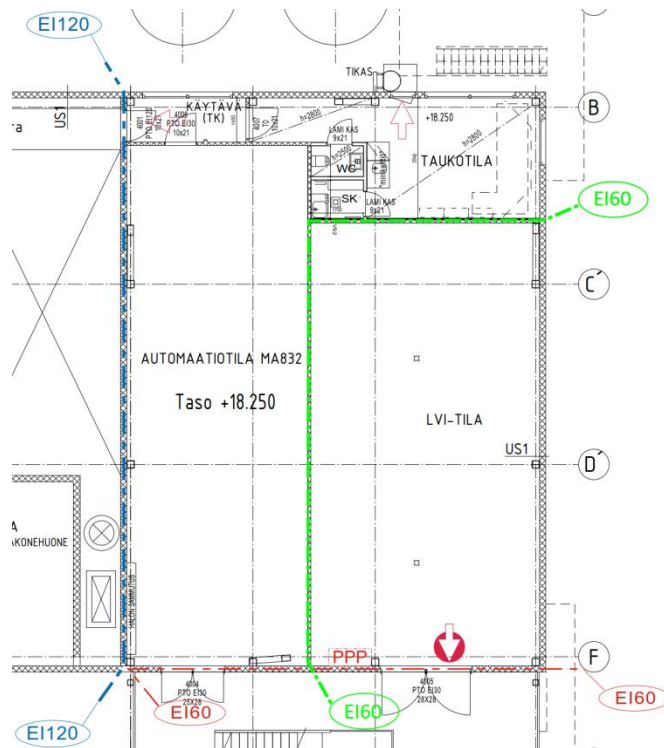
Palokuorma: Alle 600 MJ/m^2

Suojaustaso: Automaattinen sammutusjärjestelmä (kaasusammutus) → Suojaustaso 3

Henkilömäärä: Alle 50 henkilöä



KUVA 18 Esimerkkikohteen leikkauspiirustus



KUVA 19 Esimerkkikohteen ylin kerros

RAKENNUKSEN PALOLUOKKA

Paloluokaksi määräytyy kerrosluvun perusteella P1 (kuva 2).

VAATIMUKSET RAKENTEILLE

Kantavat rakenteet

Kantavien rakenteiden luokkavaatimukseksi tulee R60 (taulukon 5 perusteella).

Osastoivat rakenteet

Taulukon 8 mukaista pinta-alaosastointia ei tarvita, koska kerroksien pinta-alat pienempiä kuin $3 \times 12\,000 \text{ m}^2$ (kohdan 3.3.1 mukaan).

Kerrokset osastoidaan taulukon luokkaan EI60 (taulukon 10 mukaisesti).

Käyttötavan mukaan osastoidaan muuntajatilat. Osastointien luokkavaatimukseksi määräytyy EI60 (taulukon 10 perusteella). Muuntajatilojen osastoinnin täytyy täyttää myös taulukon 11 vaatimukset. Tässä tapauksessa, kun käytettävät muuntajat ovat kuivamuuntajia, vaatimus on sama kuin taulukon 10 perusteella.

Myös LVI-tila on osastoitava (kohta 3.3.4), sillä IV-laitteisto palvelee useita eri palo-osastoja. Osastointivaatimus on EI60, A1-s1, d0 -luokan tarvikkeista (taulukko 12).

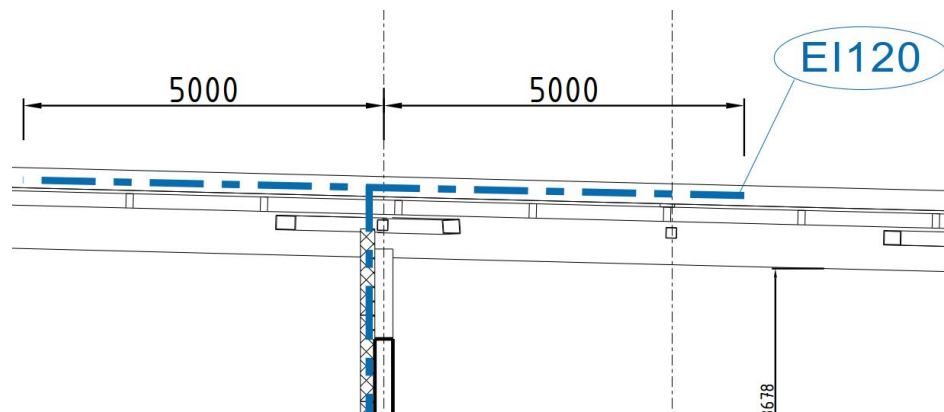
Lisäksi poistumisen turvaamiseksi uloskäytävät osastoidaan luokkaan EI60 (kohdan 3.3.4 ja taulukon 10 perusteella).

Palon leviämisen rajoittaminen rakennuksesta toiseen

Koska sähkö- ja LVI-tila on yhteydessä jauhatus- ja kuivatuslaitokseen ja tilat halutaan erottaa kahteen eri paloluokkaan kuuluviksi osiksi, täytyy niiden väliin tehdä EI-M 120-vaatimuksen mukainen palomuri (taulukon 13 mukaan).

Tästä vaatimuksesta voitiin kuitenkin projektin yhteydessä paloviranomaisten hyväksynnällä joustaa ja rakenne toteutettiin EI120 rakenteena. Vesikatolla EI120-osastointia ulotettiin vesikaton suuntaisesti 5 m matkalle molemmin puolin seinää.

Linjalla, jossa EI120 rakenne sijaitsee, tulee myös kantavien rakenteiden kestää 120 minuuttia palotilanteessa. Myös kattorakenteen tulee olla EI120 ja kattopalkkien R120 vaatimuksen täyttäviä 5 m matkalle molemmin puolin linjaa kuvan 20 mukaisesti.



KUVA 20 Osastoinnin ulotus EI120 linjan kohdalla yläpohjassa

Pintojen luokkavaatimukset

Sähkötilojen sisäpuolisille seinä- ja kattopintojen luokkavaatimus on B-s1, d0 (kohta 3.5.1, sähkötilat). Kaikille muille tiloille seinä- ja kattopintojen vaatimus on D-s2, d2 (taulukon 17 mukaan). Kaikissa tiloissa lattioiden luokkavaatimus on D_{FL}-s1 (kohta 3.5.1).

Seinien ulkopintojen luokkavaatimus on B-s1, d0. Ja vesikatteen luokkavaatimus on B_{ROOF}(t2). (Kohdan 3.5.2 mukaan)

KUORMITUS PALOTILANTEESSA

Alla olevassa esimerkissä on laskettu kattopalkille tuleva palotilanteen kuormitus.

PALOTILANTEEN KUORMITUS, esimerkki

Pysyvät kuormat

Kattorakenteen paino:

$$g_{\text{katto}} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Primääripalkin paino

$$g_{\text{ipe600}} := 122.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot g = 1.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Muuttuvat kuormat

Hyötykuorma katolla

$$q_H := 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lumikuorma maassa

$$q_{Lm} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lumikuorma katolla

$$q_L := 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Palotilanteen kuormitusyhdistely:

$$G_{k,j} + A_d + \psi_{1.1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

kun luonnonkuorma on määräävä muuttuvakuorma (lumi-, jää- tai tuulikuorma)

TAI

$$G_{k,j} + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

kun hyötykuorma on määräävä muuttuva kuorma

Esimerkkitapauksessa pysyvä kuorma = kattorakenteen paino + palkin paino

Jänneväli n. 6 m $L_w := 6\text{m}$

$$G_{k,j} := g_{\text{katto}} \cdot L + g_{\text{ipe600}} = 4.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Esimerkkitapauksessa katolla muuttuvia kuormia lumikuorma ja hyötykuorma

Lumikuorma:

$$Q_{k,1} := q_L \cdot L = 12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lumikuorman yhdistelykertoimet

$$\psi_{1,L} := 0.4 \quad \psi_{2,L} := 0.2$$

Hyötykuorma:

$$Q_{k,2} := q_H \cdot L = 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hyötykuorman yhdistelykertoimet

$$\psi_{1,H} := 0 \quad \psi_{2,H} := 0$$

Kuorma primääripalkille:

Kun määräävä muuttuvakuorma on lumikuorma

$$P_{d1} := G_{k,j} + Q_{k,1} \cdot \psi_{1,L} + Q_{k,2} \cdot \psi_{2,H} = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



TERÄSRAKENTEIDEN PALOMITOITUS

Esimerkkilaskelmat teräspilarin, -palkin ja -siteen palomitoituksesta sekä mitoituspohjat löytyvät Pöyryn sisäisistä laskenta- ja suunnitteluohjeista. Laskelmien tulokset ja vertailua eri tavoin tehtyjen palomitoitusten tuloksista on esitetty Teollisuusrakennusten palosuunnittelu ja teräsrakenteiden palomitoitus -opinnäytetyön raportissa [30].

Osastoitavat/kohdesuojattavat erityiskäyttöiset tilat	
Tila	Tilaa koskevat määräykset ja ohjeet
Palveluosasto, erilaiset varastot (raaka-aine, tarvike, valmiste- ja puolivalmisteverastot), varsinaiset prosessitilat	RakMk E2: 6.2 -> E1 taul. 7.2.1
Yli 50 henkilölle tarkoitettut sosiaalitilat	RakMk E2: 6.2 -> E1 taul. 7.2.1
Asunto	RakMk E1: 5.2.1
Autosuoja	RakMk E4
Kattilahuone ja polttoainevarasto	RakMk E9
Muuntajatilat	SFS 6001: 8.7.2
Maalaamo	SFS 3358
Maalivarasto ja palavien nesteiden varasto	Laki ja asetus palavista nesteistä
IV-konehuone (kun se palvelee useita eri palo-osastoja)	RakMk E7
Asetyleenikeskus	SFS 3359
Nestekaasuvarastot	Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös (344/1997)
Kylmälaitetilan konehuone	SFS 5096: 8.1.2
Jätehuone	RakMk E1: 5.1.2

Lähde: RIL 195-2-2005. 2005. Rakenteellinen paloturvallisuus. Tuotanto- ja varastorakennukset. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL Ry. s. 23-24

ETA-hyväksytyt palosuojatuotteet

Liite 2

ETA-hyväksytyt palosuojatuotteet	
ETA-hyväksyntä	Tuote
10/0082	Monokote MK-6
11/0043	PROMASPRAY P300
11/0185	TECWOOL F
11/0229	VERMIPLASTER
11/0367	CAFECO 300
11/0480	SPRAYFIBER-F
12/0005	Perlifoc
13/0098	PROMILL IGNIFUGO
13/0221	Igniplaster
13/0379	PROMASPRAY C450
13/0382	Cafco MANDOLITE CP2
13/0519	Knauf MP 75 Fire
13/0894	IGNIVER
13/0923	EQTEC MORTERO

ETA-hyväksytyt palosuojalevyt	
ETA-hyväksyntä	Tuote
06/0206	PROMATECT -H
06/0207	MASTERIMPACT -RH
06/0215	PROMAXON Typ A
06/0219	PROMATECT -100
07/0176	SUPALUX
07/0296	PROMATECT -L
07/0297	PROMATECT -200
08/0093	PAROC FireSAFE SYSTEM
08/0129	PROMATECT -AD
08/0160	PROMINA
08/0161	PROMATECT -250
08/0162	MASTERIMPACT
09/0057	TECBOR A ja TECBOR B
09/0250	MASTERBOARD
10/0029	MONOLUX -40
10/0030	SUPALUX -M
11/0039	PROMATECT -LS
11/0368	ETERPAN MOC
11/0458	AESTUVER
12/0231	FireFree Scandiboard 850
13/0599	SUPALUX -EA
13/0600	SUPALUX -EG
13/0984	GLASROC F V500

ETA-hyväksytyt palosuojamaalit	
ETA-hyväksyntä	Tuote
09/0259	INTERCHAR 404
10/0086	Chartek 1709
10/0470	INTERCHAR 212
11/0014	Sika Unitherm Platinum
11/0045	Interchar 1120
11/0159	Sika Unitherm Steel W30
11/0200	Sika Unitherm Opal
11/0230	Thermo-Lag 3000
11/0252	Hensotherm 320KS
11/0324	Sika Unitherm Steel S
11/0430	Pyroplast-ST 100
11/0456	Hensotherm 310KS
11/0460	Intershar 1160
11/0481	Hensotherm 410KS
12/0049	FIRETEX FX2002 ja FIRETEX FX1002
12/0050	Hensotherm 420KS
12/0052	Nullfire S707-120
12/0324	NOVATHERM 4FRE
12/0459	BARRIER 87/1151
12/0581	HEMPACORE ONE 43600 ja HEMPACORE ONE 43601
12/0595	Stofire H-60
12/0596	FireFilm 70-60
12/0597	FireFilm 70-120
13/0113	FIRETEX FX5120
13/0198	PHOENIX STW
13/0356	PROMAPAINTE SC3
13/0531	Cafco SPRAYFILM WB2
13/0598	Promapaint SC1
13/0676	FIRETEX M90/02
13/0837	HCA WL STEEL
13/0895	C-THERM IC300 WB
13/0926	Aithon A90
13/0986	Cafco SPRAYFILM WB6

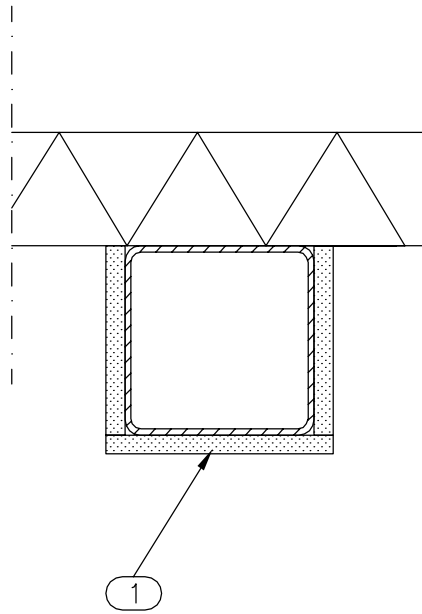
Materiaalien ominaislämpöarvoja
Materiaalien ominaislämpöarvoja MJ/kg [28]

Liite 3

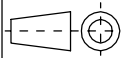

Kiinteltä aineita	
Puu	17,5
Muita selluloosaperustaisia materiaaleja	20
<ul style="list-style-type: none"> • Vaatteet • Korkki • Puuvilla • Paperi, pahvi • Silkki • Oiki • Villa 	
Hiili	30
<ul style="list-style-type: none"> • Antrasiitti • Puuhiili • Kivhiili 	
Kemikaalit	
Parafiinisarja	50
<ul style="list-style-type: none"> • Metaani • Etaani • Propaani • Butaani 	
Olefiinisarja	45
<ul style="list-style-type: none"> • Eteeni • Propeeni • Buteeni 	
Aromaattinen sarja	40
<ul style="list-style-type: none"> • Bentseeni • Tolueeni 	
Alkoholit	30
<ul style="list-style-type: none"> • Metanoli • Etanoli eli etyylialkoholi 	
Polttoaineet	45
<ul style="list-style-type: none"> • Bensiini • Dieselöljy 	
Puhtaat hiilivetymuovit	40
<ul style="list-style-type: none"> • Polyeteeni • Polystyreeni • Polypropeeni 	
Muut tuotteet	
ABS-muovi	35
Polyesteri (muovi)	30
Polyisosyanaatti ja polyuretaani (muoveja)	25
Polyvinylkloridi eli PVC (muovi)	20
Bitumi, asfaltti	40
Nahka	20
Linoleumi	20
Kuminen ajoneuvon rengas	30
HUOM. Tässä taulukossa esitetyt arvot eivät sovellu polttoaineiden energiasällön laskentaan.	

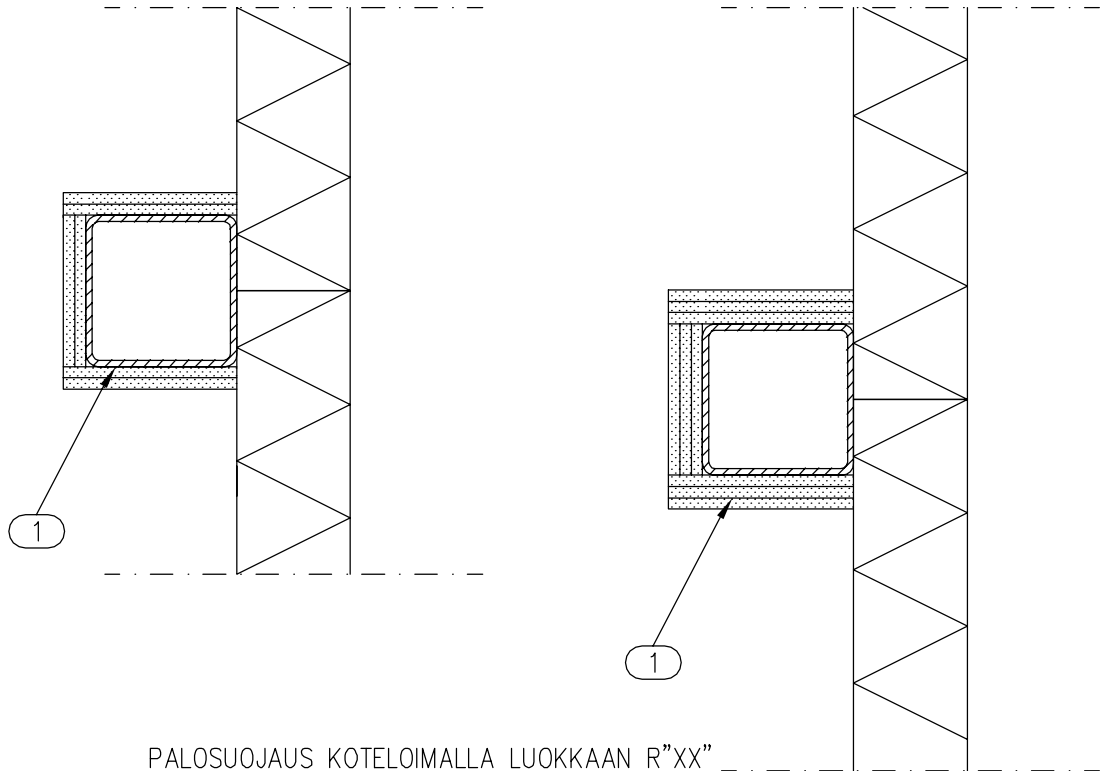
Alla olevassa on esitetty suuntaa-antavia ominaislämpöjen arvoja kaapelimateriaaleille, joiden avulla voidaan saada arvio kaapelien palokuormista kun kaapelien muovimateriaalien määrät on arvioitu. Tarkemmat palokuormien arvot täytyy selvittää kaapelivalmistajilta. [29]

Ominaisuus	Perinteiset PE-vaippaiset kaapelit	Perinteiset PVC-vaippaiset kaapelit	Palosuojatut halogeenittomat kaapelit	Palonkestävät halogeenittomat kaapelit ("FRHF")
Eristys PVC		21 MJ/kg		
Eristys, PE, PEX	46 MJ/kg	46 MJ/kg	46 MJ/kg	46 MJ/kg
Täytemassa	9–21 MJ/kg	21 MJ/kg	9 MJ/kg	9 MJ/kg
Vaippa	46 MJ/kg	17–21 MJ/kg	17–26 MJ/kg	17 MJ/kg

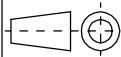



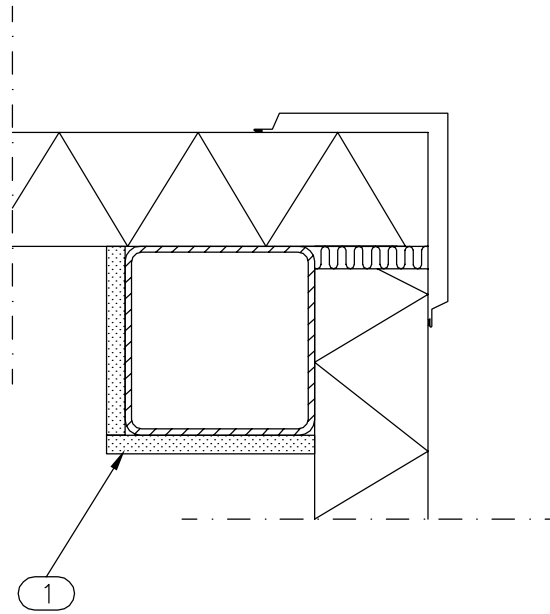
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project				Piirustuksen sisältö Title PILARIN PALOSUOJAUS KOLMelta Sivulta Koteloimalla	
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR		Piir.no Dwg No.	Sivu Page
Tark. Checked	Hyv. Approved				Muutos Rev

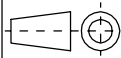



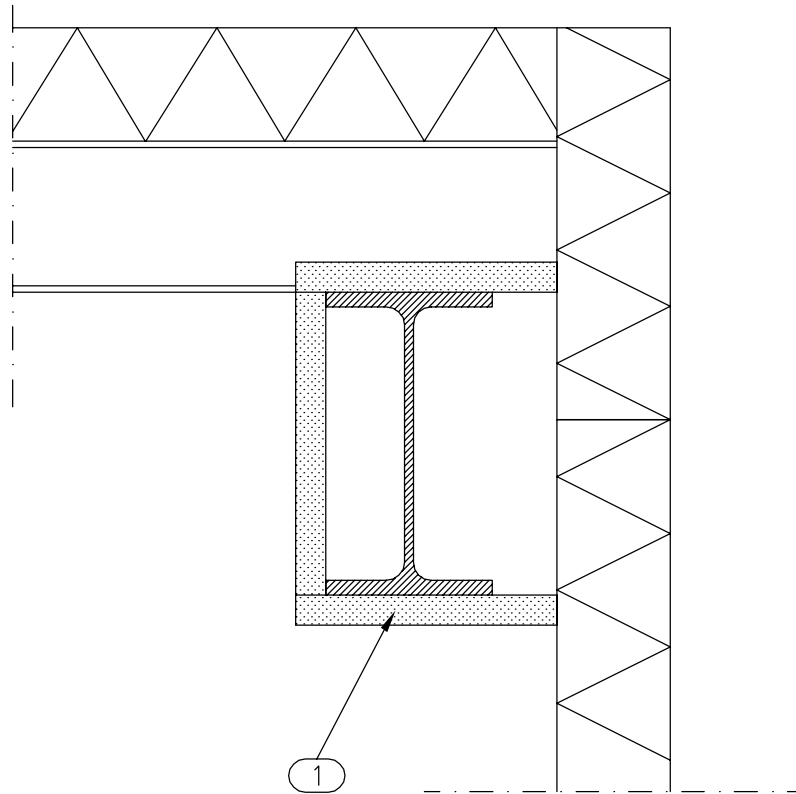
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KIINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project				Piirustuksen sisältö Title "PILARIN/SEINÄSITEEN" PALOSUOJAUS KOLMELTA SIVULTA KOTELOIMALLA	
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR		Piir.no Dwg No.	Sivu Page
Tark. Checked	Hyv. Approved				Muutos Rev

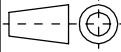



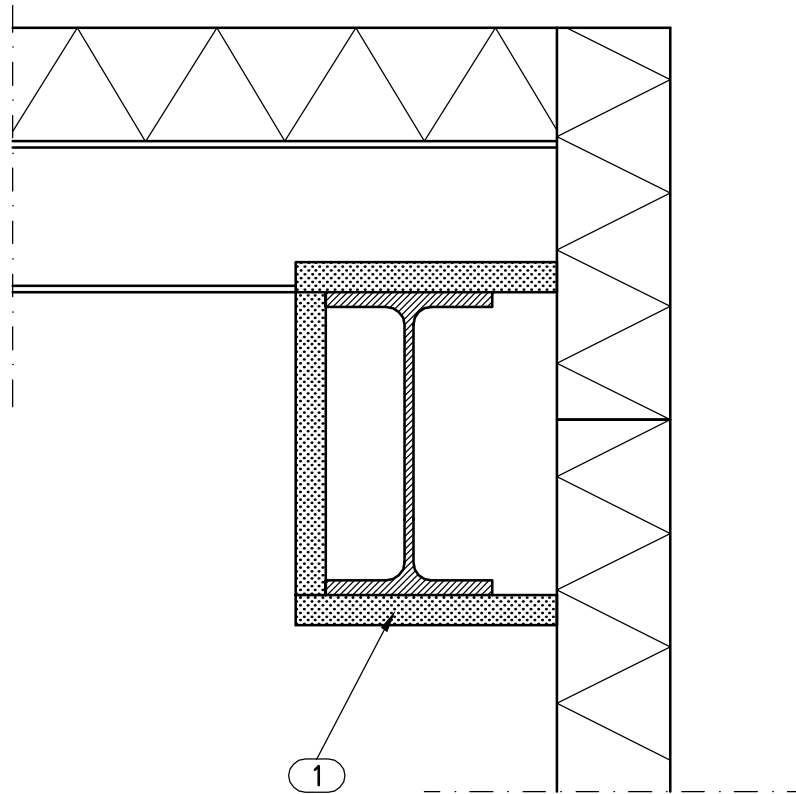
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project				Piirustuksen sisältö Title PILARIN PALOSUOJAUS KAHDELTA SIVULTA KOTELOIMALLA	
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR		Piir.no Dwg No.	Sivu Page
Tark. Checked	Hyv. Approved				Muutos Rev

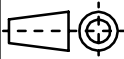



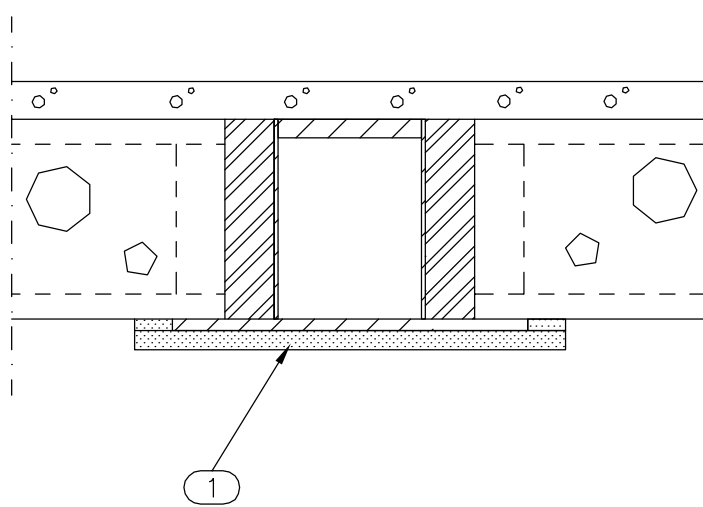
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KIINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project			Piirustuksen sisältö Title PALKIN PALOSUOJAUS SEINÄN LÄHELLÄ KOLMELTA SIVULTA KOTELOIMALLA		
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.	Sivu Page	Muutos Rev
Tark. Checked	Hyv. Approved				

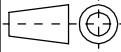



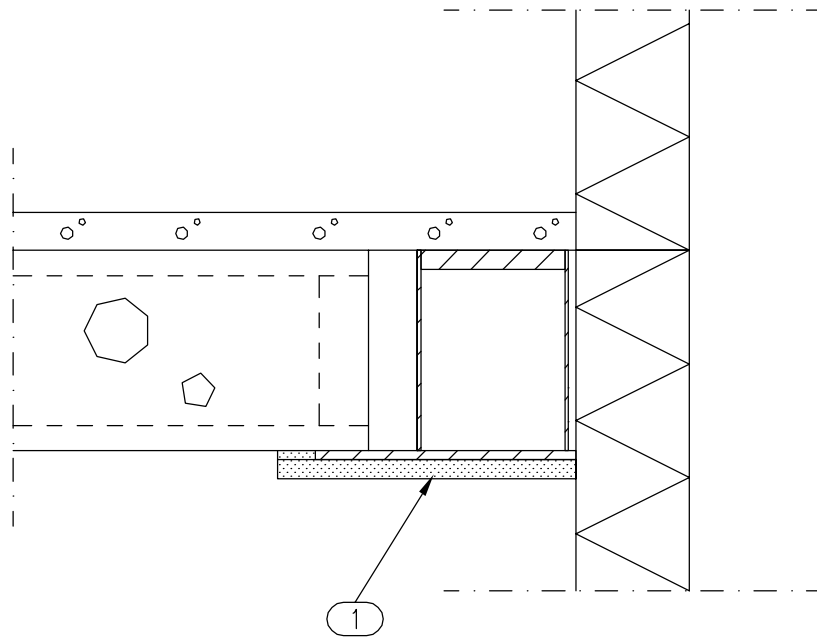
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KIINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project			Piirustuksen sisältö Title PALKIN PALOSUOJAUS SEINÄN LÄHELLÄ KOLMELTA SIVULTA KOTELOIMALLA		
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673			1:10		
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.	Sivu Page	Muutos Rev
Tark. Checked	Hyv. Approved				

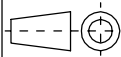



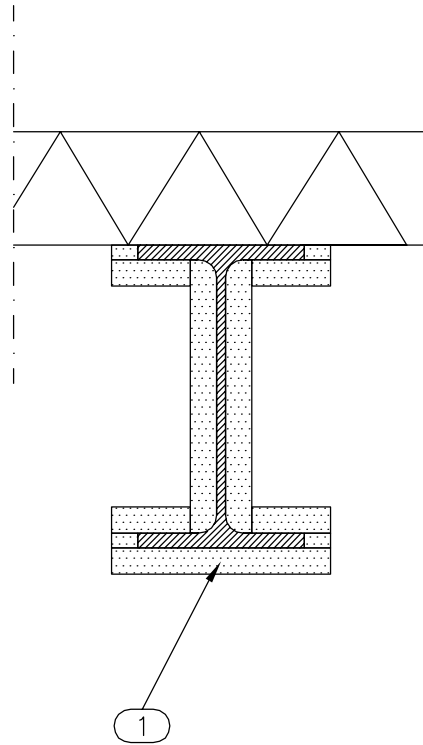
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KIINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project			Piirustuksen sisältö Title WQ-PALKIN ALALAI PAN PALOSUOJAUS		
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.	Sivu Page	Muutos Rev
Tark. Checked	Hyv. Approved				

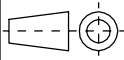



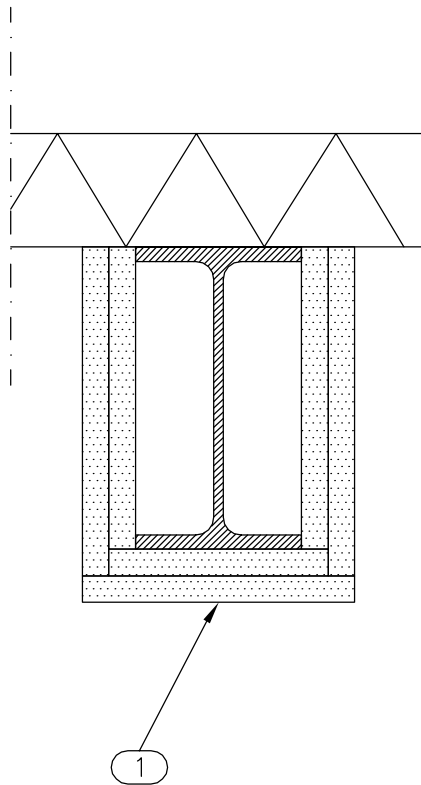
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KIINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project			Piirustuksen sisältö Title WQ-PALKIN ALALAIKAN PALOSUOJAUS		
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.	Sivu Page	Muutos Rev
Tark. Checked	Hyv. Approved				

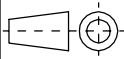



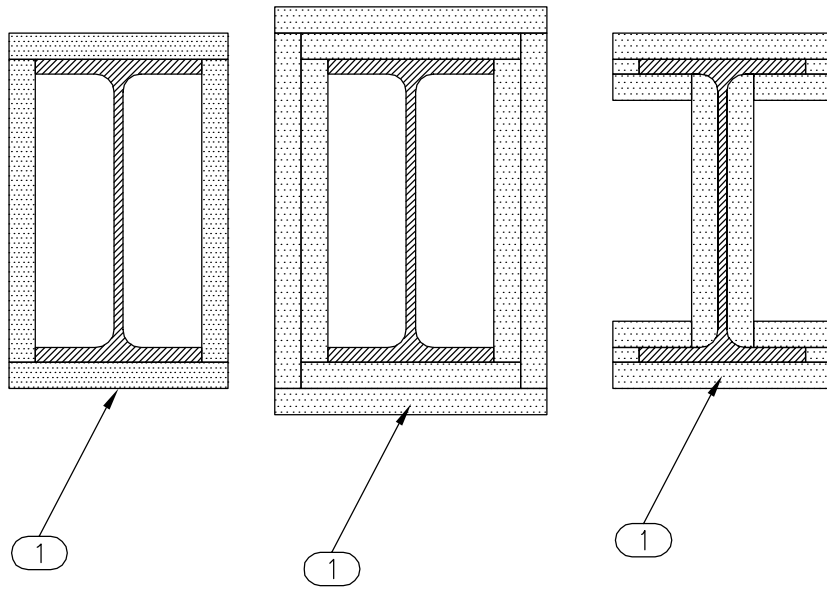
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA PROFILIN MYÖTÄISESTI LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KIINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project				Piirustuksen sisältö Title	
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR		Piir.no Dwg No.	Sivu Page
Tark. Checked	Hyv. Approved				Muutos Rev



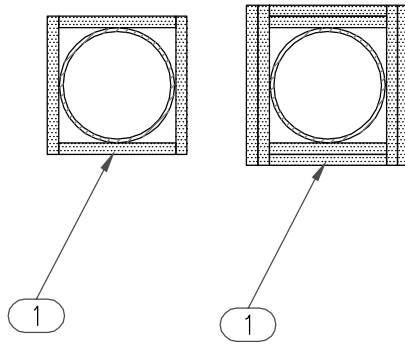
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KIINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project				Piirustuksen sisältö Title	
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.		Sivu Page
Tark. Checked	Hyv. Approved				Muutos Rev

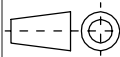



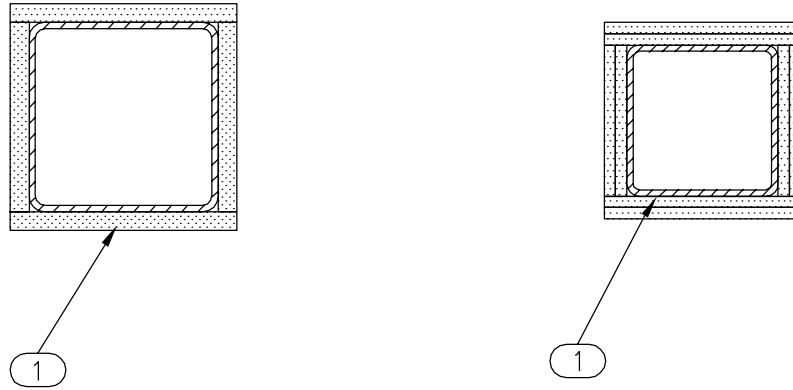
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KIINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project			Piirustuksen sisältö Title		
Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.	Sivu Page	Muutos Rev
Tark. Checked	Hyv. Approved				

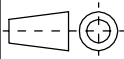



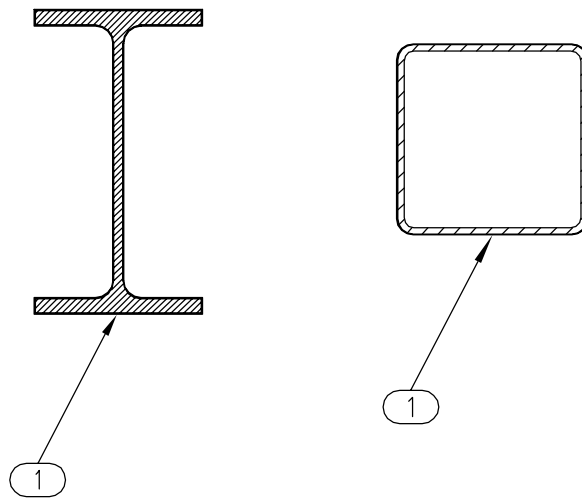
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project				Piirustuksen sisältö Title	
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.		Sivu Page
Tark. Checked	Hyv. Approved				Muutos Rev

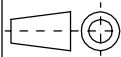



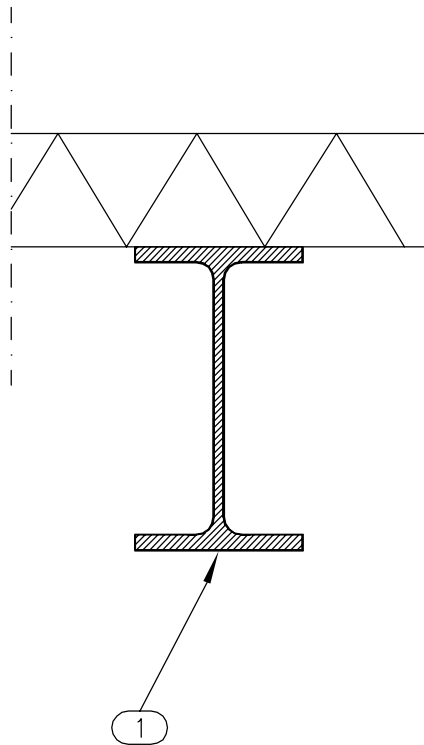
PALOSUOJAUS KOTELOIMALLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "LEVYTYYPPI" levytys "XX" mm
 KIINNITYS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project			Piirustuksen sisältö Title		
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.	Sivu Page	Muutos Rev
Tark. Checked	Hyv. Approved				

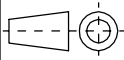



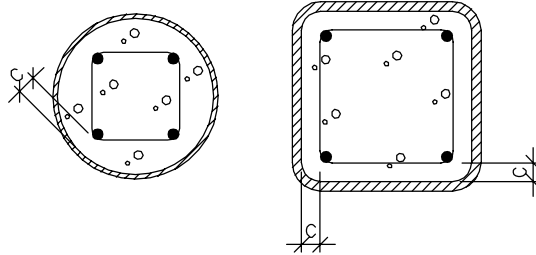
PALOSUOJAMAALAUUS LUOKKAAN R"XX"
 1 "MAALITYYPPI" paksuus "XX" mm
 MAALAUUS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project				Piirustuksen sisältö Title	
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.		Sivu Page
Tark. Checked	Hyv. Approved				Muutos Rev

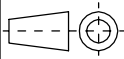



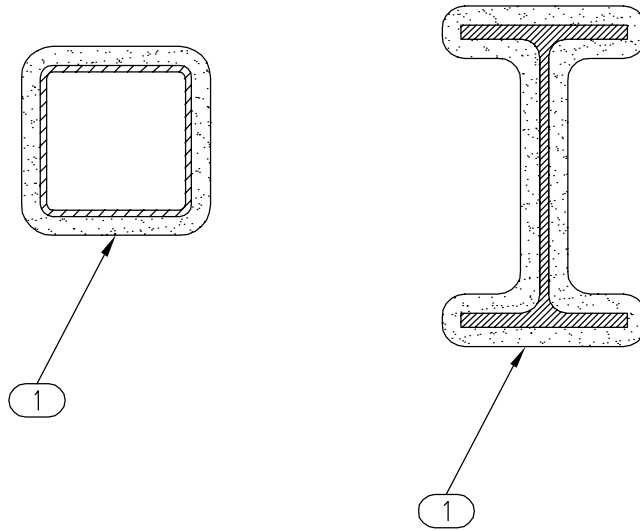
PALOSUOJAMAALAUS LUOKKAAN R"XX"
 1 "MAALITYYPPI" paksuus "XX" mm
 MAALAUS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project			Piirustuksen sisältö Title		
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.	Sivu Page	Muutos Rev
Tark. Checked	Hyv. Approved				

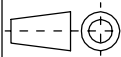



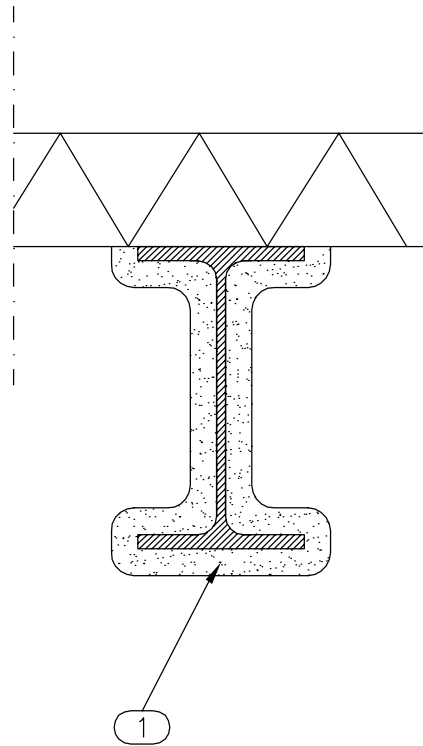
PALOSUOJAUS BETONOMALLA LUOKKAAN R"XX"
 RAUDOITUS "4T16", HAAT "T8 k300"
 BETONI "C30/37", "XC0"
 SUOJAETÄISYYYS c = "30 mm"

Kohde Project			Piirustuksen sisältö Title		
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.	Sivu Page	Muutos Rev
Tark. Checked	Hyv. Approved				

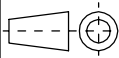



- PALOSUOJAUS RUISKUTTEELLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "RUISKUTETYYPPI" paksuus "XX" mm
 ASENNUS VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project			Piirustuksen sisältö Title PILARIN PALOSUOJAUS BETONOIMALLA			
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673			1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR	Piir.no Dwg No.		Sivu Page	Muutos Rev
Tark. Checked	Hyv. Approved					



PALOSUOJAUS RUISKUTTEELLA LUOKKAAN R"XX"
 1 "RUISKUTETYYPPI" paksuus "XX" mm
 ASENNUKSEN VALMISTAJAN OHJEIDEN MUKAAN

Kohde Project				Piirustuksen sisältö Title RUISKUTTEELLA PALOSUOJATTU "PALKKI/PILARI"	
 Pöyry Finland Oy Tutkijantie 2 D 90590 OULU Puh. +358 10 33 280 Fax. +358 10 33 28673		1:10			
Pvm. Date	Suunn. Designed	RAK STR		Piir.no Dwg No.	Sivu Page
Tark. Checked	Hyv. Approved				Muutos Rev