



PALOMITOITUKSEN PERUSTEET

TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy

Jussi-Petteri Syvänen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka

Jussi-Petteri Syvänen
Palomitoituksen perusteet
TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy

Opinnäytetyö 35 sivua, ei liitteitä
Toukokuu 2015

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda selkeät ohjeet yksinkertaiseen palomitoitukseen. Palomitoituksen perusteena ovat Suomen rakennusmääräyskokoelman, maankäyttö- ja rakennuslain sekä pelastuslain määräykset. Työ painottuu uudisrakentamiseen.

Opinnäytetyön alkuun tutkittiin tulipaloja ja niiden olemusta. Sen jälkeen tutustuttiin rakentamista ohjaavaan normistoon, joista erityisesti rakennusmääräyskokoelmaan. Keskeisin osuus sisältää yleisimpien rakennusmateriaaleihin, betoni, teräs ja puu, tutustumisen palotilanteessa. Siinä käsitellään jokaisen materiaalin käyttäytymistä tulipalossa, sekä erilaiset palomitoitustavat. Lisäksi on laadittu yksinkertaiset esimerkkilaskelmat palkeille, joiden pohjalta voi tutustua kyseisen materiaalin palomitoituksen kulkuun.

Lopussa otetaan kantaa korjausrakentamisessa käytettäviin määräyksiin ja korjaussuunnitteluun paloteknisessä mielessä.

Työtä voidaan käyttää yhtenä vaihtoehtona palomääräyksiin ja palomitoitukseen tutustumisessa.

ABSTRACT

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

Jussi-Petteri Syvänen
The basic instructions for fire technical dimensioning
TSO RAKENNESUUNNITTELU LTD

Bachelor's thesis 35 pages, no appendices
May 2015

The objective of this thesis was to create a clear crash instructions for the fire technical dimensioning. The purpose of this thesis was to explore the finnish code of building regulations and laws which guide building in Finland. The thesis concerns mostly new building.

First was told about fire in common and the costs of the accidents. After that was concerned norms of the theme. The key section of the thesis is about the most common building materials, concrete, steel and timber, in a fire case. There is example calculations for every material fire technical dimensioning in the end of the section.

In the end of the thesis is taken stand on renovation and the norms used in those cases in fire situations.

The thesis is one option to learn about fire technical dimensioning.

Key words: fire technical desingning, fire technical dimensioning, fire regulation

SISÄLLYS

LYHENTEET JA TERMIT	5
1 JOHDANTO.....	6
2 Tulipalot yleensä	7
2.1 Tulipalon kehittyminen.....	8
2.2 Tulipalon leviäminen	9
3 Palomääräykset, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1, rakennusten paloturvallisuus	10
3.1 Palokuorma	10
3.2 Rakennusten paloluokka	10
3.2.1 Kerrosluvun ja -alan rajoittaminen.....	11
3.3 Palo-osastot.....	11
3.4 Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen	12
3.5 Palon leviämisen estäminen.....	13
3.5.1 Osastoivat ikkunat, ovet ja luukut.....	13
3.5.2 Ullakot, ontelot, ulkoseinät ja parvekkeet.....	13
3.6 Palon kehittymisen rajoittaminen	14
3.6.1 Sisäpintojen luokkavaatimukset.....	14
3.6.2 Ulkopintojen ja tuuletusraon pintojen luokkavaatimukset.....	16
3.7 Palon naapurirakennuksiin leviämisen estäminen	16
3.8 Poistuminen tulipalon sattuessa	16
4 Rakenteellinen palosuojaus ja palomitoitus	18
4.1 Betonirakenne tulipalossa	19
4.2 Teräsrakenne tulipalossa.....	21
4.3 Puurakenne tulipalossa	22
4.4 Betonin palomitoitus	23
4.4.1 Laskentaesimerkki.....	24
4.5 Teräksen palomitoitus.....	26
4.5.1 Laskentaesimerkki.....	28
4.6 Puun palomitoitus	30
4.6.1 Laskentaesimerkki.....	31
5 Paloturvallisuus ja korjausrakentaminen.....	33
6 POHDINTA.....	35
LÄHTEET.....	36

1 LYHENTEET JA TERMIT

A1	rakennustarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon, esim. betoni ja teräs
A2	rakennustarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu, esim kipsilevy
B	rakennustarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu
C	rakennustarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti, esim. palosuojattu puu
D	rakennustarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä, esim. rakennuspuutavara
E	rakennustarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä, esim. huokoinen puukuitulevy
F	rakennustarvikkeet, joiden käyttäytymistä palossa ei ole määriteltä
E (paloluokissa)	tiiviyys
I	eristävyys
R	kantavuus
s (pintaluokissa)	savuntuotto
d (pintaluokissa)	palavien pisaroiden tuotto

2 JOHDANTO

Tulipalot aiheuttavat vuosittain paljon vahinkoa ja ihmishenkien menetyksiä. Suurin osa tulipaloista ja niiden kuolonuhreista johtuu rakennuspaloista. Siksi paloturvallisuus on tärkeässä asemassa rakentamisessa ja siihen on syytä kiinnittää erityistä huomiota.

Paloturvallista rakentamista ohjaa Suomessa useat lait ja määräykset. Esimerkkeinä maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132, pelastuslaki 29.4.2011/379 ja Suomen rakentamismääräyskokoelman E-osa. Lait ja asetukset koskevat rakennuksen elinkaaren eri vaiheita, mutta tärkein työ tehdään rakennettaessa. Rakennusvaiheessa paloturvallisuutta ohjaa rakentamismääräyskokoelma, joka pohjautuu Suomen lakeihin. Käytön aikaista paloturvallisuutta ohjataan suoraan laeilla ja asetuksilla. Määräysten noudattamista myös paloturvallisuuden osalta valvoo rakennusvalvonta. Siellä tarkastetaan suunnitelmat ja työmaan tarkastuksissa vahditaan suunnitelmien toteutumista ja turvallista rakentamista.

Opinnäytetyön tarkoituksena on avata määräysten pykäläviidakkoa ja toimia tilaajalle apuvälineenä paloteknisten asioiden suunnittelussa. Lisäksi käydään läpi betonin, teräksen ja puun palomitoitusta läpi esimerkkilaskelmien kautta, jolloin tilaaja saa helppokäyttöiset esimerkit rakennesuunnittelua varten. Opinnäytetyössä jätetään automaattisen sammutusjärjestelmän vaikutukset lisätutkimuksen aiheeksi.

3 Tulipalot yleensä

Pirkanmaalla rakennuspaloja vuonna 2014 oli 177 ja rakennuspalovaaroja 215. Rakennuspalovaaralla tarkoitetaan kuumenemistä, joka on aiheuttanut näkyvää savua, mutta palo ei ole edennyt rakenteisiin tai muuhun irtaimistoon. Näistä 392 tapauksesta 262 oli asuntoja tai vapaa-ajan asuntoja, joista 99 koski kerrostaloa. (Sten T.)

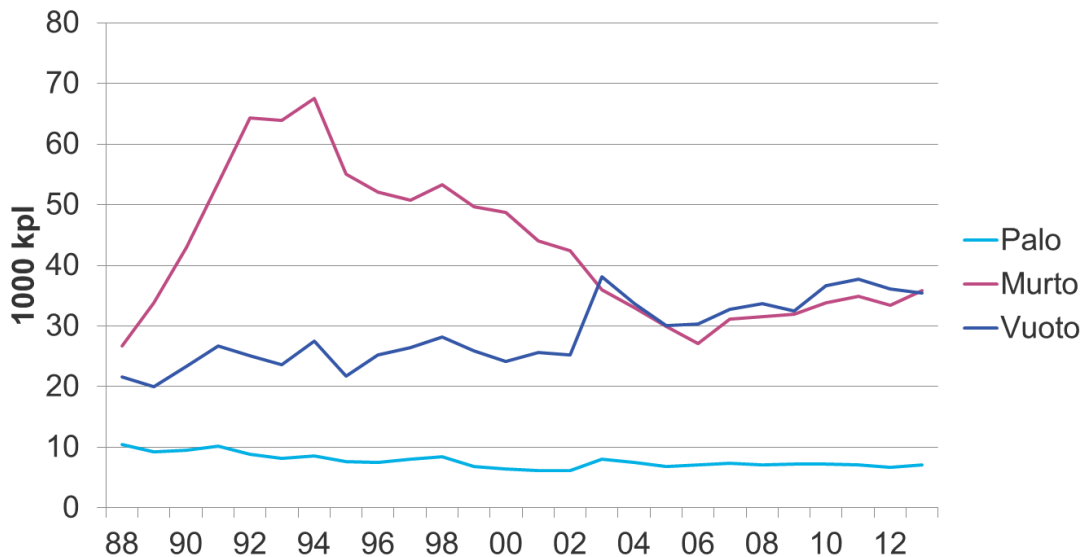
Tulipalo tai sen vaara koskee siis suuria määriä ihmisiä vuosittain. Pelastuslaitos yhdessä rakennusalan viranomaisten yrittää saada rakennukset turvallisemmiksi tämän osalta. Jotta turvallisuutta voidaan parantaa, pitää pelastuslaitos kirjata kaikkia hälytyksistään ja tilastoineen Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTO:on, jota pelastusopisto ylläpitää ja kehittää. Se sisältää kaikki pelastuslaitoksen tehtävät, turvallisuusviestintätoimenpiteet, koostetiedot valvontatehtävistä ja resursseista, tähystyslennot ja taustarekisterit. PRONTO:a on pidetty vuodesta 1996 lähtien ja sitä on laajennettu ajan saatossa. Se on ainutlaatuinen rekisteri maailmassa. (Sten T.)

PRONTO:on kirjataan hälytysseleste, jonka hätäkeskuspäivystäjä täyttää. Se sisältää ilmoituksessa saadun tiedon onnettomuudesta, tapahtumapaikasta ja -ajasta. (Sten T.)

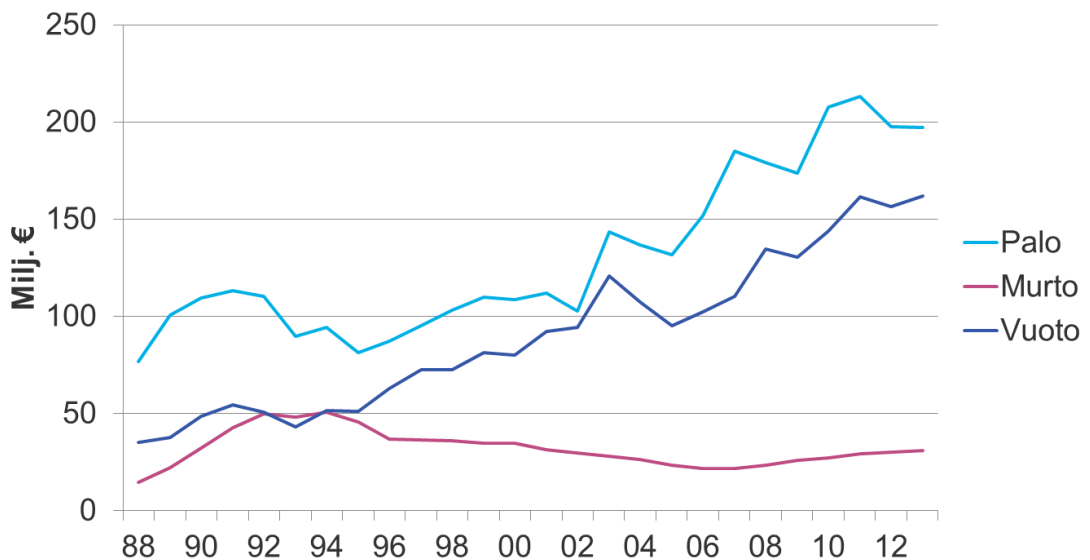
Sen jälkeen sinne kirjataan onnettomuusseleste. Onnettomuusselesteen täyttää palopaikan johtava viranomainen. Siitä löytyy onnettomuustyyppi, kuvaus onnettomuustilanteen kehittymisestä sekä palon syttymiskohta ja arvio tulipalon laajuudesta (tulipalotapauksissa). Lisäksi siihen saadaan tieto henkilövahingoista, käytetyistä resursseista ja niiden riittävydestä, sekä pelastuslaitoksen toiminnasta. (Sten T.)

Rakennuspalotilanteessa palotarkastaja kirjaa PRONTO:on rakennusselesteen. Rakennusselesteessä on ensimmäisenä rakennuksen perustiedot. Lisäksi sinne täytetään tietoja paloteknisestä osastoinnista ja rakenteista syttyneessä kohdassa. Rakennusselesteestä voi myös tarkistaa tiedot uloskäytävistä ja rakennuksen paloturvallisuuslaitteista. Viimeinen kirjaus on huomiot paloturvallisuuden parantamiseksi, joista voi kerätä tietoa tulevaisuutta varten. (Sten T.)

Palovahingot ovat olleet hitaassa laskussa vuosien saatossa, mutta vakuutusyhtiöiden maksamat vahingonkorvaukset ovat nousseet rajusti. (Finanssialan keskusliitto)



Kuva 1. Palo-, murto- ja vuotovahingot 1988-2013



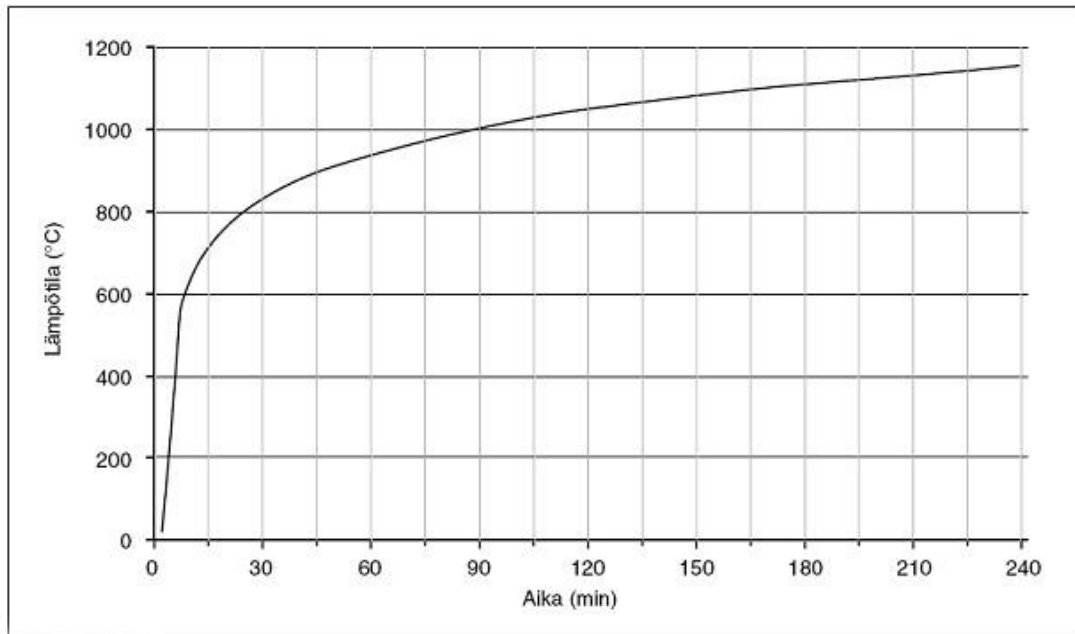
Kuva 2. Palo-, murto- ja vuotovahingonkorvaukset 1988-2013

3.1 Tulipalon kehittyminen

Tulipalo tarvitsee neljä tekijää: happi, palava materiaali, energia eli lämpö ja jatkuva ketjureaktio. Rakennuksissa palavaa materiaalia ja happea riittää. Energia on siis kriittinen tekijä tulipalojen syttymisessä. Riittävän energian tulipaloon voi aiheuttaa vaikka sähkölaitteen oikosulku.

Tulipalo on kolmivaiheinen. Ensimmäinen vaihe on syttyminen, jolloin lämpötila nousee ja savua alkaa muodostua. Kun lämpötila lähestyy 400 °C, alkaa tulipalon toinen

vaihe, täysin kehittynyt, jolloin lämpötila nousee jopa 1200 °C asti. Suuri lämpösäteily aiheuttaa lieskahduksen ja sytyttää kaikki palavat pinnat. Tällöin lämpötila on 500–600 °C vaiheilla. Toinen vaihe kestää niin kauan, kun kaikkia kolmea tekijää on riittävästi. Kolmas vaihe on jäähtyminen.



ISO-834 -standardin mukainen lämpötila-aikakäyrä

Kuva 3. Standardipalokäyrä (Gyproc, viitattu 12.2.2015)

3.2 Tulipalon leviäminen

Tulipalo leviää kolmella tapaa. Säteilemällä, jolloin lämpösäteily eli infrapunasäteily lämmittää kappaleen niin kuumaksi, että sen syttymispiste ylittyy ja kappale alkaa palaa. Toinen tapa on lämmön johtuminen, jolloin lämpö johtuu esimerkiksi seinän läpi metalliputkea pitkin ja sytyttää mahdollisesti seinän ja sen toisella puolella olevat materiaalit. Kolmas tapa on konvektio, jolloin kuumenneet savukaasut virtaavat eteenpäin ja lämmittää ympäröiviä materiaaleja ja sytyttää ne tuleen. Tämä tapa voi sytyttää palon toisessa huoneessa ilmanvaihdon kautta.

4 Palomääräykset, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1, rakennusten paloturvallisuus

Koska tulipalot aiheuttavat vuosittain paljon taloudellista vahinkoa ja ihmishenkien menetyksiä, on niiden välttämiseksi asetettu paljon määräyksiä. Rakentamista ohjaa Suomen rakentamismääräyskokoelma jonka E-osassa kerrotaan uusien rakennusten paloturvallisuudesta.

Paloturvallisuuden kannalta rakennukselle on asetettu olennaisia vaatimuksia, joita ovat rakenteiden kantavuus, eli tulipalossa rakenteiden tulee kestää niille asetettu vähimmäisaika palotilanteen kuormia. Palo ja savukaasut eivät saa levitä rakennuksen sisällä, eikä rakennuksesta toiseen hallitsemattomasti. Rakennuksessa olevien ihmisten on pysyttävä poistumaan turvallisesti tai heidät pitää pystyä pelastamaan ja palomiesten toiminnan turvallisuus pitää pyrkiä huomioimaan.

4.1 Palokuorma

Ympäristöministeriön määritelmän mukaan palokuorma tarkoittaa täydellisessä palossa vapautuvaa kokonaislämpö määrää neliometriä kohti. Palokuormaryhmät määritetään pääsääntöisesti rakennuksen tilojen pääkäyttötarkoituksen mukaan.

Palokuormaryhmiä on kolme: yli 1200MJ/m², joihin lukeutuu yleensä varastot. Tarvittaessa palokuorma arvioidaan kohdekohtaisesti. Toinen ryhmä on 600-1200MJ/m². Tähän luokkaan kuuluvat myymälät, kirjastot, näyttelyhallit, moottoriajoneuvojen huolto-tilat ja kellariosastot, joissa on irtaimistovarastot. Kolmas ryhmä on alle 600MJ/m². Siihen kuuluvat ihmisten elämiseen kuuluvat rakennukset, joissa ihmiset ovat tilan täyttäjinä.

4.2

4.3 Rakennusten paloluokka

Rakennukset jaotellaan kolmeen paloluokkaan: P1, P2 ja P3. Paloluokan P1 rakennusten oletetaan kestävän sortumatta tulipalossa. Tämän takia rakennuksen kokoa eikä henkilömäärää ole rajoitettu millään tavalla. P2-luokan vaatima turvallisuustaso saavutetaan

pintoja ja paloturvallisuutta parantavien laitteiden vaatimuksilla, sekä rajoittamalla kokoa ja henkilömäärää käyttötavan mukaan. P3-luokassa kantaville rakenteille ei aseteta erityisiä vaatimuksia, vaan turvallisuus taataan pitämällä rakennuksen koko ja henkilömäärät riittävän pieninä.

4.3.1 Kerrosluvun ja -alan rajoittaminen

Kuten edellä todettiin, P1-luokassa rakennuksen kokoa ei ole rajoitettu. P2-luokassa yleensä rajoitus on kaksi kerrosta, mutta asuinrakennuksissa sallitaan 8 kerrosta. Lisäksi kaksikerroksisen rakennuksen korkeus on rajoitettu 9m:in, 3-4 kerroksisen 14m:in ja 5-8 kerroksisen korkeus saa olla korkeintaan 26m. Yli kaksikerroksisten asuinrakennusten maksimikerrosala paloluokassa P2 on 12000 m².

P3-luokassa saa rakentaa vain kaksi ja varastorakennukseen enintään yhden kerroksen. Korkeus on rajattu yleensä yhdeksään metriin, mutta tuotanto- ja varastorakennukset sallitaan 14 metrin korkuisina.

Kerrosalaa ei ole P1- eikä P2-luokan rakennuksissa rajattu kuin yli kaksikerroksisissa rakennuksissa, joissa P2-luokassa suurin sallittu kerrosala on 12 000m². P3-luokassa yksikerroksisena saa rakentaa 2 400m² ja kaksikerroksisena 1 600m².

4.4 Palo-osastot

Rakennus jaetaan palo-osastoihin palon leviämisen estämiseksi, jotta poistuminen ja pelastustoiminta olisivat turvallista. Tällä pyritään myös rajaamaan taloudelliset vahingot mahdollisimman pieneksi.

Rakennus voidaan jakaa palo-osastoihin kolmella eri tavalla, kerrososastointi, pinta-alaosastointi ja käyttötapaosastointi. Kerrososastoinnissa eri kerrokset ovat eri palo-osastoja. Pinta-alaosastoinnissa asuinrakennus jaetaan paloluokasta riippumatta huoneistoittain palo-osastoihin. Asuinrakennuksen suurin sallittu palo-osasto on yleensä paloluokasta riippumatta 400m². Yöpymistilat 800m², muut tilat majoitus- ja hoitorakennuk-

sisä 1600 m². Liikerakennuksissa suurin sallittu osasto on 2400m². Ullakot ja yläpohjan ontelot pitää jakaa 1600m² osastoihin, sekä kellarit 800m² osastoihin.

Jotta sammutustoimet ovat turvallisia, palo-osastot jaetaan vielä osiin majoitustiloissa/hoitolaitoksissa huonekohtaisesti, sekä ullakoilla ja yläpohjanonteloissa 400m² kokiisiin osiin.

4.5 Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen

Rakennuksen tai sen osan sortuminen ei saa aiheuttaa vaaraa määrättyä aikana palon alkamisesta. Rakenteen mitoitus voi perustua standardoituun käyrään perustuvaan luokitukseen tai palonkehityksen mukaisiin rasiin. Rakenteen kantavuutta kuvataan R-tunnuksella.

P3-luokan rakennuksille ei ole asetettu vaatimuksia rakenteiden kantavuuden suhteen. P2-luokassa korkeintaan kaksikerroksisen rakennuksen runko pitää palokuormasta riippumatta kuulua luokkaan R30, eli kantavuuden pitää säilyä 30 minuuttia palon syttymisestä. 3 – 8-kerroksisen rakennuksen kantavien rakenteiden pitää palokuormasta riippuen kuulua luokkaan R60, R120 tai R180, sekä eristeiden ja muiden täytteiden on kuuluttava luokkaan A2-s1, d0. Kellarikerroksissa myös kantava rakenne tulee kuulua samaan luokkaan. Jos kellarikerroksia on useita, tulee alimpien kellarikerrosten luokkaa lisätä 60 minuutilla. Rakenteet jotka ovat kantavan rungon tai jäykistyksen olennainen osa, tulee kuulua luokkaan R30. Rakenteet jotka eivät ole olennaisia, tehdään R15-luokkaan.

P1-luokan rakennuksen, jotka ovat enintään kaksi kerroksisia, rakenteiden täytyy kestää 60, 90 tai 120 minuuttia palokuormasta riippuen. 3-8-kerroksisen rakenteet on oltava luokkaa R60, R120 tai R180. Yli 8 kerroksisen rakennuksen rakenteet täytyy kestää 120, 180 tai 240 minuuttia. Kellarikerroksia koskevat samat määreet kuin P2-luokassa. Epäolennaiset rakenteet rungon kantavuuden ja stabiliteetin suhteen tehdään myös kuten P2-luokassa, mutta olennaiset osat täytyy ulottaa luokkaan R60.

4.6 Palon leviämisen estäminen

Osastoivat rakennusosat tehdään niin, että palon leviäminen ei ole mahdollista tietyn ajan sisällä. P3-luokassa niiden täytyy olla luokkaa EI30. P2-luokassa, jos rakennuksessa on 1-2 kerrosta, osastoivan rakenteen tulee olla myös EI30, paitsi kellareissa, joissa vaatimus on EI60. Korkeammat P2-luokan rakennukset ja P1-luokan rakennukset tehdään palokuormasta riippuen EI60, EI90 tai EI120 luokan osastoivilla rakennusosilla. Eristeiden suojaus ei saa heikentyä minkään läpiviennin tai asennuksen seurauksena missään paloluokassa. Myöskään ilmanvaihtolaitteet eivät saa levittää paloa tai savukaasuja.

4.6.1 Osastoivat ikkunat, ovet ja luukut

Ikkunan tai oven, joka on osastoivassa rakenneosassa, pitää kestää vähintään puolet muulle osalle asetetusta palonkestoajasta. Jos ovi tai ikkuna täyttää vain tiiviyden, mutta ei eristävyyttä, täytyy noudattaa 1,5 metrin suojaetäisyyttä uloskäytävän kulkureittiin tai palavaan materiaaliin.

Oven täytyy tulipalotilanteessa olla aina kiinni. Siksi osastoivan oven pitää olla itseltään sulkeutuva ja salpautuva tai varustettu laittein, jotka sulkevat oven palotilanteessa. Suljinta ei kuitenkaan tarvita asuinhuoneistojen kerrostaso-ovissa.

4.6.2 Ullakot, ontelot, ulkoseinät ja parvekkeet

Ullakolla osastoiva rakennusosa viedään yläpohjan ontelon läpi vesikaterakenteeseen asti. Palokatkojen suunnittelussa täytyy ottaa huomioon rakennusfysikaaliset tarpeet, kuten esimerkiksi tuuletus. Räystäällä palokatko täytyy rakentaa siten, ettei palo pääse osastosta toiseen ulkokautta. Tulipalo ei saa levitä myöskään ulkoseinän tai parvekkeiden kautta. Huomioitavat kohdat ovat ulkoseinän ulkopinta, ulkoseinärakenteen sisällä, liitososat, sekä ikkunoiden sijoittelu sisänurkissa tai vastakkaisissa ikkunoissa. Ullakon eri palo-osastoihin pitää sammutustilanteessa päästä ulkokautta.

4.7 Palon kehittymisen rajoittaminen

Rakennustarvikkeet eivät saa edesauttaa tulipalon kehittymistä aiheuttaen vaaraa. Ne eivät saa palaa ilman ympäröivän ilman happea, eivätkä saa palaessaan muodostaa myrkyllisiä kaasuja. Materiaaleja luokiteltaessa huomioidaan, miten materiaali osallistuu paloon, miten se muodostaa savua tai palavia pisaroita, sekä lämmön vapautuminen.

4.7.1 Sisäpintojen luokkavaatimukset

Rakennettaessa käytetään rakennustarvikkeita, jotka eivät edesauta palonkehittymistä vaaraa aiheuttavalla tavalla. Sisäpinnoille asetetut luokkavaatimukset on kirjattu seuraavaan taulukkoon (Kuva 5).

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

Kuva 5. Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset (RakMK E1, 8.2.)

Pääsääntöisesti P2-paloluokan rakennuksen rakenteilla on tiukimmat määräykset. Tämä johtuu matalammista kantavuuden arvoista kuin P1-luokassa. Tiukemmilla pintaluokilla päästään riittävän paloturvallisuuden tasolle. P3-luokan rakennusten kokoa on rajoitettu niin paljon, ettei pintaluokkien vaikutus paloturvallisuuteen ole niin merkittävä.

4.7.2 Ulkopintojen ja tuuletusraon pintojen luokkavaatimukset

Paloluokassa P3 ulkoseinän ja tuuletusraon ulkopinnan luokkavaatimus on D-s2, d2. P2-luokassa tuuletusraon ulko- ja sisäpinta, sekä ulkoseinän ulkopinnan vaatimuksena on sama D-s2, d2. Poikkeuksina hoitolaitokset ja 3-8 – kerroksiset asuin- ja työpaikkarakennukset, joissa ulkoseinän ja tuuletusraon ulkopinnan on oltava luokkaa B-s2, d0. Tuuletusraon sisäpinta on hoitolaitoksissa oltava B-s1, d0 ja 3-8 – kerroksisissa asuin- ja työpaikkarakennuksissa A2-s1, d0.

P1-luokassa yleensä vaatimukset ovat B-s1, d0, paitsi enintään 8-kerroksisissa asuin- ja työpaikkarakennuksissa, joissa ulkoseinän ja tuuletusraon ulkopinnan vaatimus on B-s2, d0.

Yläpohjan yläpinnan luokkavaatimus P1- ja P2 -luokassa on B-s1, d0. Vesikatteet ovat yleensä luokka B_{ROOF} (t2) ja ne on tehtävä siten, ettei palo leviä sen alustassa vaaraa aiheuttavalla tavalla.

4.8 Palon naapurirakennuksiin leviämisen estäminen

Tulipalo ei saa levitä myöskään rakennuksesta toiseen, eikä se saa vaarantaa henkilöturvallisuutta siellä. Pääsääntöisesti tämä pyritään estämään rakennusten välisellä etäisyydellä, jotta aluepalon vaara jää vähäiseksi. Jos etäisyys on alle 8 metriä, on rakenteellisesti estettävä palon leviäminen.

Jos rakennetaan toiseen rakennukseen kiinni, tai niin lähelle, että palon leviäminen on todennäköistä, on rakennettava palomuri. Palomuri rakennetaan aina A1-luokan materiaaleista. Palomuurin palonkesto-aika P1- ja P2-luokassa on palokuormasta riippuen 240, 180 tai 120 minuuttia. P3-luokassa se on 60 minuuttia.

4.9 Poistuminen tulipalon sattuessa

Rakennuksesta pitää päästä ulos siten, että se ei kestä vaarallisen kauan. Tämä turvataan riittävän helppokulkuisilla uloskäytävillä. Hissiiä ei lasketa uloskäytäväksi, joten palotilanteessa liikuntakyvytön henkilö pitää pystyä kuljettamaan paareilla ulos. Rakennuksesta on yleensä oltava vähintään kaksi uloskäytävää. Pienissä rakennuksissa hyväksy-

tään yksi uloskäytävä, mutta tällöin pitää olla olemassa vähintään yksi varatie, jonka järjestämisessä on kuultava paikallista pelastusviranomaista.

Uloskäytävän tulee yleensä olla vähintään 1200mm leveä, mutta se mitoitetetaan aina tapauskohtaisesti henkilömäärän mukaan. Vapaa korkeus tulisi olla aina vähintään 2100mm.

Uloskäytävät tehdään yleensä omiksi palo-osastoikseen. Porrassyöksyjen ja -tasanteiden tulee olla R30 -luokan rakenteita, kun palokuorma on alle 600MJ/m². Kun palokuorma on suurempi, kantavuus pitää olla R60. Uloskäytävässä ei saa olla palokuormaa tai savunmuodostusta lisääviä laitteita, rakennusosia tai käytön aikana mitään irtaimistoa. Sen pitää myös kestää mahdollinen tungoskuorma, jos on vaarana että ulos pakenevat ihmiset aiheuttavat tungoksen uloskäytäviin. Tämä täytyy huomioida rakennesuunnittelussa.

Uloskäytävissä olevien ovien tulee yleensä aueta poistumissuuntaan ja niiden tulee olla helposti avattavissa.

5 Rakenteellinen palosuojaus ja palomitoitus

Tässä osiossa käydään läpi eri rakennusmateriaalien kantavuuden säilyttäminen palosuojauksella, sekä palomitoitusta. Tulipalo luokitellaan onnettomuustilanteeksi, jolloin eurokoodin mukaan käytetään erityistä kuormitusyhdistelyä.

Huomioon otettavia asioita ovat:

- Hyötykuormien vähenemistä ei huomioida
- Teollisuuden toiminnoista aiheutuvia kuormia ei huomioida
- Muita onnettomuuskuormia ei huomioida
- Lumen sulaminen arvioidaan tapauskohtaisesti

Palotilanteen kuormien aiheuttama rasitus määritetään seuraavan kaavan mukaan.

$$E_{d,fi} = G_k + \sum \Psi_{fi} \times Q_{k,fi}$$

Jossa G_k = pysyvät kuormat ominaiskuormana

Q_k = muuttuvat kuormat ominaiskuormina

Ψ_{fi} = muuttuvan kuorman yhdistelykerroin (kuva 6)

Tulipalo on onnettomuustilanne, ja siksi käytetään poikkeavia varmuuskertoimia. Kaikkien materiaalien osavarmuuslukuna on 1,0. Myös pysyvän kuorman kerroin on 1,0.

Muuttuvan kuorman kerroin otetaan taulukosta (kuva 6).

Taulukko 2.2. Muuttuvan kuorman yhdistelykertoimet $\psi_{fi,j}$.

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

Kuva 6. Muuttuvan kuorman yhdistelykertoimet (RIL 205-2-2009 s.19)

Yksinkertaistetut mitoituskaavat perustuvat yleensä standardipalokäyrään (Kuva 3.), mutta se eroaa huomattavasti todellisesta tulipalosta. Todellisia lämpötiloja käytettäessä kaavat ovat pidempiä ja monimutkaisempia. Standardikäyrään perustuvat mitoitukset ovat enemmän varmallalla puolella, sillä lämpötila ei todellisuudessa nouse niin nopeasti.

Rakenteiden luokkavaatimuksia ja muita paloteknisiä järjestelyjä voidaan lieventää automaattisella sammutuslaitteistolla. Nämä tilanteet tulee aina käydä läpi paloviranomaisen kanssa, joka voi myöntää lievennyksiä. Esimerkkinä puukerrostalo on saatu rakentaa P1-luokassa kun on lisätty tavanomaista parempi sprinklausjärjestelmä ja rakenteiden pintamateriaalien paloluokkia on kiristetty. (Sten T.)

5.1 Betonirakenne tulipalossa

Betoni on palamaton materiaali joka kuuluu luokkaan A1. Betonia ei siis tarvitse varsinaisesti palosuojata. Betonirakenteen kantavuus säilyy lähes poikkeuksetta vähintään 60 minuuttia. Rakennesuunnittelijalla on useita tapoja lisätä palonkestoaikaa betonirakenteelle. Tavallisimpia tapoja ovat:

1. Kasvatetaan suojabetonipaksuutta
2. Lisätään teräsmäärää
3. Kasvatetaan dimensioita
4. Suojaverhoillaan rakenne

Kohdat 1 ja 3 johtuvat betonin suuresta ominaislämpökapasiteetista. Sen lämpötila muuttuu verrattain hitaasti. Tämä voi tosin aiheuttaa ongelmia tulipalon sammuttamisen jälkeen. (Inha, rakenteiden palomitoitus)

Betonipeitteen kasvattaminen pitää teräkset viileämmässä, jolloin niiden kapasiteetti säilyy, ja teräsbetonirakenne pysyy kantavana. Betonin puristuslujuuden muutos ei ole ongelma, koska normaalirakenteessa betonin jännitystaso on korkeintaan 60% murtolujuudesta. (Betoni, luettu 12.3.2015)

Kun betoni kuumentuu, siitä pyrkii poistumaan kosteus, jolloin sementtikivi kutistuu. Samaan aikaan kuitenkin kiviaines laajenee. Tämä aiheuttaa vähintäänkin mikrohalkeamia rakenteeseen. Samalla se heikentää raudoitteen ja betonin välistä tartuntaa. (Inha T)

Betonin jäähtyttyä tulipalon jälkeen sen lujuus laskee. Jäännöslujuuteen vaikuttaa muun muassa kiviaines, sementtityyppi ja jäähtymisnopeus. Jos pystytään päättelemään betonin palonaikainen lämpötila, voidaan helposti arvioida betonin kapasiteettia tulipalon jälkeen. Raja-arvoja palon aikaisesta lämpötilasta saadaan betonin värin perusteella. (Inha T)

Betonirakennetta suunniteltaessa palotilanteeseen, on huomioitava tulipalon aiheuttamat muutokset betonissa, joka voi aiheuttaa rakenteen staattisen mallin muuttumisen. Staattinen toimintatapa muuttuu asteittain lämpötilan kasvaessa. Paloteknisessä mitoituksessa voidaan lisätä rakenteelliset tai plastiset nivelet niihin kohtiin, joissa momenttikapasiteetti ensimmäisenä ylittyy. Tämä vaatii lähtökohdakseen staattisesti määräämättömän rakenteen, jotta niveliä lisättäessä rakenteesta ei tule mekanismia. Myös tukialueen raudoitusta voi käyttää hyväksi palotilanteessa. Taivutetun rakenteen tuelta jatkuva raudoitus palkin tai laatan yläpintaan lisää rakenteen kapasiteettia sitä kautta, että tuen voidaan katsoa toimivan palotilanteessa jäykkänä.



Palanut betonirakennus

(www.betoni.com/image/23210/20120307143225/paloturvallisuus.jpg)

5.2 Teräsrakenne tulipalossa

Teräs on myös palamaton materiaali. Sen lujuus ja kimmokerroin kuitenkin pienenevät nopeasti lämpötilan noustessa. Lisäksi teräs lämpölaajenee voimakkaasti, joka aiheuttaa haitallisia pakkovoimia ja muodonmuutoksia. Kuten standardipalokäyrästä (kuva 3) nähtiin, että lämpötila menee yli 500 °C jo alle 10 minuutissa. Siksi teräsrakenteet on suojattava tulipaloa vastaan erillisillä palosuojauksilla, tai ylimitoitettava rakenteet siten, että se kestää palotilanteenkin kuormat. Ylimitoitus ei kuitenkaan aina riitä tai ole järkevää, joten teräsrakenne on yleensä palosuojattava.

Teräkselle on olemassa useita erilaisia palosuojausvaihtoehtoja. Perinteisesti paljas teräspinta eristetään materiaalilla, joka hidastaa lämpötilan nousua. On olemassa erilaisia palosuojalevyjä, kuten mineraalivilla- ja vermikuliittilevyt. Myös tiilellä ja puulla voi palosuojata terästä. Näitä kutsutaan kuivamenetelmiksi ja nämä yleensä kiinnitetään mekaanisilla kiinnikkeillä suojattavaan rakenteeseen.

Asennustavaltaan märkiä menetelmiä ovat erilaiset ruiskutteen, palosuojamaalaus, rapaus ja betonointi. Näillä yleensä ympäröidään suojattava rakenne jolloin lämpötila ei pääse nousemaan ja rakenne säilyttää kantokykynsä. Suojauspaksuus vaihtelee halutun palonkestoajan ja palonsuojamateriaalin mukaan. (Inha T. Rakenteellinen palomitoitus SFS-EN 1993-1-2 s.1)

Teräsputkiprofiileilla yksi vaihtoehtoinen palosuojaus on veden johtaminen putken sisälle. Tällöin teräsrakenteen lämpötila pysyy matalana, kun energia kuluu virtaavan veden lämmittämiseen.



Palanut teräsrakenne

(<http://yle.fi/elavaarkisto/kuvat/2013/img100078-previewImage.jpg>)

5.3 Puurakenne tulipalossa

Puu on palava materiaali. Sen syttymispiste on 250 – 300 °C. Palaessaan puun pintaan syntyy hiilikerros, joka hidastaa palon etenemistä. Normaali sahatavara hiiltyy 0,8 mm minuutissa, liimapuu ja lvl 0,7 mm/min. Puu siis suojaa tavallaan itse itseään palotilanteessa. Yleinen tapa tehdä palomitoitus on tarkistaa tietyn ajan palaneen poikkileikkauksen kantokyky palotilanteen kuormille. Kun tiedetään hiiltymisnopeus ja vaadittu palonkesto aika, saadaan helposti laskettua jäljelle jäävä poikkileikkaus. (Siikanen)

Puu voidaan myös palosuojata muulla materiaalilla. Kipsilevy on paljon käytetty puun suojaverhouksena. Palonsuoja-aineet ovat samoja, joita käytetään teräsrakenteiden suojaamiseen. Käytettäessä polttokokeilla testattuja rakenteita, ei puurakennetta tarvitse erikseen palomitoittaa, jos se on saanut riittävän paloluokan polttokokeen kautta.



Palanut puurakenne

(http://crop.kaleva.fi/5r7bfhwFQsCJCjJ-YXr-yBGS3Ao=/650x487/http%3A//kuvat.kaleva.fi/13222/8bfc629a-efc2-11e4-b5df-22000ac30663/xlarge-img_8692.jpg)

5.4 Betonin palomitoitus

Betonirakenteita voidaan mitoittaa palotilanteelle kolmella tapaa. Taulukkomitoituksessa betonipeitteen ja minimimittojen kautta saadaan rakenteelle vähimmäisdimensiot, jonka jälkeen voidaan suorittaa rakenteiden mitoitus normaaliin tapaan palotilanteen kuormille. Yksinkertainen laskennallinen taulukkomitoitus perustuu osin taulukoihin, sekä vyöhykemenetelmään, jossa palolle altistuneita vyöhykkeitä poistetaan käytöstä pienennyskertoimien avulla. Kolmas tapa on laskennallinen mitoitus, joka vaatii monimutkaisia laskelmia. Lisäksi voidaan käyttää tyyppihyväksytyjä ratkaisuja, jotka ovat selvitetty kokeellisesti ja/tai laskennallisilla menetelmin. (Inha T)

Mitoitustaulukoita on olemassa useampia erilaisia, mutta kaikista päästään samoihin betonipeitteisiin. Taulukkomitoitusta ei saa soveltaa jännitettyihin ontelolaattoihin. Taulukkoarvoihin on tehtävä korjaukset, jos terästen kriittinen lämpötila ylittyy. Yleensä tarkempia tarkasteluja ei lyhyessä taulukkomitoituksessa tehdä. Tällöin normaalilla har-

jateräksellä raja on 500 °C, jossa mitoitustaulukot toimivat. Jos betonipeitteen arvo ylittää 50mm, tulee rakenteeseen lisätä lohkeilua estävä raudoitus. Siihen käytetään teräsverkkoa, jonka lankapaksuus on vähintään 2,5mm ja jakoväli 50mm – 150mm. Lisäraudoituksen betonipeitteenä käytetään 15mm – 25mm ja se ankkuroidaan rakenteen sisään. (BY50)

5.4.1 Laskentaesimerkki

Tarkistetaan yksinkertaisella taulukkomitoituksella suorakaiteen muotoisen betonipalkin palonkestävyys.

Vapaasti tuetut teräsbetoni- tai jännebetonipalkit

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismäärät (mm)						
	Keskimääräinen kestäväisyyden a ja palkin leveyden b_{min} mahdolliset yhdistelmät				Uoman paksuus h_u		
					Luokka WA	Luokka WB	Luokka WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{\text{min}} = 80$ $a = 25$	120 20	160 15*	200 15*	80	80	80
R 60	$b_{\text{min}} = 120$ $a = 40$	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R 90	$b_{\text{min}} = 150$ $a = 55$	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R 120	$b_{\text{min}} = 200$ $a = 65$	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R 180	$b_{\text{min}} = 240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R 240	$b_{\text{min}} = 280$ $a = 90$	360 80	500 75	700 70	170	170	160

$a_{\text{ed}} = a + 10 \text{ mm}$ (ks. alla olevaa huomautusta)

Jännebetonipalkkeissa otetaan huomioon kestäväisyyden suurentaminen kohdan 5.2. (5) mukaisesti.

a_{ed} on nurkatekkojen (tai -jänneen tai -langan) kestäväisyys palkin struilla, kun saudoitus on yhdessä kerroksessa. Palkin leveyden b_{min} ollessa sarakkeen 4 mukaista arvoa suurempi ei kestäväisyyttä a_{ed} tarvitse suurentaa.

* Tarvittaessa standardin EN 1992-1-1 edellyttämä saudoituksen betonipeite on määrättävä.

Kuva 7. Vapaasti tuetun teräsbetonipalkin betonipeite ja palonkestävyys, (Inha T)

Kuormituksena omapaino $g_k=3,6 \text{ kN/m}^2$ ja luokka A:n hyötykuorma $q_k=2,0 \text{ kN/m}^2$. Palkin jänneväli $L=6,0\text{m}$. Kuormitusleveys on 4m. Normaalitilanteessa valittiin poikkileikkaukseltaan 280mm x 580mm kokoinen palkki, jonka pääteräksinä 3T16 ja betoniluokkana C25/30 (Mitoitettu TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy:n teräsbetonipalkin mitoitusohjelmalla). Kuten ylläolevasta taulukosta nähdään, betonipeite 30 mm riittää 280 mm leveällä palkilla R60-luokkaan. Siksi tarkistetaan betonipalkin kestävyys R120-luokassa.

Tämä vaatii 60 mm betonipeitettä. Tarkistetaan siis minkä raudoituksen palkki vaatii murtorajatilassa kyseessä olevalla betonipeitteellä. Tällöin palkin tehollinen korkeus $d=580\text{mm}-60\text{mm}-8\text{mm}-20\text{mm}/2=502\text{mm} \Rightarrow \sim 500\text{mm}$

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 500 \text{ N/mm}^2 / 1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = 0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2 / 1,5 = 14,2 \text{ N/mm}^2$$

$$E_d = 1,15G_k + 1,5Q_k$$

$$E_d = 1,15 \times 3,6 \text{ kN/m}^2 \times 4,0\text{m} + 1,5 \times 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 4,0\text{m} = 28,6 \text{ kN/m}$$

Mitoitusmomentti palkille on

$$M_{Ed} = E_d \times L^2 / 8$$

$$M_{Ed} = 28,6 \text{ kN/m} \times (6,0\text{m})^2 / 8 = 128,7 \text{ kNm}$$

Suhteellinen momentti on

$$\mu = M_{Ed} / (b \times d^2 \times f_{cd}) = 128,7 \text{ kNm} / (280\text{mm} \times (500\text{mm})^2 \times 14,2 \text{ N/mm}^2) = 0,13$$

Puristuspinnan tehollinen korkeus

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,13} = 0,14$$

Sisäinen momenttivarsi

$$z = d(1 - \beta/2) = 500\text{mm} \times (1 - 0,14/2) = 465\text{mm}$$

Tarvittava pääraudoituksen pinta-ala on

$$A_s = M_{Ed,fi} / z f_{yd} = 128,7\text{kNm} / 465\text{mm} \times 435 \text{ N/mm}^2 = 636\text{mm}^2 \Rightarrow \text{valitaan raudoitukseksi 3T20 joka on } 942\text{mm}^2 \text{ harjaterästä.}$$

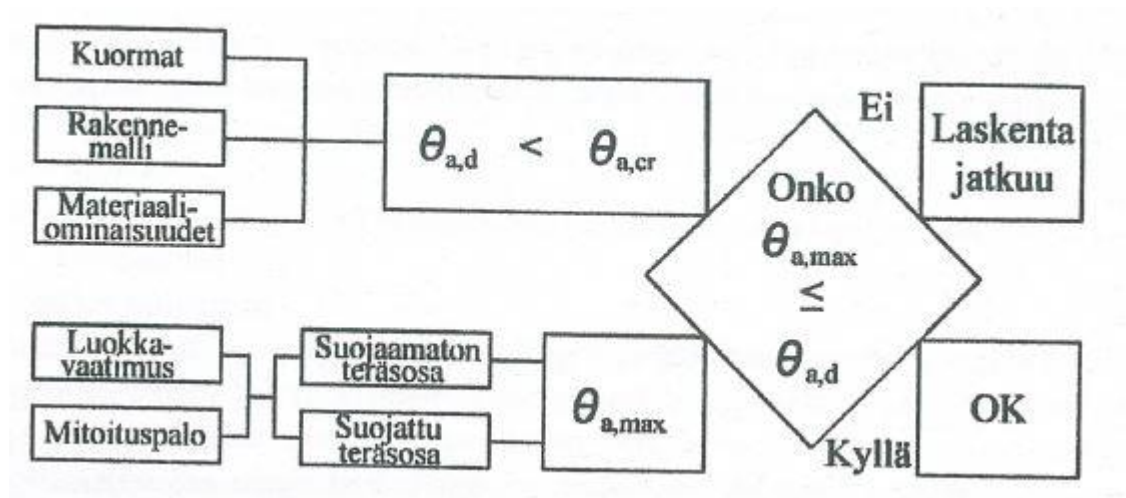
Palkki 280mmx580mm 3T20 raudoituksella ja 60mm suojabetonipeitteellä kestää hyvin palotilanteen kuormat ja on optimaalisin mitoitus normaalin murtorajatilamitoituksen mukaan tähän tarkoitukseen. Huomataan siis että betonin palosuojaus tässä tapauksessa onnistuu lisäämällä betonipeitteen paksuutta, joka aiheuttaa raudoituksen koon kasvattamista.

5.5 Teräksen palomitoitus

Mitoituksella varmistetaan että rakenne kestää vaaditun palonkestoajan. Se tehdään taukkomitoituksena, yksilöllisenä laskennallisena mitoituksena, tai näiden yhdistelmänä. Laskennallinen mitoitus on tarkin, ja sillä pyritään taloudellisiin säästöihin materiaalipaksuuksien kautta. Mitoitus yleensä suoritetaan seuraavaa kaavaa noudattaen, jossa $\theta_{a,d}$ = mitoituslämpötila

$\theta_{a,cr}$ = kriittinen lämpötila

$\theta_{a,max}$ = maksimilämpötila



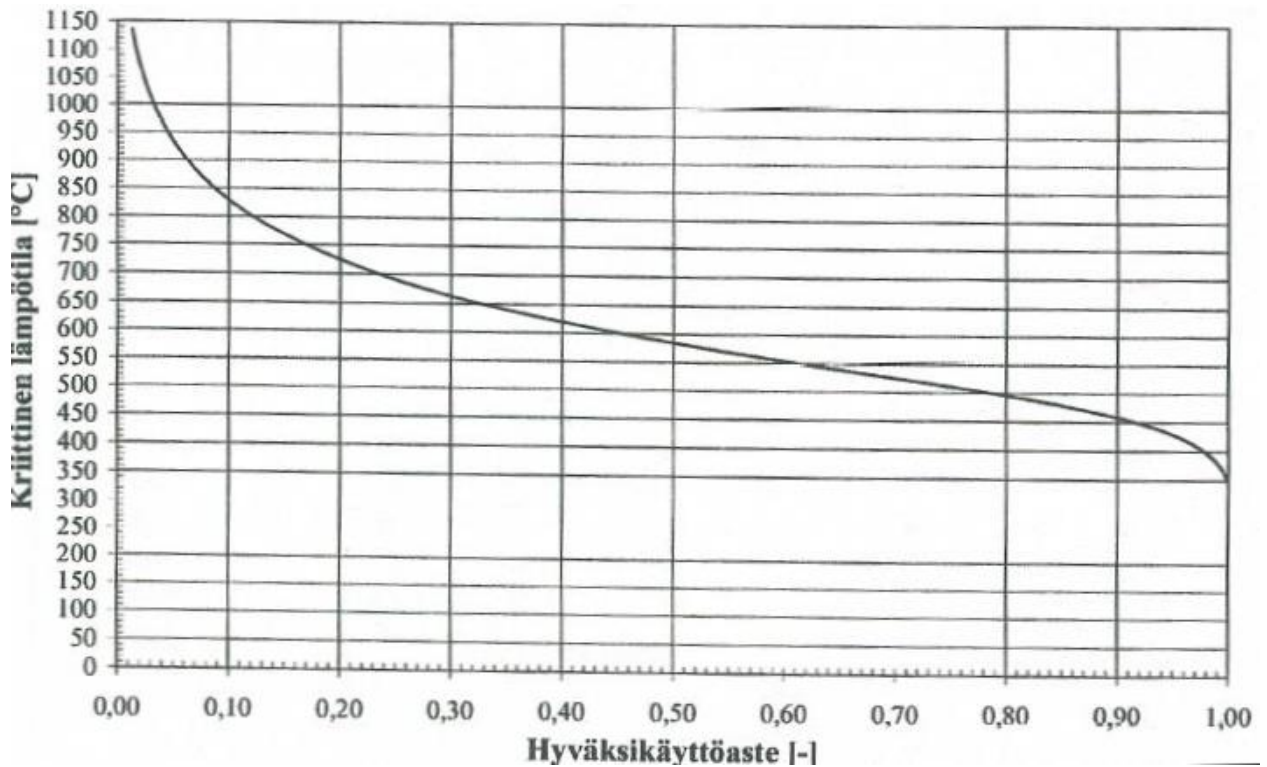
Kuva 8. Teräsrakenteiden palomitoitus (Inha T. s.51)

Toinen vaihtoehto on määrittää kriittinen lämpötila ja rakenteen hyväksikäyttöaste palotilanteen kuormien ja murtorajatilan kantavuuden perusteella. Kriittinen lämpötila määrittyy rakennemallin, materiaaliominaisuuksien ja kuormien perusteella. Kun tiedossa on palotilanteen kuormien hyväksikäyttöaste, saadaan kuvan 8 kuvaajasta määritettyä kriittinen lämpötila, jonka kautta saadaan vaadittu suojaustaso.



Teräksen palosuojaus mineraalivillalla

(http://www.palokatko.com/www/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=10)



Kuva 9. Teräksen kriittinen lämpötila hyväksikäyttöasteen funktiona, (Inha T.)

Teräsojan lämpötilan kohoamiseen vaikuttaa poikkileikkaustekijä A_p/V , jossa A_p = palonsuojauksen palonvastainen pinta-ala tai piiri (jos poikkileikkaus on vakio), ja V =tilavuus tai pinta-ala. Poikkileikkaustekijöitä on taulukoitu valmiiksi eri teräsprofiileille koon mukaan.

5.5.1 Laskentaesimerkki

Seuraavassa esitetään esimerkkilaskenta taivutetun HEA200 – palkin palonsuojauksesta, kun vaadittu paloluokka on R60. Palkki on kolmelta sivulta alttiina palolle. Lasketaan nivelisesti tuetun teräspalkin palonsuojaus, kun jänneväli $L=6,0\text{m}$. Palkki on teräslaatua S355J2G3. Kuormituksena omapaino $g_k=3,6\text{ kN/m}^2$ ja luokka A:n hyötykuorma $q_k=2,0\text{ kN/m}^2$. Kuormitusleveys on 4m, kuten aikaisemmin.

$$E_{d,fi} = G_k + \sum (\Psi_{fi} \times Q_{k,fi})$$

$$E_{d,fi} = 3,6\text{ kN/m}^2 \times 4,0\text{m} + 0,3 \times 2,0\text{ kN/m}^2 \times 4,0\text{m} = 16,8\text{ kN/m}$$

Palotilanteen mitoitusmomentti palkille on

$$M_{Ed,fi} = E_{d,fi} \times L^2/8$$

$$M_{Ed,fi} = 16,8\text{ kN/m} \times (6,0\text{m})^2 / 8 = 75,6\text{ kNm}$$

Palkin kestävyys normaalilämpötilassa:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \times f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,Rd} = 429500 \text{ mm}^3 \times 355 \text{ N/mm}^2 / 1,0 = 152,5 \text{ kNm}$$

Saadaan rakenteen hyväksikäyttöasteeksi


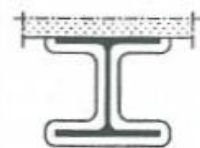

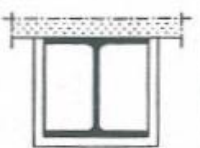
$$\mu_0 = M_{Ed,fi} / M_{pl,Rd} = 75,6 \text{ kNm} / 152,5 \text{ kNm} =$$

$$\mu_0 = 75,6 \text{ kNm} / 152,5 \text{ kNm} = 49,6 \%$$

Käyttöasteen perusteella saadaan käyrästä (Kuva 9) kriittinen lämpötila $\theta_{a,cr} = 590 \text{ }^\circ\text{C}$.

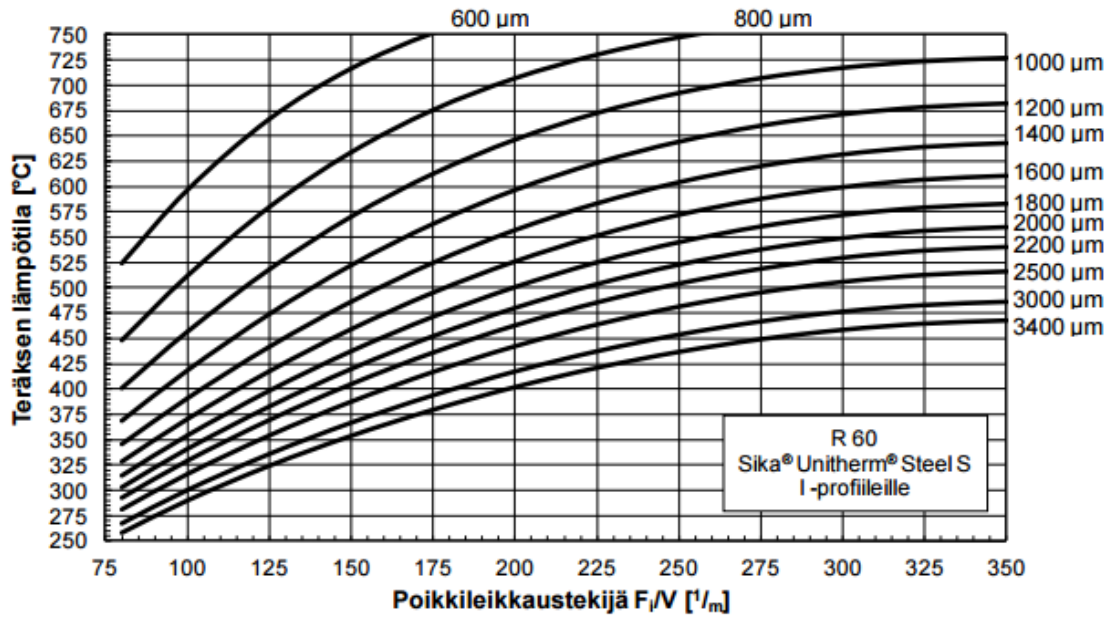
Eli kun teräksen lämpötila on $590 \text{ }^\circ\text{C}$, sen kapasiteetista on jäljellä vielä n. 50% ja se vielä kestää.

Taulukko 8.2 HEA-profiilien A_m/V ja A_p/V -arvot, kun profiili on palolle alttiina kaikista suunnista tai vain kolmesta suunnasta.

HEA				
	A_m/V ja A_p/V [m ⁻¹]	A_m/V ja A_p/V [m ⁻¹]	A_p/V [m ⁻¹]	A_p/V [m ⁻¹]
100	264,8	217,6	184,9	137,7
120	267,7	220,3	185,0	137,5
140	253,0	208,4	173,9	129,3
160	233,6	192,3	160,8	119,6
180	226,1	186,4	155,0	115,2
200	211,2	174,0	145,0	107,8
220	195,2	161,0	133,7	99,5
240	178,2	147,0	122,4	91,1
260	170,9	141,0	117,5	87,6
280	164,7	136,0	113,1	84,3
300	152,6	125,9	104,9	78,2
320	141,1	117,0	98,1	74,0
340	134,4	112,0	94,4	71,9

Kuva 10. Poikkileikkaustekijät HEA-profiileille, (Inha T.)

Käytettäessä palosuojamaalia HEA200-palkin poikkileikkaustekijä on $174,0 \text{ m}^{-1}$ ja kriittinen lämpötila $590 \text{ }^\circ\text{C}$ saadaan kuvasta 11 vaadittu palosuojamaalin paksuus, joka on $1200 \text{ } \mu\text{m}$.



Kuva 11. Sika Unitherm Steel S mitoituskäyrä I-profiileille (TRY-104-2009)

5.6 Puun palomitoitus

Koska puu on luonnonmateriaali ja sen muodostumiseen ei voida vaikuttaa, siinä voi olla heikkoja kohtia seassa. Tämän vuoksi puuta käsitellään normaalitilanteessa 5% fraktiilin mukaan, eli lujuusarvot annetaan siten, että vain 5% alittaa annetun lujuusarvon. Tällä keinolla saadaan lisää varmuutta laskentaan.

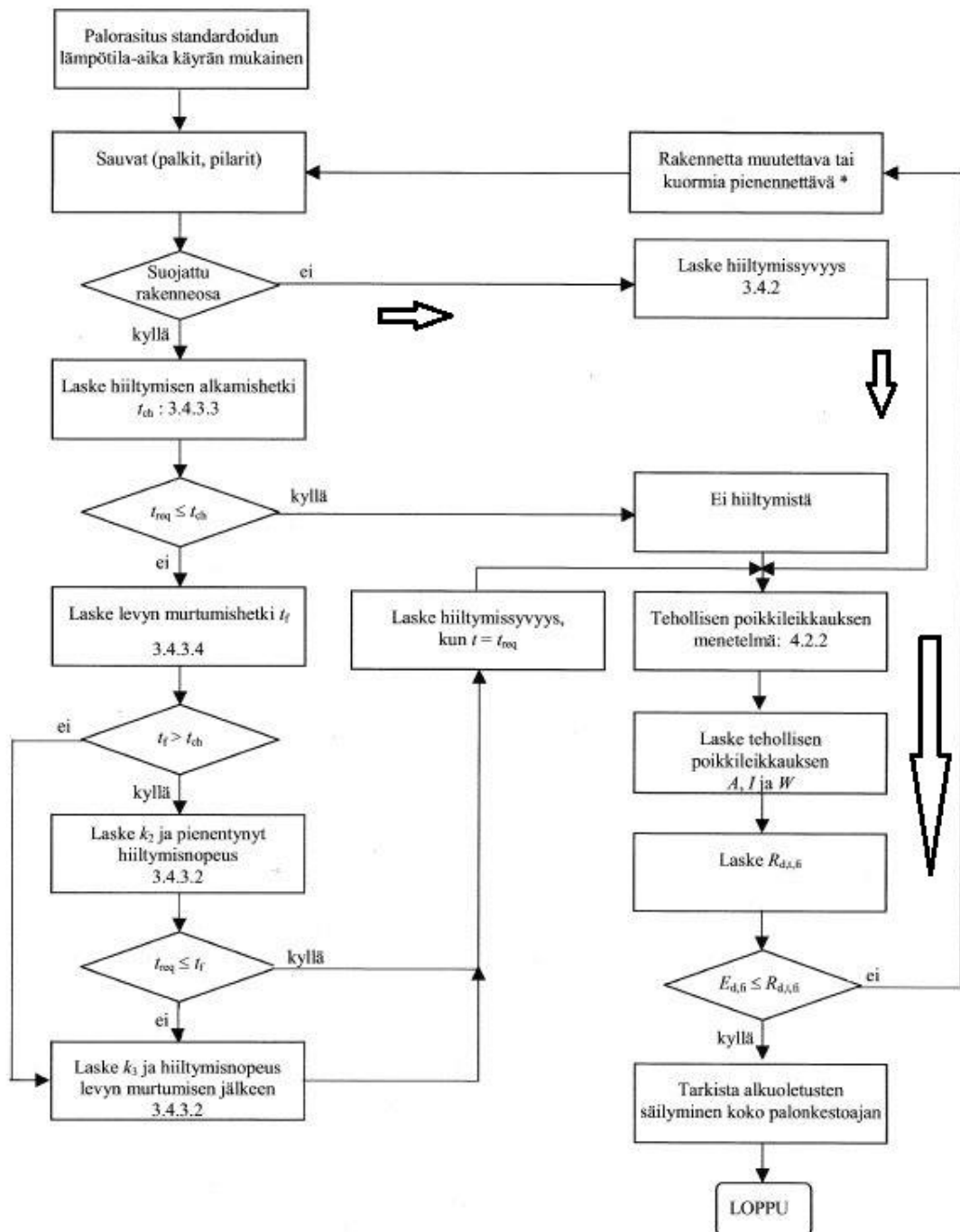
Palomitoitustilanteessa käytetään puulle kuitenkin 20% fraktiilia, joka käytännössä tarkoittaa puun lujuusarvojen nostamista. Lisäksi palotilanteen varmuuskerroin on 1,0. Palomitoituksessa ei tarvitse huomioida syitä vastaan kohtisuoraa puristusta. Lisäksi jos on kyseessä suorakaide- tai pyöreä poikkileikkaus, ei leikkausmitoitusta tarvitse tehdä. Kiepahdus- tai nurjahdustukien menettäessä riittävän kapasiteettinsa, mitoitus tehdään ilman näitä tukia. (RIL-205-2-2009)

Puurakenteissa liitokset ovat heikko lenkki. Yleisimmille liitoksille sallitaan enintään 30 minuutin palonkesto-aika, ilman erillistä suojausta. Tappivaarna-, naula- ja ruuviliitoksien palonkesto-aikaa pidennetään kasvattamalla sivukappaleen mittoja, sekä reuna- ja päätte-etäisyyksiä liittimiin. Tällöin liittimissä ei saa olla ulkonevia kantoja. (Inha T.)

5.6.1 Laskentaesimerkki

Puurakenteiden palomitoituksessa voi edetä seuraavan kulkukaavion mukaan.

A.1 PALKKIEN JA PILARIEN PALOMITOITUS



Kuva 12. Palkkien ja pilarien palomitoitus (RIL 205-2-2009, s.66)

Seuraavassa esitetään yksinkertainen esimerkkilaskenta taivutetun liimapuupalkin palomitoituksesta kun vaadittu paloluokka on R60, yllä olevan kaavion (kuva 12) mukaan.

Palkki on kolmelta sivulta alttiina palolle. Lasketaan nivelisesti tuetun palkin palonkestoa, kun jänneväli $L=6,0\text{m}$ ja normaalimitoituksella saatu poikkileikkaus $190\text{mm} \times 585\text{mm}$ (Finnwood – mitoitusohjelma). Palkki on lujuusluokkaa GL30c. Kuormituksena omapaino $g_k=3,6\text{ kN/m}^2$ ja luokka A:n hyötykuorma $q_k=2,0\text{ kN/m}^2$. Kuormitusleveys on 4m .

$$E_{d,fi} = G_k + \sum (\Psi_{fi} \times Q_{k,fi})$$

$$E_{d,fi} = 3,6\text{ kN/m}^2 \times 4,0\text{m} + 0,3 \times 2,0\text{ kN/m}^2 \times 4,0\text{m} = 16,8\text{ kN/m}$$

Palotilanteen mitoitusmomentti palkille on

$$M_{Ed,fi} = E_{d,fi} \times L^2/8$$

$$M_{Ed,fi} = 16,8\text{ kN/m} \times (6,0\text{m})^2 / 8 = 75,6\text{ kNm}$$

$$d_{ef} = d_{char} + t/20 \times 7\text{mm}$$

60 minuutin jälkeen poikkileikkausta on jäljellä:

$$b_{fi} = b - 2 \times d_{ef} = 190\text{mm} - 2 \times (60 \times 0,7\text{mm} + 60/20 \times 7\text{mm}) = 64\text{mm}$$

$$h_{fi} = h - d_{ef} = 585\text{mm} - (60 \times 0,7\text{mm} + 60/20 \times 7\text{mm}) = 522\text{mm}$$

$$W_{fi} = b \times h^2/6 = 64\text{mm} \times (522\text{mm})^2 / 6 = 2906496\text{ mm}^3$$

$$\sigma_{fi} = M_{Ed,fi} / W_{fi} = 75,6 \times 10^6\text{ Nmm} / 2906496\text{ mm}^3 = 26,01\text{ N/mm}^2$$

$$f_{20} = k_{fi} \times f_{m,k} = 1,15 \times 30\text{ N/mm}^2 = 34,5\text{ N/mm}^2$$

Kiepahdustarkastelusta saadaan k_c – kertoimeksi $0,9$, joten käytetään lujuusarvona

$$f_{fi} = k_c \times f_{20} = 0,9 \times 34,5\text{ N/mm}^2 = 31,0\text{ N/mm}^2 > \sigma_{fi} = 26,01\text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{Palkki kestä } 60\text{ minuutin palon sortumatta.}$$

Kuten aikaisemmin todettiin, liitokset saadaan kestäämään vain 30 minuuttia, joten ne täytyy aina tarkastella erikseen.

Vaihtoehtoina on myös suojata rakenne osaksi ajaksi, tai kokonaan. Osittain suojatun rakenteen palonkestoa lasketaan suojauksen pettämisen ja sen jälkeisen poikkileikkauksen hiiltymisen yhdistelmänä.

6 Paloturvallisuus ja korjausrakentaminen

Korjausrakentamisessa ei noudateta RakMK E1 mukaisia määräyksiä, koska tällöin kustannukset monesti nousisivat kohtuuttoman kovalle tasolle. Myöskään yleispäteviä määräyksiä ei ole voitu antaa, koska Suomen rakennuskanta on niin monipuolista ja erikäistä. Tästä johtuen paloturvallisuudessa pyritään korjauksen laajuudesta riippuen mahdollisimman lähelle uudisrakennuksen vaatimustasoa. Vaatimuksista keskustellaan aina paloviranomaisen kanssa hankkeen suunnitteluvaiheessa. (Sten T.)

Palomääräykset ovat vuosien varrella muuttuneet useaan otteeseen Suomessa. Siksi korjausrakentamisessa on syytä tuntea vanhoja määräyksiä ja rakennustapoja. Korjausrakentamisen pääperiaate on että vanhaa rakennusta korjataan sen rakennusvuoden määräyksiä noudattaen. Tosin, jos käyttötarkoitus muuttuu riskialttiimpaan suuntaan, jolloin paloluokka muuttuu, niin tällöin noudatetaan uudisrakennuksen mukaisia määräyksiä. (Rakennusten paloturvallisuus & paloturvallisuus korjausrakentamisessa)

Työnaikaisessa paloturvallisuudessa noudatetaan pelastuslakia. Siihenkään ei ole olemassa yleisohjeita. Yleensä suuremmissa kohteissa, joista osa on käytössä korjaustyön aikana, käydään paloviranomaisen kanssa läpi riskit ja niiden minimointi. Tällöin on mahdollista lisätä työnaikaista paloilmoitinlaitteistoa tai automaattista palonilmoittimia. Täytyy myös varmistaa, ettei poistumisteitä tukita, tai jos näin käy, niin huolehditaan korvaavien poistumisteiden järjestämisestä. Kohteet käydään läpi aina erityistapauksina ja niissä noudatetaan erikseen sovittuja toimintamalleja. (Sten T.)

Korjausrakentamisessa ongelmaksi voivat muodostua käyttötavan muutos, ja siitä aiheutuvat muutokset palotekniseen mitoitukseen. Esimerkkinä liiketilojen korjausrakentaminen, jossa tilaan tulee erilainen liike. Tämä voi muuttaa palokuormaa, joka vaikuttaa paloluokkaan. Tällöin joudutaan tekemään kantavuustarkasteluja vanhaan rakenteseen, joka voi olla haastavaa, sillä läheskään aina vanhoista kohteista ei ole saatavilla kunnollisia rakennekuvia, joiden pohjalta voisi analysoida kantavuutta. Tässä kohtaa on jälleen turvauduttava muihin keinoihin ja neuvoteltava viranomaisten kanssa poikkeusjärjestelyistä. Lähtökohtana kuitenkin on, että käyttötavan muutos vaatii uudismääräysten noudattamista.

Toinen ongelma syntyy, kun isommasta liiketilasta lohkotaan pienempiä liiketiloja ja aloitetaan osastoivien seinien rakentaminen. Hankaluutena on riittävän tiiviiden saavuttaminen liittyessä jo olemassa oleviin rakenteisiin. Lisäksi yleensä lohkottaessa ulokäytävien määrä voi tippua. Ihmisten turvallisuus ei saa vaarantua, joten tällaiset puutteet on korvattava jotenkin.

Korjausrakentaminen on aina oma lukunsa, jossa pyritään parhaaseen mahdolliseen ratkaisuun. Siinä on tehtävä erityisen tarkkaa yhteistyötä viranomaisten ja suunnittelijoiden välillä ja haettava toimivimmat kompromissit rakentamiseen.

7 POHDINTA

Yhteenvedona voidaan todeta, että rakenteellinen palosuojaus ja palomitoitus on moniulotteinen osa rakenteiden suunnittelua. Tämä vaatii tarkkaa perehtymistä pykäliin ja neuvottelua usean osapuolen kanssa. Kuten kaikki muukin suunnittelu, vaatii tämäkin osa-alue yhteistyötä ja kompromisseja, jotta päästään parhaaseen ratkaisuun.

Tulipalo voi monesti olla rakenteen elinkaaren loppu vauriosta ja sen laajuudesta riippuen. Rakenteiden muodonmuutokset ovat kovassa tulipalossa yleensä niin suuria, että niitä ei enää pystytä käyttämään. Lisäksi kantavuus on todennäköisesti laskenut niin paljon, että vanhaa kuormaa murtorajatilassa ei pystytä enää kantamaan. Halkeamat tiputtavat materiaalista riippumatta rakenteen kantokykyä. Jos säästytään pelkillä savuvaurioilla, voidaan rakenne ottaa vielä käyttöön. Tällöinkin pitää varmistua, että rakenne varmasti kantaa.

Mitoituksessa voidaan oikaista, ja käyttää yksinkertaistettuja taulukoita. Tämä tuottaa kuitenkin reilusti varmallalla puolella olevan suojauksen, joka voi suuressa kohteessa aiheuttaa kohtuuttomia kustannusvaikutuksia. Onkin aina tapauskohtaisesti arvioitava tarkan mitoituksen, palosimuloinnin ja taulukkomitoituksen välillä oikea ja kustannustehokas tapa hoitaa kohteen paloturvallisuus. Saadaanko suurimmat kustannussäästöt ajan käytöllä suunnittelupöydän ääressä, vai tekemällä riittävällä varmuudella ja nopealla aikataululla? On osa ammattitaitoa osata arvioida kyseiset asiat riittävän tarkasti.

Tilajayritys on kooltaan pieni yritys. Tästä johtuen yritys ei pysty toteuttamaan kooltaan suurien kohteiden toteuttamista rajallisen kapasiteetin takia. Siksi myöskään kovin tarkat laskennalliset analyysit palomitoituksessa eivät ole kannattavia. Pienissä kohteissa ei pystytä tarkkaan palomitoitukseen käytettyä aikaa ja rahaa säästämään materiaaleissa tai muissa työvaiheissa. Siksi lyhyet ja yksinkertaiset varmallalla puolella olevat ja nopeasti tehtävät tarkistukset ovat kannattavampia. Tästä työstä saa helpot avut siihen ja työ voi toimia pikaoppaana helppoon palomitoitukseen.

LÄHTEET

Finanssialan keskusliitto, tilastotietoja palovahingoista, luettu 12.3.2015
<http://www.fkl.fi/teemasivut/vahingontorjunta/palovahingot/Sivut/default.aspx>

Gyproc, palosivusto, luettu 19.1.2015
<http://www.gyproc.fi/suunnittelu/palosivusto>

RIL 195-2-2005, Rakenteellinen paloturvallisuus, Tuotanto- ja varastorakennukset.
Suomen rakennusinsinöörien liitto, Helsinki, 2005

Siikanen U. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Puurakennuksen palotekninen suunnittelu, luentomateriaali

Inha T. RTEK-3541, Rakenteiden palomitoitus, TTY luentomateriaali

TRY-104-2009, Varmennettu käyttöseloste, Sika Unitherm Steel S -palosuojamaali

Haastattelu Sten Tapio 7.4.2015, haastattelija Jussi-Petteri Syvänen

Ympäristöministeriö. 1998. Rakennusten paloturvallisuus & paloturvallisuus korjauskentämissä. Helsinki. Oy Edita Ab

Suomen betoniyhdistys r.y. Betoninormit 2012, BY50,

RIL 205-2-2009, Puurakenteiden suunnitteluohje, Suomen rakennusinsinöörien liitto, Helsinki, 2006

