

Tekniikka

Palopäälystön koulutusohjelma

PALON LEVIÄMISEN ESTÄMISEN ERITYISPIIRTEET YLIKORKEISSA
RAKENNUKSISSA

Niko Kauranen

SAVONIA – AMMATTIKORKEAKOULU - TEKNIikka, KUOPIO		
Koulutusohjelma Palopäällystön koulutusohjelma		
Tekijä Niko Kauranen		
Työn nimi Palon leviämisen estämisen erityispiirteet ylikorkeissa rakennuksissa		
Työn laji	Päiväys	Sivumäärä
Opinnäytetyö	11.4.2013	80 + 5
Työn valvoja	Yrityksen yhdyshenkilö	
Vanhempi opettaja Kimmo Vähäkoski	DI Juha-Pekka Laaksonen	
Yritys L2 Paloturvallisuus Oy		
Tiivistelmä		
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia palon leviämisen estämisen erityispiirteitä ylikorkeissa rakennuksissa. Tutkimuskohteena olivat korkeat ja ylikorkeat rakennukset. Rakennuksen määrittäminen korkeaksi tai ylikorkeaksi rakennukseksi ei ole paloteknisessä mielessä aivan yksioikoista, mutta Suomen rakentamismääräyskokoelman näkökulmasta sellaisena voidaan pitää yli 16-kerroksista rakennusta.</p> <p>Korkeista rakennuksista on Suomessa vasta vähän kokemuksia, eikä siten niiden erityispiirteitä ole huomioitu nykyisissä Suomen rakentamismääräyksissä. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Suomen rakentamismääräysten kattavuus korkean rakennuksen suunnittelussa sekä löytää ongelmakohtat, joita Suomen rakentamismääräyskokoelma ei kata. Tutkimuksen tuloksena löydettiin korkeissa rakennuksissa esiintyviä palon leviämisen erityispiirteitä ja arvioitiin niiden vaikutusta rakennusten palonkestoon. Tunnistettujen erityispiirteiden aiheuttamiin ongelmiin etsittiin ratkaisuja ulkomaisista suunnitteluohjeista ja viimeisimmistä tutkimustuloksista. Lisäksi työssä otettiin lähempään tarkasteluun ulkokautta leviävä palo ja toimet sen estämiseksi.</p> <p>Tutkimuksessa todettiin korkeiden rakennusten vaativan erityistä paloturvallisuussuunnittelua, jonka perustana on hyvä käyttää rakentamismääräyskokoelman taulukkoarvoja ja täydentää niitä tarvittavin osin oletettuun palonkehitykseen perustuvalla suunnittelulla. Lisäksi ulkomaisten suunnitteluohjeiden todettiin olevan käyttökelpoisia työkaluja korkeiden rakennusten suunnittelussa Suomessa.</p>		
Avainsanat korkea rakennus, ylikorkea rakennus, palon leviäminen		
Luottamuksellisuus julkinen		

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES SCHOOL OF ENGINEERING, KUOPIO Degree Programme Fire Officer (Engineer)		
Author Mr Niko Kauranen		
Title of Project Unique features of preventing fire spread in high-rise buildings		
Type of Project	Date	Pages
Final Project	11th April 2013	80 + 5
Academic Supervisor	Company Supervisor	
Mr Kimmo Vähäköski Senior Instructor	Mr Juha-Pekka Laaksonen, M.Sc.	
Company L2 Fire Safety Ltd		
Abstract <p>The aim of this thesis was to study unique features of preventing fire spread in high-rise buildings. The subjects of the study were tall and high-rise buildings. Defining a building tall or high-rise is not quite simple from fire technical point of view, but based on the National Building Code of Finland a building with more than 16 floors can be thought as a high-rise building.</p> <p>Tall buildings are quite rare in Finland, and thus their special characteristics have not been considered in current Finnish Building Regulations. The objective of the study was to find out how well Finnish Building Regulations cover designing of a tall building and to point out the parts that the National Building Code of Finland does not cover. Special characteristics of fire spreading in a tall building were found as a result of the study, and their impact on buildings' fire resistance was estimated. Solutions to the problems caused by the recognized special characteristics were looked both from foreign design instructions and from the latest research results. In addition to that a tighter focus was put on fire spreading through facade and finding the preventing actions to it.</p> <p>The study showed that tall buildings require special fire safety designing, which should be based on the prescriptive codes of the National Building Code of Finland. Those should be complemented with performance based design on essential parts. Furthermore foreign design instructions were found to be usable tools when designing tall buildings in Finland.</p>		
Keywords tall building, high-rise building, fire spread		
Confidentiality public		

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	7
LYHENTEET	9
MÄÄRITELMÄT	10
1 JOHDANTO	12
1.1 Selvityksen tausta.....	12
1.2 Selvityksen tavoite	12
1.3 Selvityksen rajaus	13
1.4 Selvitysmenetelmät.....	13
1.5 Society of Fire Protection Engineers	13
1.5.1 Society of Fire Protection Engineers 9th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Desing Methods.....	14
1.5.2 Society of Fire Protection Engineers Case Study	14
1.6 Korkea ja ylikorkea rakennus	15
2 PALON LEVIÄMISEN ESTÄMINEN YLIKORKEISSA RAKENNUKSISSA	16
2.1 Olennaiset vaatimukset ja vaatimuksen täyttämisen osoittaminen ylikorkeissa rakennuksissa	16
2.1.1 Suomen määräykset	17
2.1.2 Ulkomaiset määräykset.....	18
2.1.3 Erityispiirteet.....	20
2.1.4 Case Study.....	23
2.2 Palon rajoittaminen palo-osastoon.....	27
2.2.1 Suomen määräykset	27
2.2.2 Ulkomaiset määräykset.....	28
2.2.3 Erityispiirteet.....	29
2.2.4 Case Study.....	31
2.3 Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen	33
2.3.1 Suomen määräykset	33
2.3.2 Ulkomaiset määräykset.....	35
2.3.3 Erityispiirteet.....	38
2.3.4 Case Study.....	39
2.4 Palon leviämisen estäminen osastosta	39
2.4.1 Palon leviäminen ulkokautta	39
2.4.2 Happirajoitteinen huonetilan palo	41

2.4.3	Vapaasti palavan huonetilan palo.....	46
2.4.4	Yhteenveto palon leviäminen ulkokautta.....	51
2.4.5	Erytispiirteet.....	52
2.4.6	Suomen määräykset	59
2.4.7	Ulkomaiset määräykset.....	59
2.4.8	Case Study Palon leviäminen ulkokautta.....	61
2.4.9	Case Study palon leviäminen sisäkautta	65
2.5	Sammutus- ja pelastustehtävien järjestely	67
2.5.1	Suomen määräykset	67
2.5.2	Ulkomaiset määräykset.....	68
2.5.3	Erytispiirteet.....	68
2.5.4	Case Study Sammutus- ja pelastustehtävien järjestely	69
3	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	70
3.1	Olenaiset vaatimukset.....	70
3.2	Palon rajoittaminen palo-osastoon.....	71
3.3	Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen	72
3.4	Palon leviämisen estäminen osastosta	72
3.5	Sammutus- ja pelastustehtävien järjestely	73
4	POHDINTA	74
5	LÄHDELUETTELO.....	76
6	LIITTEET	80

KUVALUETTELO

Kuva 1. ISO 834 lämpötila-aikakäyrä (Standard Fire Curve) ja todellisten palojen lämpötila-aikakäyriä.....	22
Kuva 2. Lasirakenne EN-standardin mukaisessa palonkestävyyskokeessa	23
Kuva 3. ”Kenkähyllypalon” palamisnopeus-/aikakäyrä.....	25
Kuva 4. Palosimuloinneissa käytetty 98 kerroksen ravintolan paloteho.	26
Kuva 5. Ravintola ennen poistumisen alkamista.....	32
Kuva 6. Poistumisen vaihe ravintolassa 600 sekuntia hälytyksestä.	33
Kuva 7. Esimerkkitapauksen toimistohuone.	40
Kuva 8. Palotilasta uloslyövä liekki.	43
Kuva 9. Happirajoitteisen palon uloslyövän liekin dimensiot.....	45
Kuva 10. Vapaasti palavan palon uloslyövän liekin dimensiot.....	48
Kuva 11. Vapaasti palavan palon uloslyövän liekin lämpötilat keskiakselilla.....	50
Kuva 12. Ulkokautta levinnyt palo korkeassa rakennuksessa.....	53
Kuva 13. Normaali paine-ero	54
Kuva 14. Käänteinen paine-ero	55
Kuva 15. Ontelotilan palon ehkäisykeinot aikajärjestyksessä.....	56
Kuva 16. Kaksoisjulkisivu ja sen viereinen huone.....	57
Kuva 17. Kaksoisjulkisivun välitila; lasipintojen väliin asennettu sälekaihtimet	57
Kuva 18. Palon leviäminen kaksoisjulkisivun kautta.....	58
Kuva 19. Tyypilliset palo-osastoivan rakenteen läpiviennit.....	60
Kuva 20. Toimistohuoneen palo 668 sekuntia palon alkamisesta.....	62
Kuva 21. Lämpötilan kuvaaja 665 sekunnin kuluttua palon alkamisesta.....	62
Kuva 22. Lämpösäteilylle altistuva ulkoseinä.....	63
Kuva 23. Teknisten kerrosten sijainti rakennuksessa.....	64
Kuva 24. Case Study Kauppakeskus 1-5 kerrokset.....	66

SYMBOLILUETTELO

Latinalaiset isot kirjaimet

A_f	palotilan lattiapinta-ala
A_t	vaipan kokonaispinta-ala (seinät, katto ja lattia aukot mukaan luettuna)
A_v	kaikissa seinissä olevien pystyaukkojen kokonaispinta-ala
D	palotilan vaakamitta
H	palolähteen ja sisäkaton välinen etäisyys
L_f	liekin pituus akselia pitkin
L_H	liekin vaakaprojektio (julkisivusta)
L_L	liekin korkeus (ikkunan yläosasta)
L_x	akselin pituus ikkunasta pisteeseen, jolle laskenta suoritetaan
O	palotilan aukkotekijä
Q	lämmönluovutusnopeus palossa
T_0	alkulämpötila (= 293 [K])
T_f	palotilan lämpötila [K]
T_w	liekin lämpötila ikkunan kohdalla [K]
T_z	liekin lämpötila pitkin akselia [K]
W	yhden tai useita ikkunoita käsittävän seinän pituus (W_1 ja W_2)
W_1	suurimman ikkunapinta-alan käsittävän seinän 1 pituus
W_2	palotilan sen seinän pituus, joka on kohtisuorassa seinää vasten, jonka pituus on W_1

Latinalaiset pienet kirjaimet

g	maan vetovoiman kiihtyvyys
h_{eq}	kaikkien seinien ikkunoiden korkeuksien painotettu keskiarvo
$q_{f,d}$	palokuorman tiheyden mitoitusarvo lattiapinta-alaa A_f kohti
q_f	palokuorma lattiapinta-alaa A_f kohti
w_t	kaikkien seinien ikkunoiden leveyksien summa

Kreikkalaiset isot kirjaimet

Ω	$(A_f * q_{f,d}) / (A_v * A_t)^{1/2}$
----------	---------------------------------------

Kreikkalaiset pienet kirjaimet

ε_f	liekkien tai palon säteilykerroin
ρ_g	sisäpuolisen kaasun tiheys
σ	Stefan-Boltzmanin vakio ($= 5,67 * 10^{-8}$ [W/m ² K ⁴])
τ_F	vapaasti kehittyvän palon kesto (sen oletetaan olevan 1200 [s])

LYHENTEET

A2	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa A2, Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat, määräykset ja ohjeet 2002
CEN	European Committee for Standardization
E1	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E1, Rakennusten paloturvallisuus määräykset ja ohjeet 2011
FDS	Fire Dynamics Simulator
HHR	Heat release rate (lämmönluovutusnopeus, palamisnopeus, paloteho)
IBC	International Building Code
ISO	International Organization for Standardization
MRA	Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999 (1829/2009)
MRL	Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 (319/2011)
NFPA	National Fire Protection Association
SFPE	Society of Fire Protection Engineers
SRMK	Suomen rakentamismääräyskokoelma
VTT	Valtion teknillinen tutkimuslaitos
YO 39	Ympäristöopas 39, Rakennusten paloturvallisuus & Paloturvallisuus korjausrakentamisessa

MÄÄRITELMÄT

Aktiivinen palontorjunta järjestelmä

Järjestelmä tai laite, joka on suunniteltu toimimaan palotilanteessa, kuten palonilmaisimet, hälytys-, sammutus-, poistumisvalaistus- ja savunpoistojärjestelmät.

Atriumtila

Laaja useita kerroksia korkea avoin tila.

Automaattinen paloilmoitin

Laitteisto, joka automaattisesti ja välittömästi ilmoittaa alkavasta palosta. Paloilmoitin antaa myös ilmoituksen sen toimintavarmuutta vaarantavista vioista.

Automaattinen sammutuslaitteisto

Tulipalon sammutukseen tarkoitettu automaattisesti toimiva laitteisto.

Kaksoisjulkisivu

Kaksoisjulkisivu koostuu kahdesta julkisivupinnasta, joita erottaa ilmatila.

Kokonaistoimintavalmiusaika

Aika joka kuluu seuraaviin toimenpiteisiin: onnettomuuden havaitseminen, hätäpuhelun vastaanottaminen, pelastusyksiköiden hälyttäminen, lähtöaika 60s, ajoaika onnettomuuspaikalle, onnettomuuden vaatimat toimenpiteet (mm. kaluston selvitys).

Lieskahdus

Rajatussa tilassa olevien palavien tarvikkeiden kaikkien pintojen nopea syttyminen.

Mitoituspalo

Mitoitusta varten oletettu palon kehittymisen määrittely.

Pelastustoiminnan toimintavalmiusaika

Aika, joka kuluu seuraaviin toimenpiteisiin: hätäpuhelun vastaanottaminen, pelastusyksiköiden hälyttäminen, lähtöaika 60s, ajoaika onnettomuuspaikalle.

Passiivinen palontorjunta järjestelmä

Paloturvallisuuden takaamiseksi tehty kiinteä rakenne tai järjestely, kuten palo-osastointi ja rakenteellinen palosuojaus, sammutus- sekä poistumisreitit.

Pyrolyysi

Kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden yhteydessä polttoaineen niin sanottujen haihtuvien aineiden reaktioita, joissa ne muuttuvat kaasumaiseen olomuotoon ja poistuvat kiinteästä aineesta tai nesteestä.

Rakennuksen käyttötavat

Rakennukset tai niiden palo-osastot ryhmitellään niiden pääkäyttötavan perusteella. Ryhmittelyn lähtökohtana on käyttöaika – päiväkäyttö, iltakäyttö tai yökäyttö – sekä se, miten hyvin käyttäjät tuntevat tilat ja miten he kykenevät pelastautumaan itse tai toisen avustamina palotilanteessa.

Standardipalo (standardoitu lämpötila aikakäyrä)

ISO 834 – käyrän mukainen paloaltistus, johon taulukkopalomitoituksen arvot yleensä perustuvat. Eurooppalaistaen standardien pohjana käytetään EN-1363-1, jonka lämpötila-aikakäyrä vastaa ISO 834 standardin yhtälöä.

Taulukkomitoitus

E1:n taulukoihin ja lukuarvoihin perustuva palotekninen suunnittelu.

1 JOHDANTO

1.1 Selvityksen tausta

Selvityksen taustalla on Suomessa lisääntynyt kiinnostus tavanomaista alle 16-kerroksista rakentamista korkeampaa rakentamista kohtaan. Suomen historiassa rakennukset ovat pääasiassa olleet matalia alle 8-kerroksisia rakennuksia. Matala rakennuskanta on osaltaan muokannut rakentamismääräykset nykymuotoonsa hyvin matalan rakentamisen kattaviksi. Nykyiset Suomen rakentamismääräykset antavat hyvät lähtökohdat myös alle 16-kerroksisen rakennuksen suunnittelulle. Rakennuksen korkeuden kasvaessa ja kerrosluvun ylittäessä 16, joudutaan paloturvallisuussuunnittelun osalta lähes väistämättä turvautumaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 rakennusten paloturvallisuus määräykset ja ohjeet 2011 kohdan 1.3.2 mukaiseen oletettuun palonkehitykseen perustuvaan suunnitteluun. Perinteisten E1:n määräysten ja taulukkoarvojen lisäksi voi olla tarpeellista varustaa rakennus paloturvallisuutta parantavilla laitteilla tai järjestelyillä E1 kohdan 11.1.2 mukaan. Paloturvallisuuden vaatimusten täyttäminen perinteisellä rakentamismääräyskokoelman taulukkomitoituksella ei välttämättä kata riittävästi korkeassa rakennuksessa todennäköisesti esiintyviä tilanteita. Tavanomaista korkeampi rakentaminen tulee asettamaan haasteita niin rakennuksen suunnittelijoille kuin rakentamista ohjaaville viranomaisille.

1.2 Selvityksen tavoite

Selvityksen päätavoitteena on selvittää kriittisiä palon leviämisen muotoja korkeissa rakennuksissa ja arvioida niiden vaikutusta rakennusten palonkestoon. Tarkoituksena on selvittää palon leviämisen erityispiirteiden ja Suomen rakentamismääräyskokoelman suhdetta ylikorkeissa rakennuksissa. Ylikorkealla rakennuksella tarkoitetaan tässä työssä yli 16 kerroksista rakennusta. Suomen rakentamismääräyskokoelmasta pyritään löytämään rakennuksen palonkeston kannalta keskeiset asiat, joihin tulee kiinnittää erityistä huomiota korkeassa rakentamisessa. Lisäksi selvitetään Suomen rakentamismääräysten kattavuutta korkean rakentamisen suhteen ja pohditaan vaihtoehtoja rakentamisen olennaisten vaatimusten täyttämiseksi.

1.3 Selvityksen rajaus

Työssä tarkastellaan E1:n kannalta ylikorkeita rakennuksia, joissa kerrosluku on yli 16. Ylikorkeiden rakennusten palokäyttäytymisen erityispiirteiden esiintuomiseksi työssä käytetään esimerkkikohteen 99-kerroksista rakennusta. Useat korkean rakennuksen erityispiirteet korostuvat entisestään rakennuksen korkeuden kasvaessa ja näin pyritään tuomaan korostetusti esiin korkeiden rakennusten erityispiirteitä.

Työssä ei käsitellä poistumisturvallisuutta savunpoistoa eikä palokunnan operatiivista toimintaa. Lähdeaineisto on pyritty rajaamaan Eurooppalaisiin EN-standardeihin ja niiden suomalaisiin sovellutusohjeisiin SFS-standardeihin. Ulkomaisen määräysten käsittely on ensisijaisesti rajattu yhdysvaltalaisen National Fire Protection Association (jäljempänä NFPA) säädöskokoelmaan.

1.4 Selvitysmenetelmät

Selvityksen pohjaksi tutkittiin millaisia paloturvallisuusvaatimuksia Suomessa on korkeille rakennuksille. Selvityksen pohjana ovat Suomen nykyinen lainsäädäntö, ohjeet ja viranomaistulkinnat. Suomen normeihin tehdyn katsauksen pohjalta määritettiin asiat, joihin hankittiin lisätietoa kansainvälisistä ja ulkomaisista ohjeista.

1.5 Society of Fire Protection Engineers

Society of Fire Protection Engineers (jäljempänä SFPE) on paloteknistä suunnittelua edustava ammatillinen yhteisö. SFPE on perustettu vuonna 1950 ja itsenäinen järjestö siitä tuli vuonna 1971. Maailmanlaajuisesti jäseniä on yli 4000 yli 75 maasta. SFPE:n tarkoituksena on edistää paloturvallisuustiedettä ja käytännön paloturvallisuus suunnittelua. Yhteisö ylläpitää keskuudessaan ja toiminnassaan korkeaa eettistä tasoa sekä mm. edistää palontorjuntainsinööri koulutusta. Useat jäsenistä koostuvat komiteat ja työryhmät työskentelevät yhteisön johdon alaisuudessa projekteissa sekä tutkimuksissa. SFPE:n toiminnan oleellisena osana ovat koulutusseminaarit sekä lyhytkurssit. Lisäksi se tuottaa kirjallisuutta sekä julkaisuja, jotka toteutetaan käyttäen alan viimeisintä tutkimustietoa. (SFPE. 2012c).

1.5.1 Society of Fire Protection Engineers 9th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods

SFPE on vuodesta 1996 yhteistyöorganisaatioidensa kanssa järjestänyt kansainvälisiä konferensseja kahden vuoden välein. Konferenssi käsittelee toiminnallista palomitoitusta sen tutkimuksen, suunnittelun ja koulutuksen näkökulmasta. Konferenssin tarkoituksena on tuoda esille uusimpia näkökulmia, menetelmiä ja lähestymistapoja, jotka ovat joko toimineet aiotulla tavalla tai eivät. Yhdeksäs konferenssi järjestettiin 20–22.6.2012 Hong Kongissa.

1.5.2 Society of Fire Protection Engineers Case Study

Case Study on edellisessä kappaleessa mainitun konferenssin viimeinen ohjelmanumero, jossa 8 kappaletta työryhmiä ympäri maailman esittivät oman ratkaisunsa noin vuosi ennakkoon annettuun tehtävään. Työryhmät koostuivat pääasiassa yksityisistä yrityksistä, jotka olivat konsultoineet työssään tutkimuslaitoksia, viranomaisia ja muita asiantuntijoita. Hong Kongin konferenssin Case Study:ssa oli tehtävä suunnitella 99 kerrosta ja 500 metriä korkea High-Rise Building. Kyseinen tehtävänanto on liitteessä 1. Tehtävän tarkoituksena oli, että jokainen työryhmä ratkaisee sen oman maansa lainsäädännön lähtökohdista käsin ja näin ollen muodostuu toisistaan hyvinkin poikkeavia ratkaisuja. Ratkaisuja ei ole tarkoitus vertailla niiden paremmuuden kannalta, vaan nähdä erilaisia toteutuksia ja näkökulmia.

Tässä työssä pyritään Case Study-projektin esimerkein tuomaan esille yksi tapa, jolla asian voi ratkaista ”todellisessa suunnittelussa”. Todellinen suunnittelukohde on tässä tapauksessa liitteenä 1 olevan tehtävänannon mukainen kuvitteellinen rakennus.

1.6 Korkea ja ylikorkea rakennus

Tämän työn tutkimuskohteena ovat korkeat ja ylikorkeat rakennukset. Rakennuksen määrittäminen korkeaksi tai “ylikorkeaksi” rakennukseksi paloteknisessä mielessä ei ole aivan yksioikoista. Vaikka maailmalla on rakennettu ns. pilvenpiirtäjiä jo vuosikymmenien ajan, kansainvälisesti yhtenäistä korkean rakennuksen määrittystä esimerkiksi kerroksien lukumäärään tai rakennuksen korkeuteen perustuen ei ole olemassa. (Ympäristöministeriö 2013.)

Voimassa oleva Suomen rakentamismääräyskokoelma ei suoraan ota kantaa korkean rakennuksen määrittelyyn. E1:n kirjauksista on kuitenkin tulkittavissa korkean rakennuksen olevan kyseessä, kun rakennuksessa on yli 16 kerrosta. Eräissä ulkomaisissa määräyksissä korkealla rakennukselle on annettu määritelmä. Esimerkiksi Yhdysvaltalaisen NFPA 101 kohdan 3.3.32.7 mukaan kyseessä on High-Rise Building, kun ylimmän kerroksen lattia on yli 75 ft (23m) korkeammalla kuin taso, jolle palokunnan ajoneuvolla päästään.

2 PALON LEVIÄMISEN ESTÄMINEN YLIKORKEISSA RAKENNUKSISSA

2.1 Olennaiset vaatimukset ja vaatimuksen täyttämisen osoittaminen ylikorkeissa rakennuksissa

Olennaisten paloturvallisuusvaatimusten täytyminen voidaan osoittaa kahdella tavalla. Joko rakentamalla rakennus ennalta hyväksytyjen ratkaisujen mukaisesti, joita ovat kansalliset rakentamismääräykset (taulukkomitoitus) tai käyttämällä analyysijä ja / tai laskelmia, jotka osoittavat riittävän paloturvallisuustason täytyvän. Taulukkomitoituksen tarkoituksena on yksinkertaistaa suunnitteluprosessia ja siitä saatavia ratkaisuja, jotka on suunniteltu kattamaan tavanomaisissa rakennuksissa yleensä tapahtuvat tulipalot. Tavanomaisen rakennuksen voidaan katsoa täyttävän paloturvallisuuden olennaiset vaatimukset, kun se suunnitellaan ennalta hyväksytyjen taulukkoarvojen mukaisesti. Rakennus on myös mahdollista suunnitella analyysijä ja laskelmia käyttäen sekä luoda niiden pohjalta suunnitteluratkaisu, joka täyttää olennaiset paloturvallisuusvaatimukset. Rakennusta voidaan pitää turvallisena riippumatta sen suunnittelutavasta, kun määrätty paloturvallisuustaso saavutetaan ja pystytään luotettavien suunnitelmin todentamaan. Suunnittelumenetelmän valinnalla, eli käytetäänkö valmiiksi hyväksytyjä ratkaisuja vai analyyttisiä työkaluja, ei ole merkitystä, kun saavutetaan riittävä paloturvallisuustaso. (INSTA TS 950 2012, 4).

Rakennusten paloturvallisuuden vaatimukset on määritelty lakien, asetusten, määräysten ja ohjeiden muodossa. Lait, asetukset ja määräykset ovat suunnittelijoita velvoittavia. Ohjeet eivät ole velvoittavia vaan viranomaisen tai suunnittelijan voi tehdä niistä poikkeavan ratkaisun. Maankäyttö ja rakennuslaissa (jäljempänä MRL) sekä Maankäyttö ja rakennusasetuksessa (jäljempänä MRA) on esitetty rakentamista koskevat yleiset edellytykset. MRL 117 § mukaan rakennuksen tulee täyttää paloturvallisuuden osalta olennaiset tekniset vaatimukset. MRA 50§ tarkentaa rakennukselle asetettuja olennaisia teknisiä vaatimuksia seuraavasti:

- kantavien rakenteiden tulee palon sattuessa kestää niille asetetun vähimmäisajan
- palon ja savun kehittymisen ja leviämisen tulee olla rajoitettua
- palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin tulee rajoittaa

- henkilöiden on voitava palon sattuessa päästä poistumaan rakennuksesta tai heidät on voitava pelastaa muulla tavoin
- pelastushenkilöstön turvallisuus on rakentamisessa otettava huomioon

MRL 120§ mukaan rakennusta koskeva suunnitelma on laadittava siten, että se täyttää Maankäyttö- ja rakennuslain ja sen nojalla annettujen säädösten, määräysten ja hyvän rakennustavan vaatimukset. Rakentamiselle asetettujen vaatimusten täyttäminen osoitetaan rakennus- ja erityissuunnitelmin, jotka rakennushankkeen laadun ja tehtävän vaativuuden edellytykset täyttävä suunnittelija laatii. Suunnitelmien pohjalta kunnan rakennusvalvontaviranomainen myöntää rakennukselle rakennusluvan. Suomessa korkean rakennuksen suunnittelun vaativuusluokka on AA, joka on määritelty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa A2 rakennusten suunnittelijat ja suunnitelmat, määräykset ja ohjeet 2002 (jäljempänä A2). MRA 134§ mukaan rakennusluvassa voidaan määrätä erityissuunnitelmien laatimisesta ja toimittamisesta rakennusvalvontaviranomaiselle. A2 kohta 5.4.7 määrää rakennuksen paloturvallisuudesta laadittavassa erityissuunnitelmassa, eli paloturvallisuusselvityksessä esitettäväksi:

- suunnittelun perusteet
- käytetyt mallit
- saadut tulokset

Korkean rakennuksen paloturvallisuudesta tulisi mielestäni laatia paloturvallisuusselvitys, koska E1:n taulukkomitoitus ei ole riittävän kattava korkean rakennuksen suunniteluohje. Paloturvallisuuden erityissuunnitelman laatijalla on juridinen vastuu suunnitelmasta.

2.1.1 Suomen määräykset

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 kohta 1.3.1 määrittelee, olennaisen paloturvallisuusvaatimuksen täytyvän, mikäli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan noudattaen E1:n määräysten ja ohjeiden paloluokkia ja lukuarvoja. Kun rakennus toteutetaan E1:n taulukkoarvojen mukaisesti, ei suunnittelijan tarvitse erikseen osoittaa suunnittelumallin toimivuutta, koska vaaditun turvallisuustason oletetaan täytyvän kun käytetään ennalta hyväksytyjä ratkaisuja.

E1 kohta 1.3.2 määrittelee paloturvallisuusvaatimuksen täyttyvän myös, mikäli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Oletettuun palonkehitykseen perustuvaan suunnitteluun, eli toiminnalliseen palosuunnitteluun käytetään analyttisiä työkaluja, joilla pyritään osoittamaan vaaditun turvallisuustason täyttyminen. Suunnittelijan tulee osoittaa työssä käyttämiensä analyysien ja työkalujen luotettavuus sekä tarvittaessa tämä voidaan arvioida ulkopuolisen tahon toimesta.

Korkean rakennuksen paloturvallisuusvaatimuksen täyttymisen osoittaminen E1:n palo-
luokin ja lukuarvoin ei tällä hetkellä ole mielestäni mahdollista, koska E1:n taulukkomitoitus ei kattavuutensa puolesta suoraan sovellu sen suunnitteluohjeeksi. Osa E1:n määräyksistä ei sovellu korkeaan rakennukseen. Sammutus- ja pelastustoiminnan järjestelyistä, kuten sammutusveden järjestäminen kerroksiin kuivanousujohdolla ei ole käyttökelpoinen ratkaisu korkeissa rakennuksissa. E1 voidaan kuitenkin ottaa suunnittelun ja rakentamisen lähtökohdaksi ja täydentää sitä puuttuvien osien oletettuun palonkehitykseen perustuvalla suunnittelulla.

2.1.2 Ulkomaiset määräykset

Ulkomaisista määräyksistä löytyy laaja kirjo korkeaa rakentamista käsittelevää ohjeistusta. Yhdysvalloissa ja Iso-Britanniassa sekä muualla on kokemuksia korkeasta rakentamisesta jo vuosikymmenten ajalta ja näin ollen määräyksissä on runsaasti korkeaa rakentamista käsittelevää ohjeistusta. Pitkään jatkuneen korkean rakentamisen johdosta nykymääräyksiin on sisällytetty paljon korkeaa rakentamista käsittelevää ohjeistusta. Näiden maiden määräyksissä taulukkomitoitus on kehittynyt niin pitkälle, että korkean rakennuksen suunnittelu on mahdollista täysin määräysten taulukkoarvojen perusteella. Taulukkomitoitusohjeet ovat syntyneet vuosien tutkimustyön ja kokemusten tuloksena. Uuden tutkimustiedon pohjalta tehtyjen suunnitteluratkaisujen toimivuutta on pystytty arvioimaan ajan kuluessa. Hyvien kokemusten pohjalta ratkaisuja on myös hiljalleen viety määräyksiin ja näin on muodostunut hyvin kattavia määräyskokoelmia. Kokemusten pohjalta monia ratkaisuja on myös todettu ei-toimiviksi tai ei niin hyviksi, että niistä olisi jalostunut määräystasoisia ohjeita. Hyvänä esimerkkinä toimii Yhdysvaltalaisen NFPA:n määräyskokoelma, joka käsittää yli 300 paloturvallisuutta käsittelevää teosta. Uusinta tutkimustietoa pyritään kaiken aikaa hyödyntämään parempien ratkaisujen ai-

kaansaamiseksi. Uusien ratkaisujen tavoitteena on tehdä rakennuksista paloturvallisempia sekä samalla pitää rakennuskustannukset kohtuullisina, jotta rakentaminen olisi edelleen kannattavaa. Uudella tutkimustiedon pohjalta pystytään optimoimaan kustannuksia siten, että riittävä paloturvallisuustaso saavutetaan.

Kuten todettua niin Yhdysvalloissa, Iso-Britanniassa ja myös Hong Kongissa korkeilla rakennuksilla on jo pitkä historia (kuten myös monissa muissakin maissa) ja sitä myöten kehittyneet rakentamismääräykset. Pohjoismaista korkeita rakennuksia on useita kymmeniä Ruotsissa ja 2000-luvulla rakennetut rakennukset yltyvät yli 100 metrin korkeuteen. Seuraavassa on lueteltuna muutamia eri maiden rakentamismääräyksiä, joissa on rakennettu korkeita rakennuksia.:

- Ruotsi, Boverkets byggregler, BBR 5, BBRAD1
- Iso-Britannia, The Building Regulations 2010, Fire Safety, Approved Document B
- Yhdysvallat, NFPA 101. Life Safety Code 2012
- Yhdysvallat, International Building Code (IBC) 2012
- Hong Kong, Code of Practice for Fire Safety in Buildings 2011

Toiminnallisen mitoituksen näkökulmasta useiden maiden määräyksissä on myös mahdollista tehdä suunnittelua oletettuun palonkehitykseen perustuvalla lähestymistavalla. Toisaalta on myös maita, joiden lainsäädäntö ei mahdollista oletettuun palonkehitykseen perustuvaa lähestymistapaa, jolloin suunnittelu on tehtävä voimassa olevien taulukkoarvojen pohjalta. Oletettuun palonkehitykseen perustuvan suunnittelun käyttäminen voi myös olla ongelmallista maissa, jossa taulukkoarvot ovat kehittyneet pitkälle, koska määräykset ohjeistavat jo ns. hyväksi todetun tavan rakentamiseen. On kuitenkin ensiarvoisen tärkeää, että taulukkoarvojen lisäksi on muita lähestymistapoja, joilla voidaan hyödyntää uutta tutkimustietoa sekä saavuttaa uusia ja nykyistä paremmin toimivia ratkaisuja.

Suomea lähinnä oleva ulkomainen/kansainvälinen toiminnallisen palosuunnittelun ohjeistus on yhteispohjoismaisen toimikunnan; Inter Nordic Standardisation Cooperation laatima INSTA TS 950 Fire Safety Engineering – Verification on fire safety design in buildings (luonnosversio 7.9.2012). Tämä tekninen eritelmä antaa ohjeita vaihtoehtoisen

toiminnallisen paloturvallisuussuunnitelman toteuttamiseen ja tarkastamiseen. Dokumentin tavoitteena on luoda pohjoismaihin yhtenäinen käytäntö ja vaatimustaso analyysihin ja laskentamenetelmiin perustuvan suunnittelun toteutuksessa ja arvioinnissa. Dokumentin laadinta on aloitettu vuonna 2011 ja lausuntokierros päättyi 11.2.2013.

Eurooppalaista standardisointia hoitava CEN (European Committee for Standardization) on teknisen komitean CEN TS 127 Fire safety in buildings alaisuudessa valmistellut palonkestävyyteen liittyviä luokitus-, koemenetelmä- ja koemenetelmien sovellustandardia. Komitean alaisuudessa toimiva CEN TS 127 TG1 – Fire safety engineering on valmistellut paloturvallisuussuunnittelua koskevaa ohjeistusta seuraavista aiheista:

- Hyväksymiskriteerit
- Poistumisen edellytykset
- Paloskenaariot ja mitoituspalojen määrittely
- Toiminnallisen palosuunnittelun käyttö taulukkomitoituksen osaratkaisuna ja täydennyksenä
- Laskentatyökalujen käytön ohjeet
- Materiaali- ja tuotedata

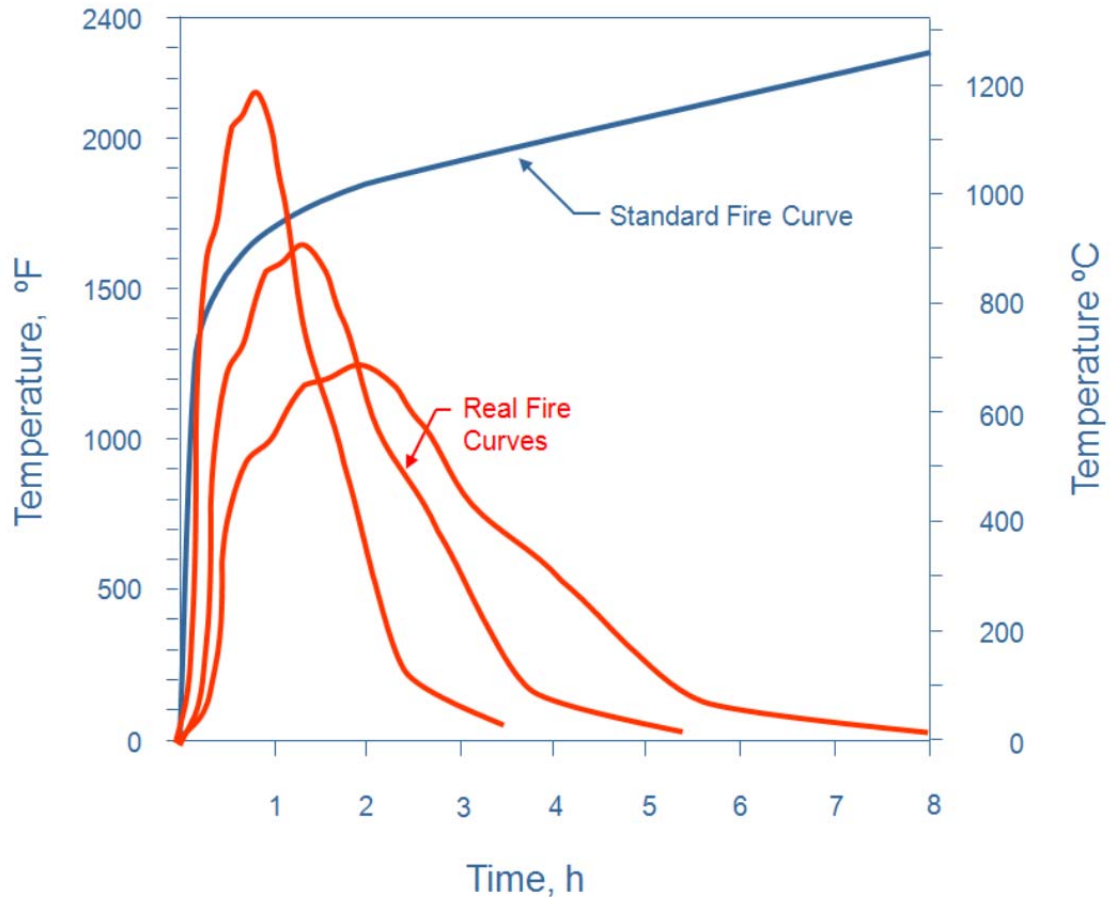
Kyseisen ohjeistuksen laadinta on vielä täysin valmisteluasteella ja lähitulevaisuudessa sille pyritään saamaan lisäresursseja ja perustamaan laadintatyöryhmä. CEN TC 127 komitean Suomen kansallinen asiantuntijoista koostuva tukiryhmä toimii Rakennustuoteteollisuus RTT:n johdolla. Hyvän pohjan CEN:n paloturvallisuussuunnittelun ohjeistuksen laadintatyölle tarjoaa edellä mainittu INSTA TS 950. (Mikkola E. 2013, 12).

2.1.3 Erityispiirteet

Korkeassa rakennuksessa tapahtuvan tulipalon luonne tai koko ei lähtökohtaisesti palon alkuvaiheessa poikkea matalassa (alle 8 kerrosta) tai keskikorkeassa (8-16 kerrosta) rakennuksessa tapahtuvasta tulipalosta. Sen sijaan tulipalon levitessä hallitsemattomasti ylempiin kerroksiin tai sen aiheuttaman osittaisen tai kokonaisvaltaisen rakennuksen romahtamisen seuraukset voivat olla huomattavasti suuremmat. Korkean rakennuksen osittainen tai kokonaisvaltainen romahtaminen aiheuttaa huomattavasti suuremman riskin suuremmalle henkilömäärälle, palomiehille, ympäröiville rakennuksille ja yhteisölle

kuin matala tai keskikorkea rakennus. Korkean rakennuksen suuren koon ja korkeuden johdosta ne sisältävät yleensä ainutlaatuista muotoilua, suuria rakenteellisia elementtejä ja järjestelmiä sekä monimuotoisia atriumtiloja. Lisäksi monimutkaisten rakenteellisten järjestelmien tavoitteena on vastustaa rakennusmassan painoa ja tuulikuormasta aiheutuvaa sivuttaistyöntöä. Näiden järjestelmien todellista palorasituksen kestoa ei ole helppo ymmärtää ja määritellä perinteisillä suojausmenetelmillä. (SFPE 2012a, 65).

Monimuotoisten rakenteellisten järjestelmien palonkeston määrittämisen tekee vaikeaksi, että niitä ei pystytä testaamaan täydessä mittakaavassa. Yksittäisiä rakennusosia voidaan testata rajallisessa koossa polttokokeilla, joissa noudatetaan standardoitua lämpötila-aikakäyrää, jonka avulla määritetään rakenteen palonkeston rajat. Polttotestattujen rakennusosien ja niiden sovellusten yhteen liittämisen muodostamia kokonaisuuksia voidaan vain arvioida laskennallisesti. Suurten rakennusmassojen ollessa kyseessä tulee ensiarvoisen tärkeäksi varmistua rakennusjärjestelmän toiminnasta kokonaisuutena. Rakennusosien todellisen palonkeston määrittäminen vaatii lukuisten tekijöiden huomioon ottamista, joita polttokokeissa ei saada selvitettyä. Lisäksi jokainen tulipalo on uniikki tapahtuma ja vain harvoin todellinen tulipalo tuottaa rakenteille saman palorasituksen, mitä kuvassa 1 esitetty standardipalo aiheuttaa. Tässä mielessä standardipalokäyrällä rakenteille suoritettavat testaukset ja niiden pohjalta laaditut laskentamallit tuovat lisävarmuutta rakennuksen palonkeston.



Kuva 1. ISO 834 lämpötila-aikakäyrä (Standard Fire Curve) ja todellisten palojen lämpötila-aikakäyriä (SFPE 2012a, 66)

Rakennusosien palonkestävyyden luokitukseen on käytössä useita eri lämpötila-aikakäyriä. Standardipalokäyrinä käytetään mm. ISO 834, BS 476:20, ASTM E-119 tai EN 1363-1 mukaisia lämpötila-aikakäyriä. E1:n luokituksen perustana on kuvassa 1 esitetty ISO 834 palokäyrä, jonka kaava 20 asteen alkulämpötilalla on:

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

jossa

T = palotilan lämpötila

t = lämpötilarasituksen kesto minuutteina

Euroopan unionin alueella Rakennustuotedirektiivin 89/106/ETY tarkoituksena on kauppan teknisten esteiden poistaminen Euroopan talousalueelta. Direktiivin vaikutuksesta siirrytään käyttämään myös yhteiseurooppalaisia paloluokitusjärjestelmiä. Rakennusosien palonkestävyyttä koskeva luokitusjärjestelmä perustuu EN-standardien mukaisiin koemenetelmiin ja luokitusstandardeihin. Standardissa EN 1363-1 Fire resistance tests –

Part 1 General requirements esitetään yleiset periaatteet, joiden mukaan määritellään erilaisten rakennusosien palonkestävyys, kun ne altistetaan standardinmukaisille palo-olosuhteille. EN 1363 standardipalo vastaa ISO 834 lämpötila-aikakäyrän yhtälöä.



Kuva 2. Lasirakenne EN-standardin mukaisessa palonkestävyyskokeessa (Ala-Outinen 2007)

2.1.4 Case Study

Case Study-projektissa E1 kohdan 1.2 esitettyjen rakennuksen olennaisten vaatimusten täyttämisen lähtökohdaksi valittiin E1:n taulukkomitoitus ja sitä täydennettiin puuttuvilta osilta oletettuun palonkehitykseen perustuvalla suunnittelulla sekä ulkomaisilla suunnitteluohjeilla. Aluksi suunnitteluryhmä kartoitti osa-alueet, joihin E1:n taulukkomitoitus soveltuu ja sen pohjalta muita osa-alueita tutkimaan vaihtoehtoisin menetelmin.

Seuraavien osa-alueiden suunnittelussa käytettiin tavanomaista E1:n ja sen soveltamisohjeiden mukaista taulukkomitoitusta perustuen E1 kohtaan 1.3.1.

- palokuorma
- rakennuksen paloluokka
- syttymisen estäminen
- osastointi (käyttötapa)
- kantavat rakenteet *
- osastoivat rakenteet *
- palon kehittymisen rajoittaminen (sisä- ja ulkopuolisten pintojen luokkavaatimukset)
- palon leviämisen estäminen naapurirakennuksiin

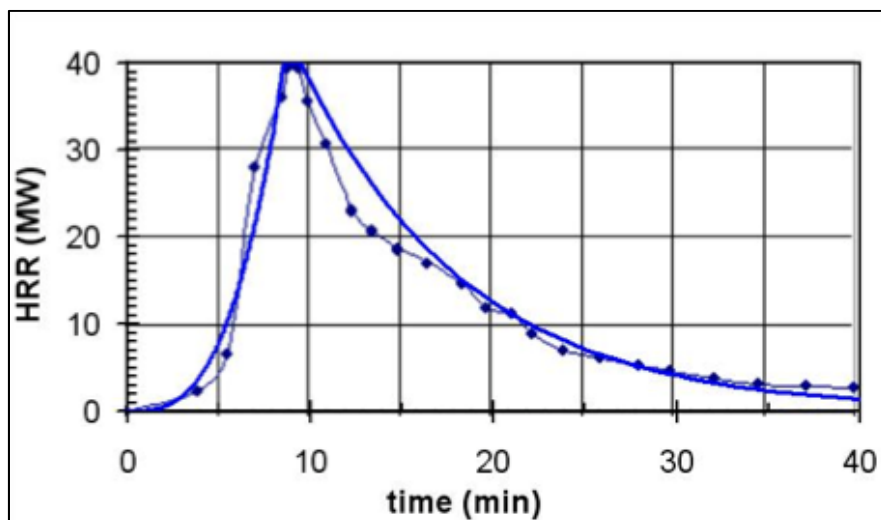
* Näiden osa-alueiden toimivuus tarkastettiin myös toiminnallisen suunnittelun keinoin.

Seuraavien osa-alueiden suunnittelussa käytettiin E1 kohdan 1.3.2 mukaista oletettuun palonkehitykseen perustuvaa suunnittelua, koska E1:n taulukkomitoitus ei suunniteluohjeena kata erityisen korkeita rakennuksia.

- palon kehittyminen sekä palon ja savun leviäminen syttymistilasta ympäröiviin tiloihin
- palon leviäminen ulkokautta ylempiin kerroksiin
- savunpoisto ja savunhallinta
- uloskäytävien määrä ja leveys sekä ihmisten käyttäytyminen poistumistilanteessa
- hissievakuointi
- 98. kerroksessa sijaitsevan ravintolan maksimihenkilömäärä
- pelastushenkilöstön turvallisuus savusukelluksen ja sammutustoiminnan aikana

Oletettuun palonkehitykseen perustuvassa suunnittelussa hyödynnettiin Pyrosim ja FDS+Evac ohjelmistojen viimeisimpiä versioita. Palosimuloinneilla oli tarkoituksena määrittää mm. tilojen maksimihenkilömäärä, joka pystyy poistumaan ko. tilasta ennen kuin olosuhteet siellä muuttuvat hengenvaarallisiksi, riittävä savunpoisto ja palon leviäminen ylempään kerrokseen. Palosimuloinneissa käytettiin mitoituspaloa ”kenkähyllypalo”, jonka palamisnopeus/aikakäyrä on esitetty kuvassa 3. Mitoituspalo perustuu Australiassa tehtyihin palotesteihin (Bennetts I. 1998. Fire safety in shopping

centers, Fire Code Reform Centre Limited. Final Research Report, Project 6. Fire Code Reform Research Program).



Kuva 3. ”Kenkähyllypalon” palamisnopeus-/aikakäyrä.

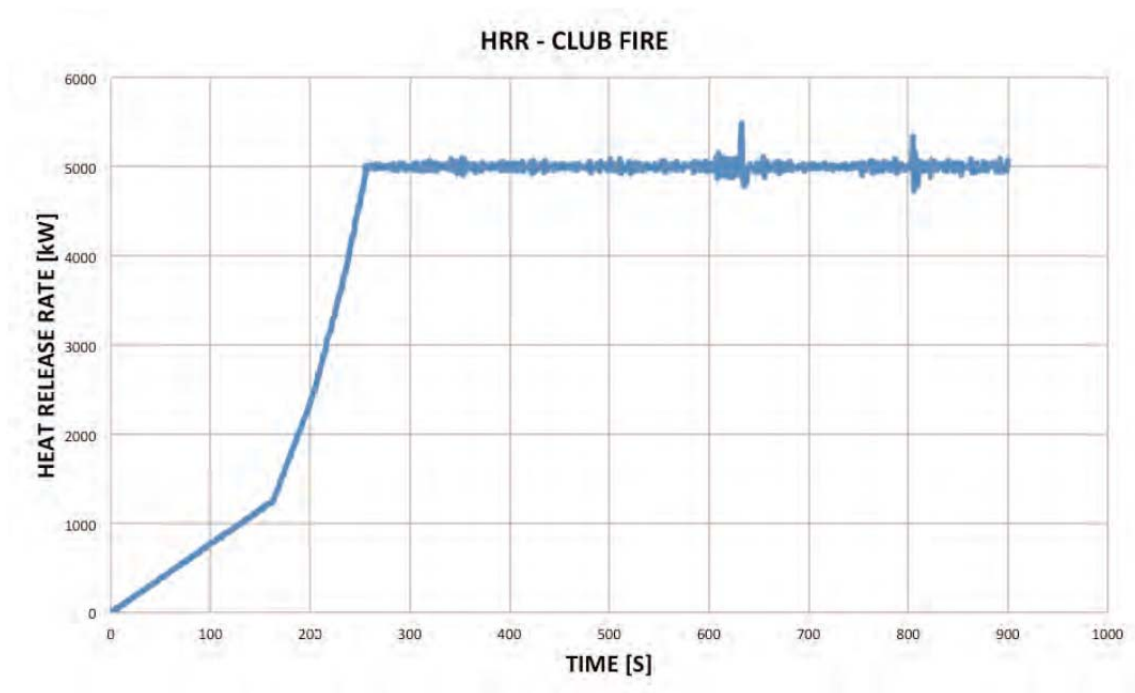
Pystyakselilla lämmönluovutusnopeus ja vaaka-akselilla aika (Bennetts 1998, 265).

Simulointitapauksissa käytettiin yllä mainittua vapaasti palavaa mitoituspaloa, jonka enimmäispaloteho oli noin 40 MW. Palosimulointitilanteiden mitoituspalo saatiin laskeamalla paloteho sprinklereiden toimittua, kasvattamalla saatu arvo kaksinkertaiseksi ja vakioimalla se maksimipalotehoksi simuloinnin loppuun saakka. Case study-projektin simulointeihin valittiin seuraavat neljä palotapausta:

- palo toimistokerroksessa, automaattinen sammutuslaitteisto ei toimi
- palo 98 kerroksen ravintolassa
- palo asuinhuoneistokerroksessa
- palo maantasokerroksen aulassa, joka yhdistää viisi alinta kerrosta yhtenäiseksi palo-osastoksi

(Finnish Case Study 2012, 24, 29–30).

Kuvassa 4 on esitetty 98 kerroksen ravintolan simulointitapauksen palotehon kuvaaja. Simulointitapauksessa ensimmäinen sprinklerisuutin aktivoitui palotehon ollessa 2500 kW. Tämä arvo kaksinkertaistamalla saatiin paloteho 5000 kW, jota käytettiin simuloinnin loppuun saakka.



Kuva 4. Palosimuloinneissa käytetty 98 kerroksen ravintolan paloteho.

Pystyakselilla lämmönluovutusnopeus ja vaaka-akselilla aika (Finnish Case Study 2012, 41).

Muun muassa seuraavia suunnitteluohjeita käytettiin täydentämään edellä mainittuja osa-alueita soveltuvin osin.

- NFPA 101. 2009. Life safety code handbook.
Standardi käsittelee rakennusten paloturvallisuutta taulukkomitoituksen ja toiminnallisen suunnittelun näkökulmista.
- NFPA 5000. 2009. Building construction and safety code.
Standardi käsittää kantavien rakenteiden-, palosuojauksen- sekä käyttötapojen paloturvallisuussuunnittelua.
- NFPA 92A. 2009. Standard for smoke control systems utilizing barriers and pressure difference.
Standardi käsittää savunhallinnan ja ylipaineistuksen suunnittelua.
- NFPA 72. 2010. National Fire Alarm and Signaling Code.
Standardi käsittää automaattisen paloilmoittimen ja viestintäjärjestelmien suunnittelua.
- NFPA 14. 2010. Standard for the installation of standpipe and hose systems.
- NFPA 70. 2011. National electrical code.
- NFPA 110. 2010. Standard for Emergency and Standby Power Systems.

- NFPA 220. 2012. Standard on types of building construction.
- Korhonen, T. & Hostikka, S. Fire dynamics simulator with evacuation: FDS+Evac, Technical reference and user's guide (FDS 5.5.0, Evac 2.2.1)
Teoksessa käsitellään FDS+Evac-ohjelmiston luotettavuutta.
- Hietaniemi, J. 2007. Palon voimakkuuden kuvaaminen toiminnallisessa paloteknisessä suunnittelussa. VTT.
- NIST. 2010. Special publication 1018-5 Fire dynamics simulator (version 5), Technical reference guide, Volume 3: Validation, National institute of standard and technology,

2.2 Palon rajoittaminen palo-osastoon

Palo-osastoivien rakennusosien tarkoituksena on estää palon leviäminen mahdollisessa tulipalossa tietyn ajan. Palo-osastoinnin avulla estetään palon leviäminen muualle rakennukseen. Lisäksi sillä pyritään rajoittamaan savun ja mahdollisten myrkyllisten kaasujen leviäminen muualle rakennukseen, jotta ne eivät haittaisi rakennuksesta poistumista ja sammutustyötä.

2.2.1 Suomen määräykset

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E1 kohta 5.1.1 mukaan ”rakennus tulee jakaa palo-osastoihin palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi, poistumisen turvaamiseksi, pelastus- ja sammutustoiminnan helpottamiseksi sekä omaisuusvahinkojen rajoittamiseksi” sekä kohdan 5.1.2 mukaan ”rakennuksen eri kerrokset, kellarikerrokset ja ullakko on yleensä muodostettava eri palo-osastoiksi (kerrososastointi). Lisäksi palo-osaston maksimipinta-alalle on asetettu rajoituksia käytöstavasta riippuen.

Palon rajoittamista palo-osastoon käsittelevät E1:n määräykset ovat hyvä lähtökohta korkean rakennuksen suunnittelulle. Palo-osastojen muodostamisen lähtökohtana on rakennuksen jakaminen palo-osastoihin käytötavan perusteella. Eri käyttötaparyhmät muodostavat yleensä toiminnallisia kokonaisuuksia niin tilojen käytön kuin rakennustekniikan suhteen. E1 kohdan 5.2.1 mukaan palo-osaston suurin sallittu pinta-ala on 800 m²-2400 m² käytöstavasta riippuen. Lisäksi rakennus tulee lähtökohtaisesti jakaa palo-

osastoihin kerroksittain. Palo-osaston pinta-alasta ja kerrososastoinnista voidaan kuitenkin poiketa, mikäli osastossa syttyvä palo ei aiheuta kohtuuttoman suuria omaisuusvahinkoja eikä siitä ole vaaraa henkilöturvallisuudelle.

2.2.2 Ulkomaiset määräykset

Ulkomaisten määrysten lähtökohta rakennuksen palo-osastoinnin muodostamisessa on hyvin samanlainen kuin Suomessa. Rakennuksen paloluokka, koko ja tilojen käyttötapa ovat palo-osastoinnin suunnittelun lähtökohtana. Suomen määräyksistä poiketen NFPA 101 kohta 6.1.14.1 antaa ”mixed occupancy” mahdollisuuden, eli eri käyttötapojen sijoittamisen samaan palotekniseen osastoon. Tällöin paloturvallisuudessa noudatetaan palo-osaston vaativimman käyttötavan mukaisia vaatimuksia. Suomessa kyseistä järjestelyä ei ole kirjattu määräyksiin, mutta joissakin tapauksissa esim. asuinrakennusten irtaimistovarastoja sekä muita aputiloja on voinut sijoittaa samaan palo-osastoon, kun tilat on suunniteltu vaativimman käytön, eli tässä tapauksessa irtaimistovaraston käyttötarkoituksen mukaan. Näin ollen esim. kantavien ja osastoivien rakenteiden luokat nousevat myös tiloissa, joissa on pienempi palokuorma kuin irtaimistovarastossa. Varsinkin suhteellisen pienten tilojen kohdalla järjestely on toimiva, mutta laajempien tilojen kohdalla tämä nostaa merkittävästi rakennuskustannuksia järeämpien rakenteiden johdosta. Näin ollen käytännössä ajaututaan käyttötapa osastointiin ja rakenteiden mitoittamiseen tilakohtaisesti, jolloin ei tarvitse toteuttaa kalliimpia ratkaisuja paloteknisesti helpompiin tiloihin. (Nevala 2013).

Ulkomaisten määräysten huomattavasti suurempi laajuus näkyy myös hyvin palo-osastoinnin järjestämisessä. NFPA 101 ja NFPA 5000 määrittelevät hyvin kattavasti eri tyyppisten rakennusten palo-osastokokoja. NFPA:n palo-osastoinnin suunnittelun lähtökohtana on ”Construction Type”, joka vastaa Suomessa käytettävää rakennuksen paloluokittelua paloluokkiin P1, P2 ja P3. Construction Type -luokkia on 5 kappaletta (Type I-V), jotka on lisäksi jaettu enintään kolmeen alaluokkaan kantavien rakenteiden palonkeston perusteella. Lisäksi käytetään tunnuksia ”S” ja ”N” kuvaamaan rakennuksen suojaustasoa. Tunnus ”S” tarkoittaa automaattisella sammutuslaitteistolla suojattua rakennusta ja ”N” automaattisella sammutuslaitteistolla suojaamatonta. Näiden tietojen pohjalta mitoitusaulukot antavat jokaiselle käyttötavalle suurimman sallitun palo-osastokoon, kuten myös rakennuksen maksimikerrosluvun.

Esimerkkinä Construction Type I, 442 S:

- Jossa numerot ”4” ja ”4” kuvaavat rakennuksen ulkoisten ja sisäisten kantavien rakenteiden R-luokkavaatimuksia. Numero ”2” kuvaa katon ja välipohjien rakenteiden R-luokkavaatimuksia.
- ”S” ilmaisee rakennuksen olevan varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla.

Ulkomaisten palo-osastointitaulukojen suurempi laajuus johtuu paremmasta rakennuksen korkeuden ja kantavien rakenteiden huomioon otosta. Rakennuksen kantavat rakenteet, kerrosluku ja suojaustaso vaikuttavat siis palo-osaston suurimpaan sallittuun pinta-alaan. Suomessa palo-osastokoot puolestaan on kirjattu E1:n määräyksiin käyttötavan perusteella ilman kantavien rakenteiden tai kerrosluvun huomioimista. Lisäksi automaattisella paloilmoinnilla ja/tai automaattisella sammutuslaitteistolla varustetun rakennuksen palo-osastokokoa on voinut kasvattaa jopa moninkertaisiksi. Perinteisessä suomalaisessa matalassa rakentamisessa edelläkuvatut määräykset ovat olleet varsin riittäviä ja toimivia, mutta korkean rakennuksen kohdalla varsinkin palo-osaston maksimikokoon on syytä kiinnittää huomiota. E1:n palo-osastokoon arvot ovat hyvä lähtökohta, mutta palo-osastokoon kasvattamista yli taulukkoarvojen tulee harkita tarkoin. Korkean rakentamisen yhteydessä tilojen käyttötavat ja niiden vaikutus kokonaisuuteen korostuvat. Eri käyttötarkoitusten asettamista vaatimuksista on pyrittävä muodostamaan tehokas toiminnallinen kokonaisuus, jossa on huomioituna passiiviset ja aktiiviset palontorjuntamenetelmät. (SFPE 2012a, 15).

2.2.3 Erityispiirteet

Korkean rakennuksen erityispiirteenä palo-osaston koon suhteen on suhteellisen rajoitettu kerroskohtainen ala. Korkeita rakennuksia rakennetaan tyypillisesti paikkoihin, joissa rakentamispaikan maa-ala on pieni ja rakennuksen korkeutta lisäämällä saadaan pienellekin tontille paljon kerrosalaa. Näin ollen korkean rakennuksen yhdessä tasossa kerrosala ei pääse kasvamaan ylisuuriin mittoihin kuin alimmissa kerroksissa ja kellari-kerroksissa, joissa rakennus voi liittyä ympäröivään rakennusmassaan. E1:n taulukkoarvo kokoontumis- ja liiketilojen palo-osastokoolle on 2400m^2 , jota on yleisesti voinut kasvattaa jopa useisiin kymmeneen tuhansiin neliöihin varustamalla rakennus asianmu-

kaisilla aktiivisilla palontorjuntajärjestelmillä. Mielestäni näin voidaan toimia myös korkean rakennuksen alimmissa kerroksissa, koska se ei luonteeltaan poikkea tavanomaisesta rakentamisesta. Korkean rakennuksen ylemmissä kerroksissa tulisi mielestäni välttää E1 kohdan 5.2.1 palo-osastokoon taulukkoarvojen ylityksiä, koska rakennuksen korkeus jo itsessään aiheuttaa viivettä ihmisten poistumiselle sekä sammutus- ja pelastustoiminnan alkamiselle.

Korkean rakennuksen haasteet palo-osastoinnin suhteen liittyvät enemmänkin palo-osastojen laajuuteen pystysuunnassa. Palon ja savukaasujen leviäminen pystysuunnassa ylöspäin on huomattavasti nopeampaa kuin sivusuunnassa tai alaspäin. Usealla eri kerrostasolla tapahtuvan palon sammuttaminen vaatii enemmän resursseja ja on hitaampaa kuin yhdellä tasossa tapahtuvassa palossa. Lisäksi kun huomioidaan rakennuksen korkeuden myötä palokunnan pidentyvä kokonaistoimintavalmiusaika, niin voidaan todeta että sammutustoimintaa helpottaa huomattavasti mikäli palo ei pääse leviämään pystysuunnassa useille eri tasoille.

Korkean rakennuksen palo-osastoja muodostettaessa tulisi mielestäni kiinnittää huomiota palo-osastojen muotoon. Useiden kerrosten välisten avoyhteyksien keskittäminen rakennuksen alimpaan 8 kerrokseen vastaa hyvinkin perinteistä rakentamista, joka on myös palokunnan tavanomainen toimintaympäristö. Kahdeksannen kerroksen yläpuolella kerrososastoinnista poikkeamista tulisi mielestäni välttää ja maksimissaan kaksi kerrosta voisi muodostaa palo-osaston. Näin voidaan parantaa palokunnan sammutus- ja pelastustoiminnan edellytyksiä korkean rakennuksen yläkerroksissa. Lisäksi mielestäni kahdeksannen kerroksen yläpuolella ei pitäisi poiketa E1:n palo-osastokoon taulukkoarvoista.

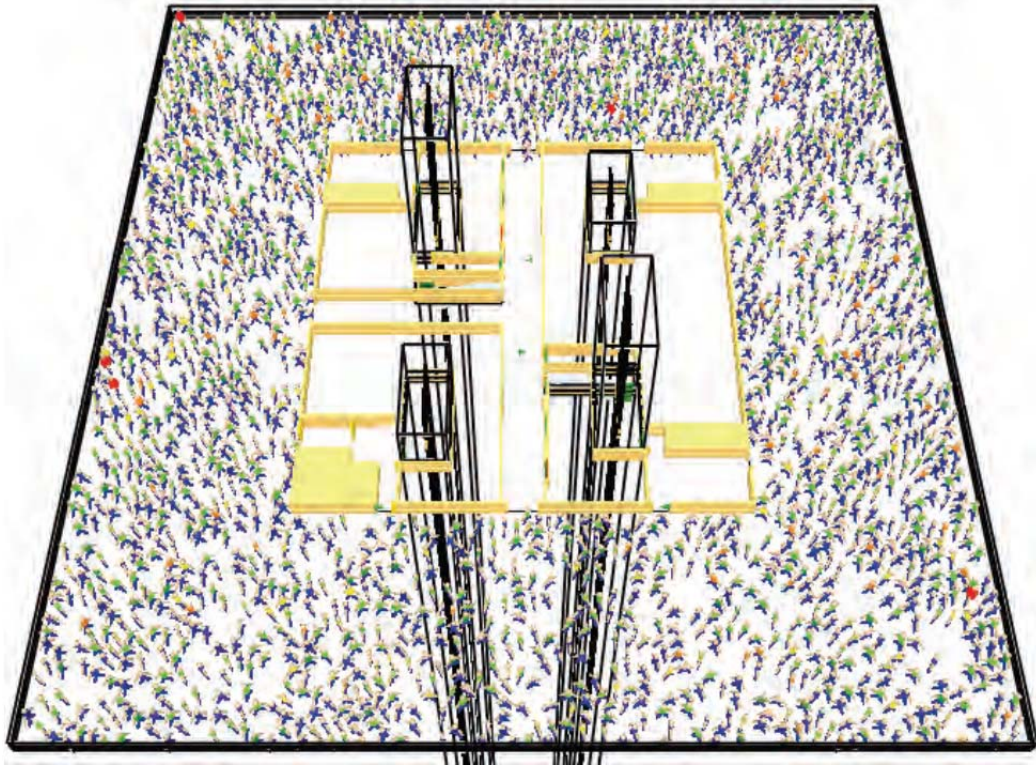
2.2.4 Case Study

Case Study-projektissa palo-osastointi toteutettiin pitkälti E1 kohdan 5 ”palon rajoittaminen palo-osastoon” mukaisesti. Rakennuksessa toteutettiin kerrososastointi 1-5 kerroksen kauppakeskusta lukuun ottamatta. Rakennuksen kerroskohtainen ala oli noin 2200 m², joten kerrostasoilla E1:n mukaiseen maksimipalo-osastokokoon ei tullut ylityksiä kuin kauppakeskuksen osalta. Seuraavaksi tilat jaettiin palo-osastoihin käyttötavan mukaan. Käyttötavan mukaisia palo-osastoja muodostui seuraavasti:

- poistumisporrashuoneet
- hissikuilut
- kerrosaulat
- liiketilat
- toimistotilat
- asunnot
- ravintola (98. kerros)
- tekniset kerrokset ja tekniset tilat

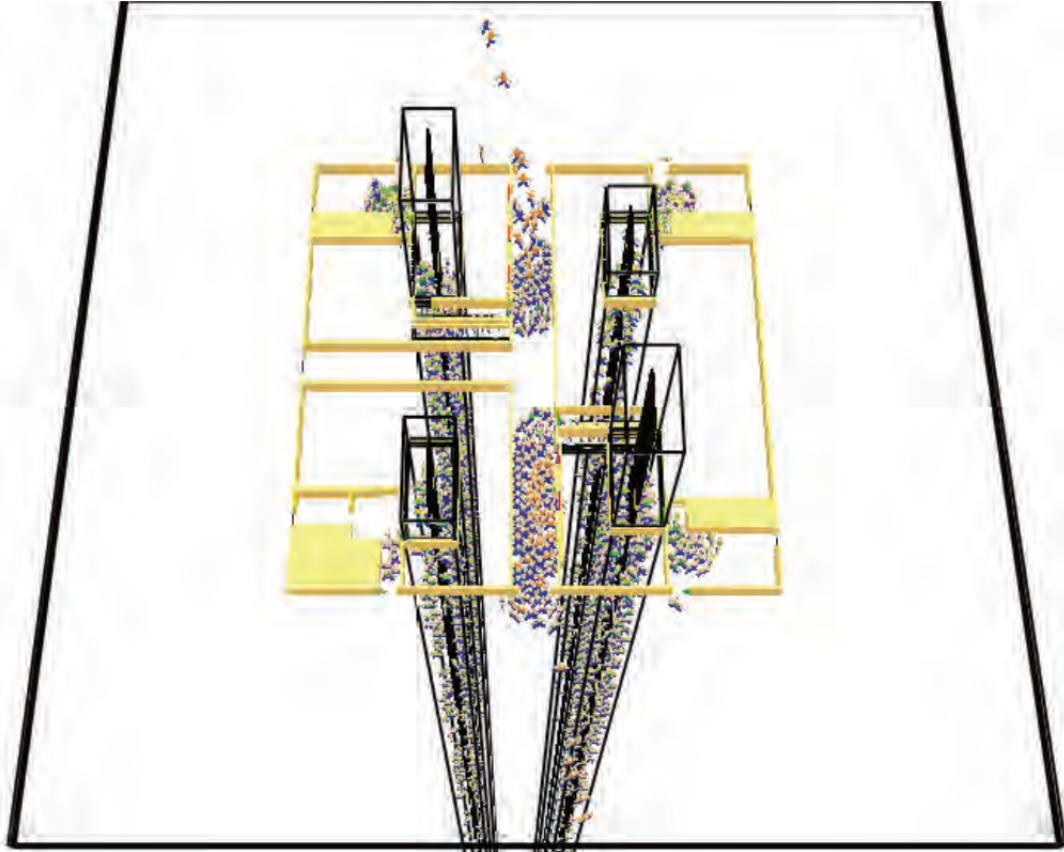
Kerrososastoinnin lisäksi teknisillä kerroksilla pyrittiin rajoittamaan palon leviämistä ylöspäin eri käyttötapojen rajapinnassa. Kuvassa 23 on esitetty teknisten kerrosten sijainnit rakennuksessa. Kauppakeskuksen palo-osasto rajoitettiin alimpaan viiteen kerrokseen, ja noin 8000 m²:n huoneistoalaan riskianalyysin perusteella.

Palo-osastokoko 98. kerroksen ravintolassa määrittyi poistumissimuloinneista saatujen tulosten pohjalta 1400 m²:n. Ravintolan koon pienennyksellä pystyttiin kontrolloimaan ravintolan henkilömäärää siten, että pienemmän henkilömäärän oli mahdollista poistua tilasta ennen kuin olosuhteet muuttuvat hengenvaarallisiksi. Tilan henkilömäärän laskenta perustuu tiedossa olevaan henkilömäärään tai E1 kohdan 10.4.1 henkilömäärän arviointitaulukkoon, jonka mukaan ravintolatilán henkilömäärä on 1 henkilö/ m² huoneistoalaa. Ravintolan henkilömäärän määrittäminen E1:n arvoa pienemmäksi hylättiin, koska henkilömäärän pysyminen suunnitelluissa rajoissa tilán käyttäjän valvonnalla todettiin olevan käytännössä mahdotonta. Ravintolan koon (palo-osastokoon) rajoittaminen todettiin ainoaksi toimivaksi ja uskottavaksi tavaksi rajoittaa tilán henkilömäärää. Ravintolatala ja sen henkilömäärä on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5. Ravintola ennen poistumisen alkamista
(Finnish Case Study 2012, 86)

Ravintolan palosimulointien tuloksena saatiin käytettävissä oleva noin 10 minuutin turvallinen poistumisaika, kun aktiiviset palontorjuntajärjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla (Finnish Case Study 2012, 42). Tämän ajan puitteissa ihmisten oli ehdittävä siirtyä minimissään palo-osastoituun aulaan, jossa on turvallista odottaa pääsyä porrashuoneeseen tai evakuointihissiin. Suunnittelun alkutilanteessa ravintolan koko oli noin 2000 m². Rajoittamalla ravintolan palo-osastokokoa 1400 m²:n saatiin henkilömäärä pienennettyä siten, että poistumisjärjestelyiden kapasiteetti oli riittävä ihmisten poistumiselle palotilanteessa. Kuvassa 6 on havainnollistettu poistumisen vaihetta 10 minuutin kuluttua hälytyksestä. Suuremman henkilömäärän poistuminen tilasta olisi kestänyt pidemmän aikaa, jolloin tilan olosuhteet olisivat muuttuneet hengenvaarallisiksi. (Finnish Case Study 2012, 89).



Kuva 6. Poistumisen vaihe ravintolassa 600 sekuntia hälytyksestä.

Lähes kaikki ihmiset ovat ehtineet poistua tilasta. (Finnish Case Study 2012, 87)

2.3 Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen

Kantavien rakennusosien tarkoituksena on estää rakennuksen sortuminen tulipalossa tietyn ajan tai kokonaan. Korkeassa rakennuksessa kantavat rakenteet tulee mitoittaa siten, että ne kestävät sortumatta koko palokuorman palamisen ja jäähtymisen.

2.3.1 Suomen määräykset

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E1 kohta 6.1. määrittelee ”rakennus ja sen rakennusosat eivät palon vaikutuksesta saa sortumalla aiheuttaa vaaraa määrättyssä ajassa palon alkamisesta” sekä ”Mikäli henkilöturvallisuuden takia tai vahinkojen suuruuteen nähden on tarpeellista, rakennuksen on kestettävä sortumatta koko palokuorman palaminen ja jäähtyminen”. Edellä mainittuun viitaten E1 kohta 6.2. ohjeteksti määrittelee, että P1 luokan yli 2-kerroksiset rakennukset eivät saa sortua palon ja jäähtymisvaiheen aikana, vaan niiden runkorakenteiden oletetaan kestävän koko palokuorman pala-

minen ja jäähtyminen. Korkeassa rakennuksessa rakennuksen sortumattomuus on ehdoton edellytys turvalliselle poistumiselle ja vahinkojen rajoittamiselle. Korkean rakennuksen on siis kestävä sortumatta koko palokuorman palaminen ja jäähtyminen ilman sammuttamistakin.

Kantavien rakenteiden mitoitus voi perustua E1 kohdan 6.2.13. mukaan standardoituun lämpötila-aikakäyrään perustuvaan luokitukseen tai oletetun palonkehityksen mukaisiin rasiin. E1:n taulukkomitoitus perustuu standardoituun lämpötila-aikakäyrään perustuvaan luokitukseen. Kantavien rakenteiden taulukkomitoitus lähtee liikkeelle rakennuksen paloluokasta, palokuormaryhmästä ja kerrosluvusta. Korkeat rakennukset ovat paloluokan P1 rakennuksia ja kantavien rakenteiden vaatimuksissa tulee soveltaa yli 8 kerroksisen rakennuksen vaatimuksia. Merkittävin kantavien rakenteiden mitoitukseen vaikuttava tekijä on tilojen palokuorman määrä. Palokuorman määrää kuvataan palamisen seurauksena vapautuvalla lämpömäärällä, joka syntyy kun tilassa oleva aine täydellisesti palaa. Siihen luetaan kantavat, runkoa jäykistävät, osastoivat ja muut rakennusosat sekä irtaimisto. Palokuorman tiheys ilmaistaan megajouleina huoneistoalan neliometriä kohden (MJ/m^2). Palokuorma määräytyy yleensä tilan käyttötavan perusteella, mutta erityistapauksessa se voidaan määrittää luotettavan arvion tai laskelmien perusteella. (Ympäristöministeriö 2003, 45). Palokuormaryhmiä on kolme kappaletta; alle $600 \text{ MJ}/\text{m}^2$, $600\text{--}1200 \text{ MJ}/\text{m}^2$ sekä yli $1200 \text{ MJ}/\text{m}^2$, joihin tilat sijoitetaan käyttötavan perusteella E1 kohdan 2.2. mukaan. Korkeassa rakennuksessa ei lähtökohtaisesti ole syytä poiketa tilan käyttötapaan perustuvasta palokuormaryhmittelystä.

Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset on esitetty E1:n kohdassa 6.2.1 ja ne on jaettu kolmeen vaativuusluokkaan rakennuksen korkeuden perusteella:

Enintään 2 kerroksinen rakennus

yli $1200 \text{ MJ}/\text{m}^2$	$600\text{--}1200 \text{ MJ}/\text{m}^2$	alle $600 \text{ MJ}/\text{m}^2$
R 120	R 90	R 60

3-8 kerroksinen rakennus

yli $1200 \text{ MJ}/\text{m}^2$	$600\text{--}1200 \text{ MJ}/\text{m}^2$	alle $600 \text{ MJ}/\text{m}^2$
R 180	R 120	R 60

Yli 8 kerroksinen rakennus

yli 1200 MJ/m ²	600–1200 MJ/m ²	alle 600 MJ/m ²
R 240	R 180	R 120

Yllä esitetyistä taulukoista on nähtävissä, että rakennuksen korkeuden kasvaessa vaatimukset kantavien rakenteiden palonkestolle kasvavat. Vaatimusten kasvamisen tarkoituksena on saada lisävarmuutta rakenteiden palonkestoon korkeammassa rakennuksessa. Kuten yllä jo todettiin, niin ”P1 luokan yli 2-kerroksiset rakennukset eivät saa sortua palon ja jäähtymisvaiheen aikana”. 3-8 kerroksisen P1 luokan rakennuksen kantavien rakenteiden luokkavaatimus pienimmässä alle 600 MJ/m² palokuormaryhmässä on R 60, kun taas yli 8 kerroksisessa rakennuksessa R 120. Yli 8 kerroksisessa rakennuksessa tapahtuvan tulipalon rasitus rakenteille ei poikkea siitä mitä se on 3 kerroksisessa rakennuksessa. Kantavien rakenteiden vaatimusten nostolla on ainoastaan tarkoituksena lisätä varmuutta rakennuksen sortumattomuuteen, vaikka esimerkin mukaisesti R 60 rakenteiden oletetaan jo kestävänsä sortumatta, kun palokuorman määrä on alle 600 MJ/m² (Hakokorpi 2013). Lisävarmuuden hakeminen rakenteiden palonkeston järeämällä mitoituksella on täysin perusteltua, koska korkean rakennuksen osittaisen tai kokonaisvaltaisen romahtamisen seuraukset voivat olla mittavia ja aiheuttaa huomattavasti suuremman riskin suuremmalle henkilömäärälle, palomiehille, ympäröiville rakennuksille ja yhteisölle kuin matala rakennus. Suomen määräyksistä tulee myös huomioida, että kantavien rakenteiden vaatimukset ovat samat niin 9- kuin 99-kerroksiselle rakennukselle.

2.3.2 Ulkomaiset määräykset

Ulkomaisten määräysten lähtökohta kantavien rakenteiden mitoituksessa on perusperiaatteeltaan hyvin samanlainen kuin Suomessa. Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset muodostuvat rakennuksen paloluokasta, korkeudesta ja käyttötavasta. Ulkomaisista ohjeista NFPA 5000 ei sisällä Suomen määräykseen verrattavaa kantavien rakenteiden mitoitusta palokuorman perusteella, vaan tilan käyttötapa sisältää oletetun palokuorman määrän. Automaattisella sammutuslaitteistolla on myös merkittävä rooli palon rajoittamisen ja savukaasujen jäähdytyksen johdosta rakenteiden mitoituksessa. Sammutuslaitteistolla ei tosin myönnetä lievennyksiä taulukkoarvoista samaan tapaan kuin E1:n määräyksissä, jolloin rakenteiden mitoituksen voi tehdä pienimmän alle 600 MJ/m² pa-

lokuormaryhmän mukaan. NFPA:n ohjeissa paloturvallisuus kokonaisuutena ratkaisee yksittäiset suunnittelu alueet. Mitoitustaulukkojen ideologia on jo lähtökohtaisesti erilainen, koska itse taulukkoon on koottu monenlaisia vaihtoehtoja riittävän kokonaispaloturvallisuustason saavuttamiseksi. Rakennuksen muista paloturvallisuusjärjestelyistä riippuen eri korkeusluokkia on jopa 20 kappaletta. NFPA taulukoihin on sisällytetty rajoituksia palo-osastokoolle, joka vaikuttaa myös kantavien rakenteiden mitoitukseen toisin kuin Suomen määräyksissä. Kantavien rakenteiden mitoitus tehdään enemmän kokonaisuutena, kaikki paloturvallisuusratkaisut huomioiden.

Mitoitukseen vaikuttavat päätekijät ovat:

- suojaustaso
- rakennuksen korkeus
- kerrosluku
- palo-osastonpinta-ala
- käyttötapa (palakuorman määrä huomioitu)

Edellä mainittujen tekijöiden summana saadaan monia erilaisia paloturvallisuuskokonaisuuksia, joista voidaan jopa valita kyseessä olevaan rakennukseen parhaiten sopiva. Esimerkiksi lisäämällä kantavien rakenteiden palonkestoa voidaan toteuttaa suurempi palo-osasto ja vastaavasti pienentämällä palo-osastokokoa voidaan kantavat rakenteet toteuttaa kevyempinä. Taulukossa 1 on ote NFPA 5000 (Building Construction and Safety Code): 7.4.1. mitoitustaulukosta, josta nähdään kuinka kokonaispaloturvallisuusratkaisu muodostuu rakennuksen paloluokasta, kantavista rakenteista, suojaustasosta, kerrosluvusta, palo-osaston pinta-alasta sekä käyttötavasta.

Taulukko 1. Ote NFPA 5000: 7.4.1 mitoitustaulukosta, pinta-alayksiköt $1 \text{ ft}^2 = 0,093\text{m}^2$.

Table 7.4.1 Continued

	TYPE I				TYPE II				TYPE III					
	442		332		222		111		000		211		200	
Construction Type	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Educational	UL	UL	UL	UL	12	5	4	3	3	2	4	3	3	2
	UL		UL		UL		26,500		14,500		23,500		14,500	
Health Care	UL	NP	UL	NP	12	NP	3	NP	1	NP	1	NP	NP	NP
	UL		UL		UL		15,000		11,000		12,000		NP	
Health care, Ambulatory	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	1	6	5	5	1
	UL		UL		UL		37,500		23,000		28,500		19,000	
Industrial, ordinary hazard	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	3	2	4	3	3	2
	UL		UL		UL		25,000		15,500		19,000		12,000	
Industrial, low hazard	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	4	3	5	4	4	3
	UL		UL		UL		37,500		23,000		28,500		18,000	
Mercantile	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4
	UL		UL		UL		21,500		12,500		18,500		12,500	
Residential	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4
	UL		UL		UL		24,000		16,000		24,000		16,000	
Residential, 1- & 2-family	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4
	UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL	
Storage, ordinary hazard	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	4	3	4	3	4	3
	UL		UL		48,000		26,000		17,500		26,000		17,500	
Storage, low hazard	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	4	5	4	5	4
	UL		UL		79,000		39,000		26,000		39,000		26,000	

S = rakennus varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla

N = rakennusta ei ole varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla

UL = rajoittamaton

NP = ei sallittu

Esimerkkinä Koulurakennus (Educational), Construction Type II, 111 S:

- Jossa numerot "1", "1" ja "1" kuvaavat rakennuksen ulkoisten, sisäisten sekä katon ja välipohjien kantavien rakenteiden R-luokkavaatimuksia
- "S" ilmaisee rakennuksen olevan varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla
- maksimikerrosluku on 4
- palo-osaton maksimipinta-ala on $26\,500 \text{ ft}^2 = 2461 \text{ m}^2$

2.3.3 Erityispiirteet

Korkeassa rakennuksessa rakenteiden kantavuuden säilyminen koko palokuorman palamisen ja jäähtymisen ajan ilman sammutustakin on ehdoton edellytys. Rakenteiden kantokyvyn menettäminen korkean rakennuksen tulipalotilanteessa aiheuttaa huomattavan suuren vaaran suurelle henkilömäärälle, palomiehille, ympäröiville rakennuksille ja yhteisöille. (SFPE 2012a, 65). Mielestäni korkean rakennuksen kantavat rakenteet tulisi suunnitella siten, että ne kestävät sortumatta tulipalon aiheuttamat rasitukset myös ilman automaattisen sammutuslaitteiston paloa rajoittavaa ja savukaasuja sekä rakenteita jäähdyttävää vaikutusta. Automaattisella sammutuslaitteistolla voidaan hakea lisävarmuutta kantavien rakenteiden palonkestoon, mutta mitoituksessa sitä ei tulisi huomioida. Vesisprinklerin onnistumisprosentti palon rajoittamisessa ja/tai sammuttamisessa on luokkaa 90–95% tapauksista (Rönty 2004, 22). Vaikka vesisprinklerin toimintavarmuus on korkeaa luokkaa, ei sitä tulisi huomioida kantavien rakenteiden mitoituksessa, koska sen toimimattomuus tai muu häiriötilanne aiheuttaa kohtuuttoman suuren vaaran rakennuksen kantavuuden pettämiselle.

Korkean rakennuksen suuren koon johdosta ne sisältävät yleensä monimutkaisia rakenteita ja niiden yhteenliittymiä. Rakenteiden kantavuuden mitoituksen perustana on niiden polttotestaus, jota voidaan suorittaa vain rajallisessa koossa. Polttokokeita voidaan suorittaa rakenne-elementeille, joiden koko korkeuden, pituuden ja leveyden osalta ovat luokkaa 3-5 metriä (palkit, välipohjat, seinät). Polttokokeilla testattujen rakenteiden palotilannekäyttäytymistä joudutaan tutkimaan laskennallisilla menetelmin. Todelliset rakenteet eivät koostu yksittäisistä elementeistä, vaan niiden muodostamista 2D- ja 3D järjestelmistä, joissa rakenteiden väliset yhteydet ja kuormien jakautuminen on vaikeasti ymmärrettävissä. Näin suunniteltujen rakenteellisten järjestelmien todellista palorasituksen kestoa ei ole helppo ymmärtää eikä määrittellä perinteisillä menetelmillä. (SFPE 2012a, 65–66). Monimutkaisten rakenteiden suunnittelusta voisikin kärjistäen todeta, että tehtävä suunnitteluratkaisu on sen hetken paras arvio ja todellinen palonkestominaisuudet selviävät vasta tulipalon tapahtuessa (Hakokorpi 2013).

2.3.4 Case Study

Case Study projektissa kantavien rakenteiden mitoituksessa oli havaittavissa suurta hajontaa eri työryhmien välillä. Kahdeksan työryhmää ympäri maailman oli kukin päätenyt erilaiseen ratkaisuun. Kantavien rakenteiden palonkesto vaihteli työryhmästä riippuen välillä R 60 – R 240. Pääsääntöisesti rakennuksen runko oli suunniteltu R 90 – R 180 rakentein. Kaikki työryhmät olivat sijoittaneet rakennuksen alimpiin kerrokseen kokoon- tumis- ja liiketiloja ja niiden yläpuolelle toimistotiloja. Ylimmät kerrokset koostuivat pääasiassa asunnoista. Finnish Case Study työryhmän käyttämää rakennuksen käyttöta- pajako on havainnollistettu kuvassa 23. Kaikilla tehtävään osallistuneilla työryhmillä oli pääpiirteissään kuvan 23 kaltainen käyttötapajako. Rakennuksen rungon palonkesto ei ollut kaikilla työryhmillä kauttaaltaan samaa luokkaa koko rakennuksessa, vaan useil- la työryhmillä toimisto ja asuinkerrokset olivat mitoitettu keveämmin kuin alimmat lii- ketilakerrokset. Jokainen työryhmä oli päätenyt ratkaisuunsa omien suunnitteluratkai- suidensa sekä maansa lähtökohtien pohjalta. (SFPE 2012b).

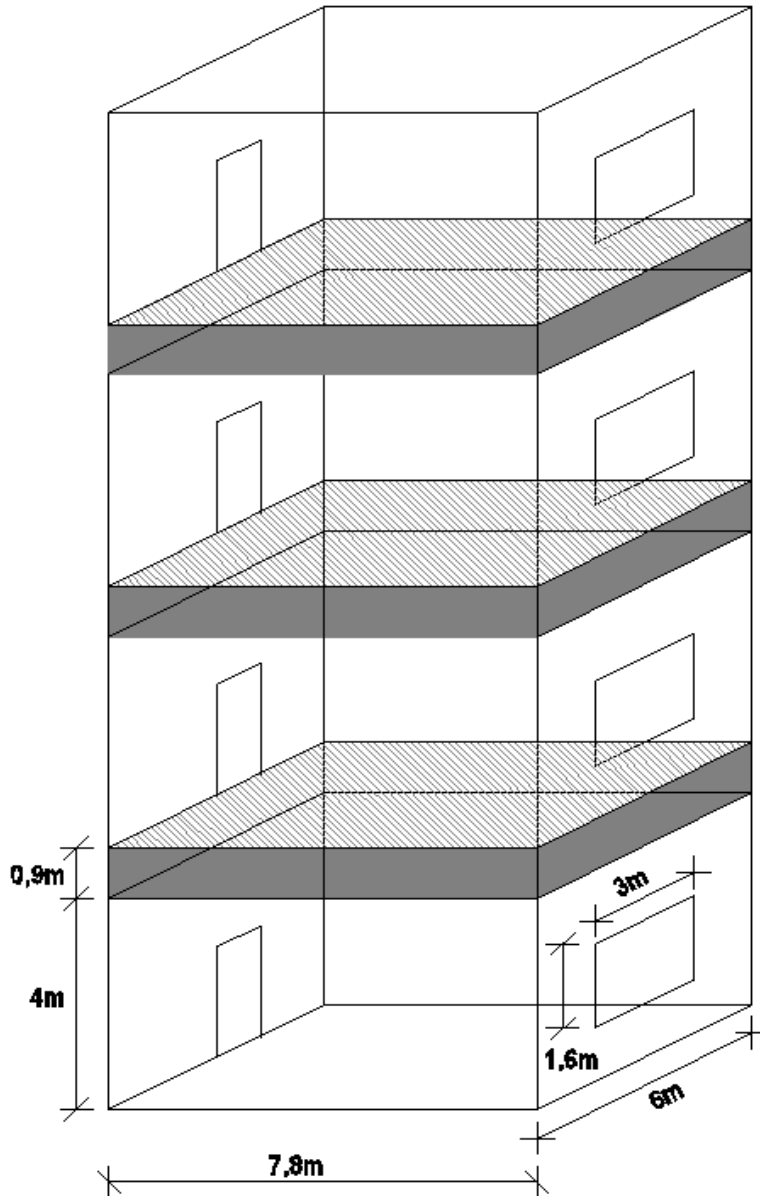
2.4 Palon leviämisen estäminen osastosta

2.4.1 Palon leviäminen ulkokautta

Esimerkkitapauksessa tarkastellaan palon leviämisestä ulkokautta käyttäen Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-2: General actions, Actions on structures exposed to fire liitteen B mukaista laskentamallia. Suomen standardointiliiton on julkaissut teoksesta suomenkielisen käännöksen SFS-EN 1991-1-2.

Laskentamallin avulla voidaan määrittää huonepalon maksimilämpötilat, aukosta tulevan liekin koko ja lämpötilat sekä liekin säteilyparametrit. Menetelmä käyttö soveltuu tapauksiin, joissa seuraavat ehdot toteutuvat:

- palokuormatiheys $q_{f,d}$ yli 200 MJ/m^2
- palotilan koko ei ylitä arvoja: pituus 70m, leveys 18m ja korkeus 5m



Kuva 7. Esimerkkitapauksen toimistohuone.

Esimerkkitapauksessa oletetaan, että kuvan 7 toimistohuoneessa palo kehittyy täyden palon vaiheeseen. Tällöin toimistohuoneen ikkuna rikkoutuu ja ikkuna-aukosta ulos lyövät liekit ja lämpösäteily aiheuttavat palorasituksen ylemmän kerroksen ikkunaan. Aluksi lasketaan oletettua palamisnopeutta.

Palamisnopeus, eli lämmönluovutusnopeus saadaan kaavasta

$$Q = \min \left[(A_f * q_{f,d}) / \tau_F ; 3,15(1 - e^{-0,036/O}) * A_v * \left(\frac{h_{eq}}{D/W} \right)^{1/2} \right]$$

missä:

A_f	palotilan lattiapinta-ala $6\text{m} * 7,8\text{m} = 46,8 \text{ m}^2$
$q_{f,d}$	palokuorman tiheyden mitoitusarvo lattiapinta-alaa A_f kohti. E1 kohdan 2.2. mukaista toimistotilan palokuormaa 600 MJ/ m^2
τ_F	vapaasti kehittyvän palon kesto standardin olettaus on 1200 s
O	palotilan aukkotekijä $A_v * \sqrt{h_{eq}/A_t}$
A_v	kaikissa seinissä olevien pystyaukkojen kokonaispinta-ala $3\text{m} * 1,6\text{m} = 4,8 \text{ m}^2$
h_{eq}	kaikkien seinien ikkunoiden korkeuksien painotettu keskiarvo $1,6$
D/W	$D/W = \frac{W_2}{w_t}$ kun ikkunoita on vain yhdessä seinässä
W_2	palotilaan kuuluvan, ikkunaseinää kohtisuoran seinän leveys 6 m
w_t	ikkunoiden leveyksien summa (REI luokitellussa seinässä käytetään ikkuna-aukon leveyttä) 3 m
A_t	vaipan kokonaispinta-ala (seinät, katto ja lattia aukot mukaan luettuna) $2*(4*6)+2*(4*7,8)+2*(7,8*6) = 204 \text{ m}^2$

2.4.2 Happirajoitteinen huonetilan palo

Happirajoitteisen huonetilan palolla tarkoitetaan paloa, jossa hapensaanti rajoittaa palamisnopeutta. Palo saa tarvitsemansa palamisilman tilaan johtavien aukkojen kautta. Happirajoitteinen palo syntyy silloin kun palotilassa ei ole riittävästi aukkoja maksimaalisen palamisen tarvitseman hapen sisään virtaukselle. Tällainen tilanne voi muodostua silloin kun sisätiloista palotilaan johtavat aukot ovat suljettuina eikä palon rikkomasta ikkunasta pääse virtaamaan riittävästi palamisilmaa.

Aluksi määritetään palotilan aukkotekijä, joka saadaan kaavasta

$$O = A_v * \sqrt{h_{eq}/A_t} = A_v * \frac{h_{eq}^{1/2}}{A_t}$$

$$O = A_v * \frac{h_{eq}^{1/2}}{A_t} = 4,8m^2 * \frac{1,6^{1/2}}{204m^2} \cong 0,03$$

Happirajoitteisen huonetilan palamisnopeus (Q) on

$$Q = 3,15 * (1 - e^{-0,036/O}) * A_v * \left(\frac{h_{eq}}{D/W}\right)^{1/2}$$

$$Q = 3,15 * \left(1 - e^{-\frac{0,036}{0,03}}\right) * 4,8m^2 * \left(\frac{1,6}{6m/3m}\right)^{1/2} \cong 9,5 [MW]$$

Palotilan lämpötila (T_f) saadaan kaavasta

$$T_f = 6000(1 - e^{-0,1/O})O^{1/2}(1 - e^{-0,00286*\Omega}) + T_0$$

missä

$$T_0 \quad \text{alkulämpötila } 293 \text{ K}$$

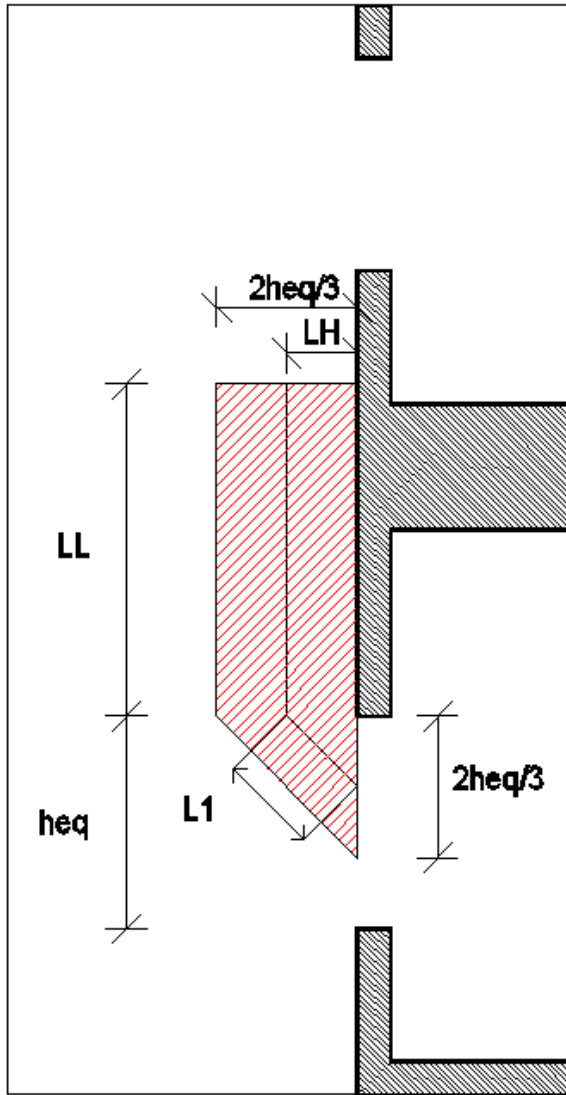
$$\Omega \quad \frac{(A_f * q_{f,d})}{(A_v * A_t)^{1/2}} = \frac{(46,8 * 600)}{(4,8 * 204)^{1/2}} \cong 897$$

Happirajoitteisen palotilan lämpötila (T_f) on

$$T_f = 6000(1 - e^{-0,1/0,03})0,03^{1/2}(1 - e^{-0,00286*897}) + 293 \cong 1218 \text{ K}$$

$$= 925 \text{ C}^\circ$$

Seuraavaksi määritetään ikkunasta uloslyövän liekin dimensiot, jotka on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Palotilasta uloslyövä liekki.

Liekin korkeus (L_L) ikkunan yläosasta saadaan kaavasta

$$L_L = \max \left[0; h_{eq} \left(2,37 \left(\frac{Q}{A_v * \rho_g * (h_{eq} * g)^{1/2}} \right)^{2/3} - 1 \right) \right]$$

missä

L_L liekin korkeus ikkunan yläosasta

ρ_g sisäpuolisen kaasun tiheys

g maan vetovoiman kiihtyvyys

Kun $\rho_g = 0,45 \text{ kg/m}^2$ ja $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, tämä yhtälö voidaan yksinkertaistaa muotoon:

$$L_L = 1,9 * \left(\frac{Q}{w_t}\right)^{2/3} - h_{eq}$$

Liekin korkeus (L_L) ikkunan yläosasta on

$$L_L = 1,9 * \left(\frac{Q}{w_t}\right)^{2/3} - h_{eq} = 1,9 * \left(\frac{9,5}{3}\right)^{2/3} - 1,6 \cong 2,5m$$

Liekin pystyleikkaus (L_1) saadaan kaavasta

$$L_1 = \sqrt{L_H^2 + \frac{h_{eq}^2}{9}} \cong \frac{h_{eq}}{2}$$

missä

L_H liekin vaakaprojektio julkisivusta

$$L_H = h_{eq}/3 = 1,6m/3 \cong 0,53m$$

Liekin pystyleikkaus (L_1) on

$$L_1 = \sqrt{0,53^2 + \frac{1,6^2}{9}} \cong \frac{1,6}{2} \cong 0,8m$$

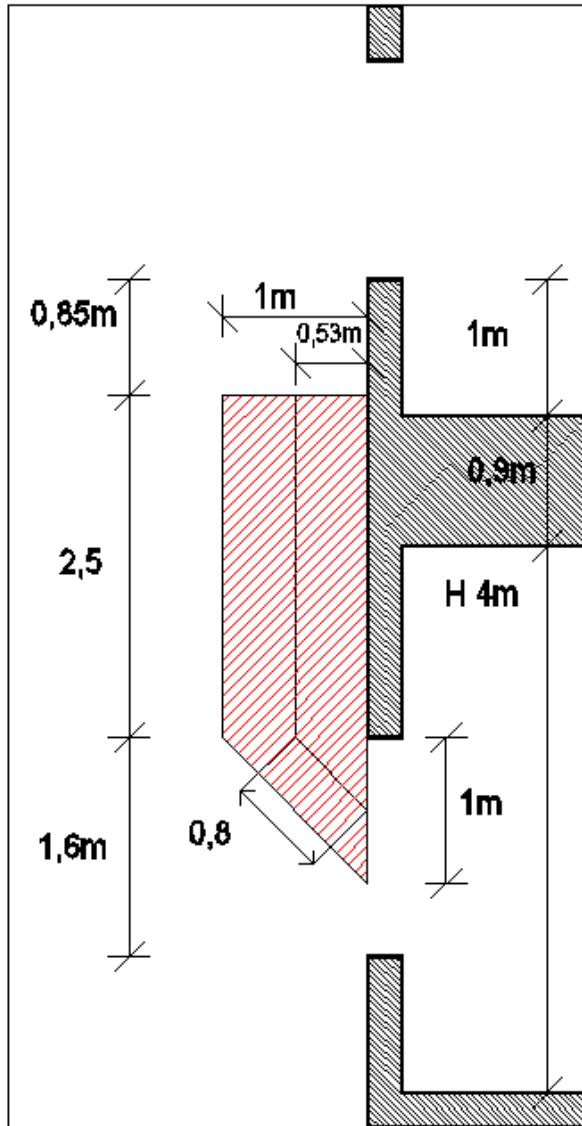
Liekin pituus pitkin akselia (L_f), kun $L_L > 0$ saadaan kaavasta

$$L_f = L_L + h_{eq}/2$$

Liekin pituus pitkin akselia (L_f) on

$$L_f = 2,5 + 1,6/2 = 3,3$$

Laskelmista saatujen liekin dimensioiden pohjalta voidaan piirtää havainnekuva ikkunnasta uloslyövästä liekistä. Happirajoitteisen huonetilan palon liekki on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Happirajoitteisen palon uloslyövän liekin dimensiot.

Kuvasta 9 nähdään kuinka liekki ei yllä yläpuolisen kerroksen ikkunan tasalla vaan jää 850mm sen alapuolella. Näin ollen liekki ei itsessään levitä paloa ylempään kerrokseen. Liekki muodostaa kuitenkin säteilevän pinnan 850mm yläpuolisen ikkunan alapuolelle, josta aiheutuu siihen säteilylämpörasitus. Lisäksi liekistä aiheutuvat pystyvirtaukset lisäävät yläpuolisen ikkunan palorasitusta.

Happirajoitteisessa palossa huonetilassa ei ole riittävästi happea, jotta palossa pyrolysoituvat palokaasut pystyisivät palamaan itse palotilassa. Syttymiskelpoiset pyrolysoituneet palokaasut syttyvät tuleen vasta ikkunalla, missä on riittävästi palamisilmaa. Näin ollen happirajoitteisen palon uloslyövä liekki voi olla suurempi kuin laskelmat osoittavat ja siitä voi seurata palon leviäminen ylempään kerrokseen liekin välityksellä.

2.4.3 Vapaasti palavan huonetilan palo

Vapaasti palavan huonetilan palolla tarkoitetaan paloa, jossa hapensaanti ei rajoita palamisnopeutta. Ainoa palamista rajoittava tekijä on palotilan palokuorma, jolloin puhutaan polttoainerajoitteisesta palosta. Polttoainerajoitteinen palo syntyy silloin kun palotilassa on riittävästi aukkoja maksimaalisen palamisen tarvitseman hapen sisään virtaukselle. Tällainen tilanne voi muodostua silloin kun huonetilan ovi jää auki ihmisten poistuessa.

Vapaasti palavan huonetilan palamisnopeus (Q) on

$$Q = \frac{(A_f * q_{f,d})}{\tau_F}$$

$$Q = \frac{(46,8m^2 * 600 MJ/m^2)}{1200s} \cong 23,4[MW]$$

Laskelmista havaitaan, että vapaasti palavan huonetilan palamisnopeus on noin 2,5 kertaa happirajoitteista paloa suurempi tässä tapauksessa. Valitaan vapaasti palavan huonetilan palo jatkotarkasteluun, koska sen paloteho on suurempi kuin happirajoitteisen huonetilan palon.

Palotilan lämpötila (T_f) saadaan kaavasta

$$T_f = 6000(1 - e^{-0,1/\Omega})\Omega^{1/2}(1 - e^{-0,00286*\Omega}) + T_0$$

missä

T_0 alkulämpötila 293 K

$$\Omega = \frac{(A_f * q_{f,d})}{(A_v * A_t)^{1/2}} = \frac{(46,8 * 600)}{(4,8 * 204)^{1/2}} \cong 897$$

Vapaasti palavan palotilan lämpötila (T_f) on

$$T_f = 6000(1 - e^{-0,1/0,03})0,03^{1/2}(1 - e^{-0,00286*897}) + 293 \cong 1218 K$$

$$= 925 C^o$$

Liekin korkeus (L_L) ikkunan yläosasta on

$$L_L = \max \left[0; h_{eq} \left(2,37 \left(\frac{Q}{A_v * \rho_g * (h_{eq} * g)^{1/2}} \right)^{2/3} - 1 \right) \right]$$

$$= 1,9 * \left(\frac{Q}{w_t} \right)^{2/3} - h_{eq} = 1,9 * \left(\frac{23,4}{3} \right)^{2/3} - 1,6 \cong 5,9m$$

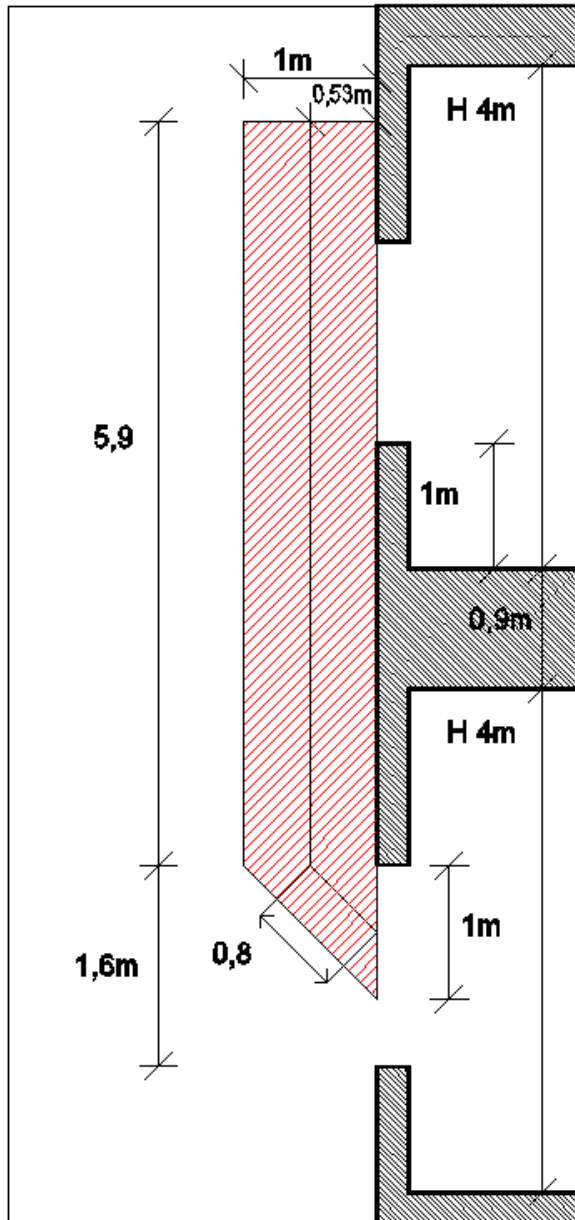
Liekin pystyleikkaus (L_1) on

$$L_1 = \sqrt{L_H^2 + \frac{h_{eq}^2}{9}} \cong \frac{h_{eq}}{2} L_1 = \sqrt{0,53^2 + \frac{1,6^2}{9}} \cong \frac{1,6}{2} \cong 0,8m$$

Liekin pituus pitkin akselia (L_f), kun $L_L > 0$ on

$$L_f = L_L + h_{eq}/2 = 5,9 + 1,6/2 = 6,7$$

Laskelmista saatujen liekin dimensioiden pohjalta voidaan piirtää havainnekuva ikkunnasta uloslyövästä liekistä. Vapaasti palavan huonetilan palon liekki on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Vapaasti palavan palon uloslyövän liekin dimensiot.

Liekin lämpötilan laskennassa käytetään Eurocode 1 osan 1-2 liitteen B mukaista ”pakottoman ilmanvaihdon” laskentamallia koska rakennuksen paloautomaatiikan oletetaan pysäyttävän ilmanvaihdon paloalueella.

Liekin lämpötila ikkunan kohdalla (T_w) saadaan kaavasta

$$T_w = \frac{520}{\left(1 - 0,4725 * \left(\frac{L_f * w_t}{Q}\right)\right)} + T_0 =$$

Liekin lämpötila ikkunan kohdalla (T_w) on

$$T_w = \frac{520}{\left(1 - 0,4725 * \left(\frac{6,7 * 3}{23,4}\right)\right)} + 293 = 1168K = 875C^0$$

missä, $L_f * w_t / Q < 1 = 6,7 * 3 / 23,4 < 1 = 0,86 < 1$

Liekin lämpötila pitkin akselia (T_z) saadaan kaavasta

$$T_z = (T_w - T_0) * \left(1 - 0,4725 * \left(\frac{L_x * w_t}{Q}\right)\right) + T_0 =$$

missä

L_x akselin pituus ikkunasta pisteeseen, jolle laskenta suoritetaan, sekä $L_x * w_t / Q < 1$

Liekin lämpötila (T_z) akselin kohdassa $L_x = 4,15$ (liekki yläpuolisella ikkunalla) on

$$T_z = (1168 - 293) * \left(1 - 0,4725 * \left(\frac{4,15 * 3}{23,4}\right)\right) + 293 \cong 948K = 655C^0$$

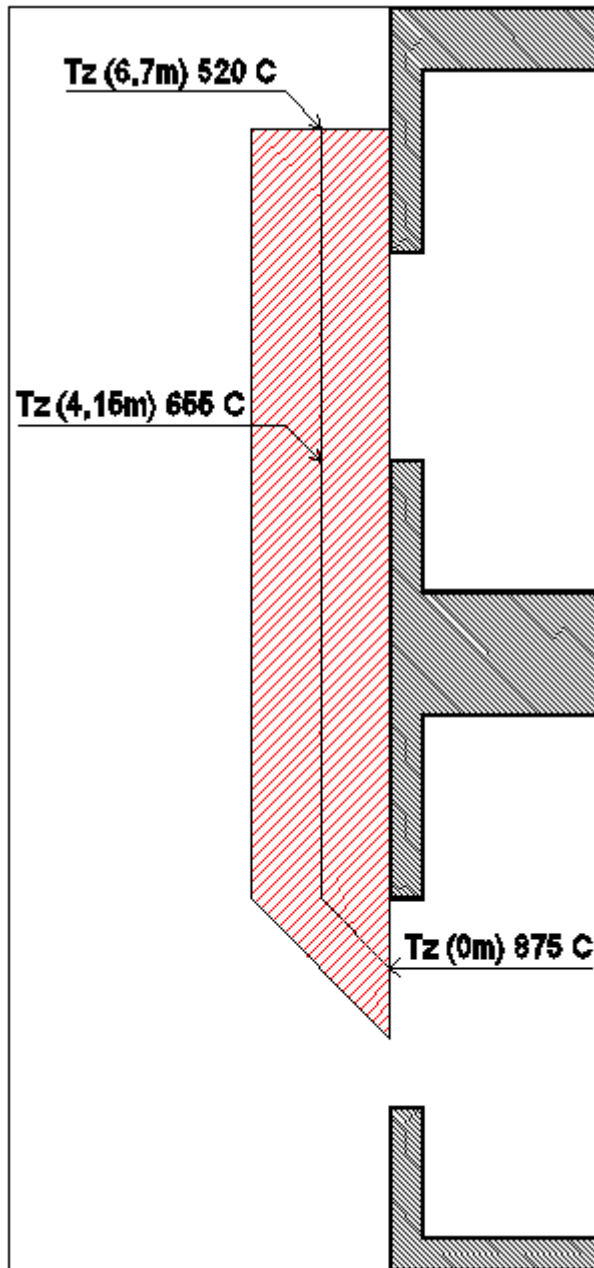
missä, $L_x * w_t / Q < 1 = 4,15 * 3 / 23,4 < 1 = 0,53 < 1$

Liekin lämpötila (T_z) akselin kohdassa $L_x = 6,7m$ (liekin ylin kohta) on

$$T_z = (1168 - 293) * \left(1 - 0,4725 * \left(\frac{6,7 * 3}{23,4}\right)\right) + 293 \cong 812K = 520C^0$$

missä, $L_x * w_t / Q < 1 = 6,7 * 3 / 23,4 < 1 = 0,86 < 1$

Laskelmista saatujen liekin lämpötilojen pohjalta voidaan piirtää havainnekuva ikkunas-
 ta uloslyövän liekin lämpötiloista sen keskiakselilla. Vapaasti palavan huonetilan palon
 liekin lämpötilat sen keskiakselilla on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Vapaasti palavan palon uloslyövän liekin lämpötilat keskiakselilla.

Kuvasta 10 nähdään kuinka liekki peittää yläpuolisen ikkunan kokonaisuudessaan. Ku-
 vassa 11 on esitetty liekin lämpötilat sen keskiakselin eri korkeuksilla. Liekin lämpötila
 yläpuolisen ikkunan alareunassa on 655 C^0 ja liekin huipulla ikkunan yläpuolella 520 C^0 .

Liekin lämpötilan perusteella voidaan määrittää liekistä aiheutuva lämpösäteilyn voimakkuus (lämpövuon) yläpuolista ikkunaa kohden. Hietaniemi J. on tutkimuksessaan Palopatsaat: Laskentamalleja ja matala rakentaminen, käyttänyt säteilyn voimakkuuden arviointiin seuraavaa Stefan-Boltzmannin teoriaa.

Lämpövuon voimakkuus (q_f'') saadaan kaavasta $q_f'' = \varepsilon_f * \sigma * T_f^4$

missä

ε_f liekin säteilykerroin, voidaan käyttää arvoa $\varepsilon_f = 1,0$

σ Stefan-Boltzmannin vakio $5,67 * 10^{-8} W/m^2 K^4$

T_f säteilijän lämpötila (K)

Säteilylämmön voimakkuus (q_f'') liekin keskiakselin kohdassa $L_{4,15}$ (948 K) on

$$q_f'' = \varepsilon_f * \sigma * T_f^4$$

$$q_f'' = 1 * 5,67 * 10^{-8} * 948 = 45\,794 W/m^2 \cong 45,8 kW/m^2$$

2.4.4 Yhteenveto palon leviäminen ulkokautta

Palon leviäminen yläpuoliseen asuntoon voi tapahtua kuljettumatta, kun liekki rikkoo palotilan yläpuolisen ikkunan ja pääse tunkeutumaan asuntoon. Hietaniemi J. on käyttänyt tutkimuksissaan VTT 2415 Tiivis ja matala rakentaminen sekä VTT 2253 Puujulkisivut kerrostaloissa seuraavia säteilytasoja ikkunan hajoamiselle.

- ikkunalasi voi (hyvin harvoin) särkyä $9 kW/m^2$:n suuruisen lämpövuon vaikutuksesta
- ikkunalasi ei voi kestää yli $35 kW/m^2$:n suuruisista lämpövuota, lämpövuon oletetaan rikkovan ikkunan kolmessa minuutissa

Esimerkkitapauksen vapaasti palavan huonetilan palon liekki yltää yläpuolisen ikkunan tasolle, jolloin liekin lämpötila on $655 C^0$. Liekki muodostaa ikkunalle säteilevän pinnan, jonka lämpövuon on korkeimmillaan noin $46 kW/m^2$ ja näin ollen yläpuolisen ikkunan voidaan olettaa rikkoutuvan kolmessa minuutissa.

Arvioitaessa yläpuolisen ikkunan palonkestoa on huomioitava, että lasin rikkoutumisen tarkka ennustaminen on vaikeaa. Lasin rikkoutumisen aiheuttava lämpövuon on voimakkaasti riippuvainen liekin lämpötilasta, joka ei ole tarkasti määritelty suure, vaan omaa suhteellisen suuren epävarmuuden (Hietaniemi 2007b, 29). Epävarmuustekijöitä liekin

lämpötilan arvioinnissa ovat mm, tilan ilmanvaihto ja sääolosuhteet. Lisäksi lasin lämmönkestävyyden suurin ongelma on lasin hauraus, joka vaihtelee lasityypeittäin. Tavallisella ikkunalla ja julkisivulaselementillä on toisistaan huomattavasti poikkeavat ominaisuudet. Julkisivulaselementin lasitus on huomattavasti tavallista ikkunaa massiivisempi, joten on ilmeistä, että erityyppisillä laseilla on erilainen lämmönkestävyys.

Esimerkkitapauksen happirajoitteisessa palossa liekki puolestaan ei yllä yläpuolisen ikkunan tasalle. Liekistä aiheutuvat pystyvirtaukset ja lämpövuoto kuitenkin rasittavat sitä. Vaikka lämpövuoto ei riittäisi rikkomaan yläpuolista ikkunaa, niin on kuitenkin huomioitava esimerkiksi ikkunalle ripustettujen herkästi syttyvien verhomateriaalien syttyminen. Hietaniemi J. on käyttänyt tutkimuksessaan VTT 2253 selluloosapohjaisten verhomateriaalien syttymiselle arvoa 10 kW/m^2 pitkäaikaisena säteilynä. Näin ollen myös happirajoitteisen palon on mahdollista levitä yläpuoliseen huoneistoon, vaikka julkisivulasitus ei rikkoutuisikaan. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, kun lämpötila ikkunan kohdalla kohoaa yli 300 C^0 :n, niin ikkunan särkymisen ja selluloosapohjaisten materiaalien syttymisvaara olemassa.

Palon leviäminen ulkokautta ylempiin kerroksiin on ilmeistä. Palon leviämisen estäminen ulkokautta on rakenteellisen keinoin käytännössä mahdotonta. Mikäli palon leviäminen ulkokautta haluttaisiin estää, tulisi ulkoseinän aukkojen olla pieniä ja niiden vertikaaliset etäisyydet suurina. Käytännössä tämä aiheuttaisi tilojen käytölle ja viihtyvyydelle niin suurta haittaa että sellaiseen ratkaisuun ei päädytä. Palon leviäminen tulee torjua aktiivisin palontorjuntakeinoin. Automaattinen sammutuslaitteisto onkin ainoa järjestelmä, jolla pystytään tehokkaasti estämään palon leviäminen ulkokautta.

2.4.5 Erityispiirteet

Palon leviäminen korkeassa rakennuksessa tapahtuu pääpiirteissään samalla tavalla kuin matalassakin rakennuksessa. Korkean ja matalan rakennuksen julkisivut voivat olla palon leviämisen kannalta hyvinkin samankaltaisia, sillä molemmissa tapauksissa huonetilan palo kykenee yleensä leviämään ulkokautta ylempiin kerroksiin. Teoriassa molemmissa tapauksissa palo voi levitä ulkokautta aina vesikatolle saakka, mutta korkeassa rakennuksessa palon laajuus voi olla huomattavasti suurempi. Palon suurempaa laajuutta korkeassa rakennuksessa on havainnollistettu kuvassa 12.



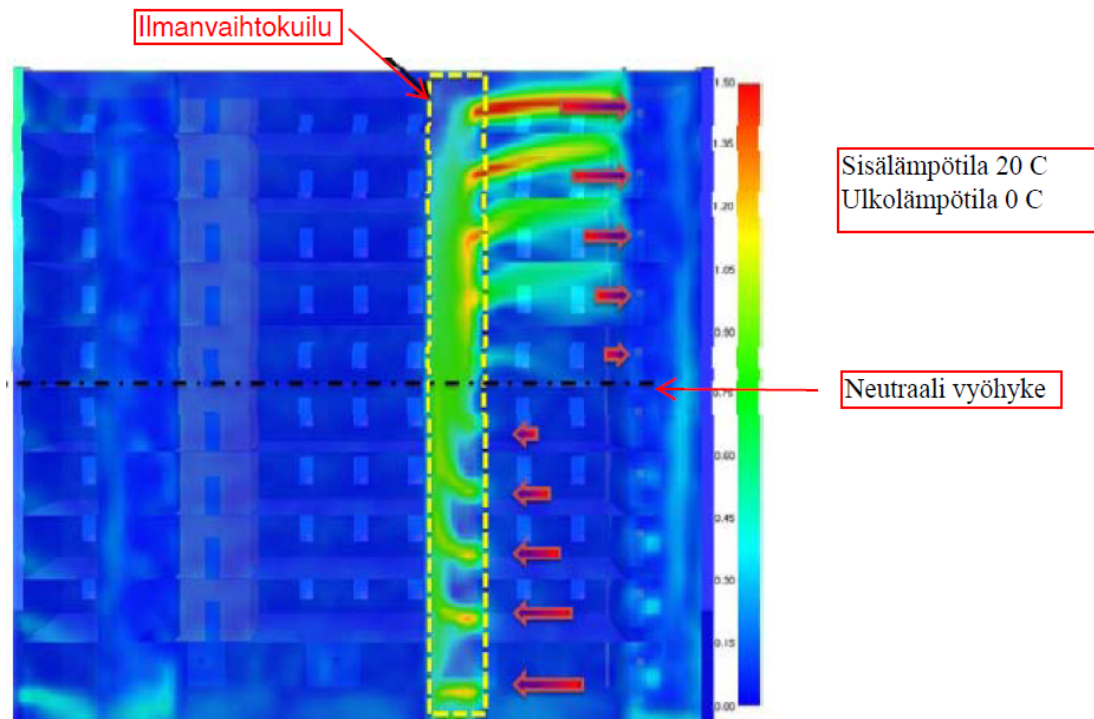
Kuva 12. Ulkokautta levinnyt palo korkeassa rakennuksessa.
Julkisivun eristeenä oli käytetty palavaa solumuovieristettä. (FM Global 2012, 13).

Palon leviämisen estäminen osastosta korkean rakennuksen sisäpuolella ei juuri poikkea tavanomaisesta matalasta rakentamisesta. Normaalit palo-osastoinnin muodot (käyttöta-
paosastointi, pinta-alaosastointi, kerrososastointi) antavat hyvän perustan palon leviämi-
sen estämiselle rakennuksen sisäpuolella. Korkeassa rakennuksessa kerrososastoinnin
merkitys korostuu, koska sammutustyötä ei voida suorittaa ulkopuolelta käsin. Palon
vertikaalisen leviämisen estämiseen onkin syytä kiinnittää erityistä huomiota.

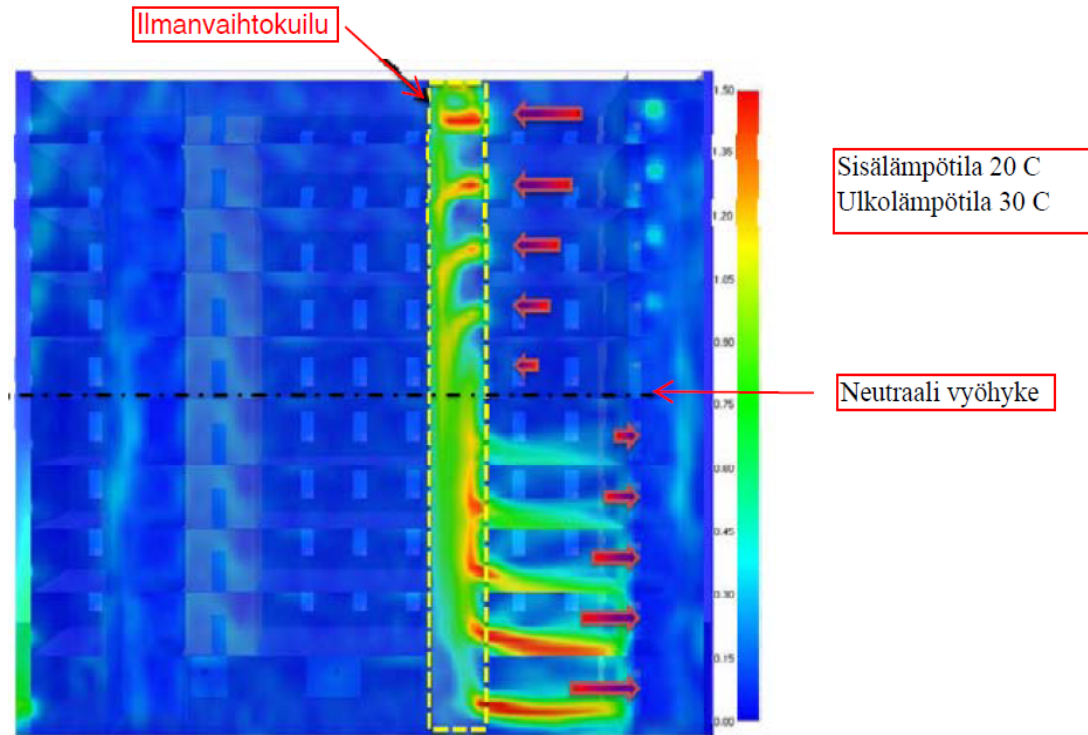
Korkeisiin rakennuksiin muodostuu väistämättä korkeita ontelotiloja, jotka saattavat
kulkea lähes koko rakennusmassan läpi. Pystysuuntaisissa ontelotiloissa kuumat kaasut
sekä savu voivat nousta ylöspäin suurella nopeudella. Kaasujen nopean etenemisen ai-
kaansaa niiden lämpötila, koska kuumuudestaan johtuen ne ovat ympäröivää ilmaa ke-
vyempiä. Nostevoima on aina sitä suurempi mitä kuumempia kaasut ovat. Toinen savu-
kaasujen nousuun oleellisesti vaikuttava tekijä on ontelotiloissa esiintyvä hormi-ilmiö.
Hormi-ilmiö on tilan sisä- ja ulkopuolen välillä vallitsevan paine-eron tuotos. Ontelonti-
lan sisäpuolelle pääsevät savukaasut ovat sen ulkopuolista ilmaa kuumempia ja näin
ollen ylöspäin noustessaan voivat aiheuttaa voimakkaita virtauksia. Kaasujen nostevoi-

man määrään vaikuttaa myös kyseisen tilan koko ja muoto sekä pintojen ja kaasujen emissiviteetti, eli kaasujen kyky säteillä pinnoista. (Hietaniemi 2002, 22).

Korkeassa rakennuksessa rakennuksen korkeus aikaansaa normaalista poikkeavia paine-eroja ulko- ja sisäilman välisen lämpötilaeron vaikutuksesta. Rakennuksen muodostuu neutraalitaso, joka vastaa ulkoilman painetta. Neutraalitason ylä- ja alapuolella vallitsee sääoloista riippuen positiivinen tai negatiivinen paine ulkoilmaan nähden. Kuvassa 13 on esitetty vallitsevat normaalit paineolosuhteet kesälämpötiloissa ja kuvassa 14 käänteiset paineolosuhteet talvilämpötiloissa. Paine-erot voimistuvat ulko- ja sisäilman lämpötilaeron ja rakennuksen korkeuden kasvaessa. (SFPE 2012a, 103).



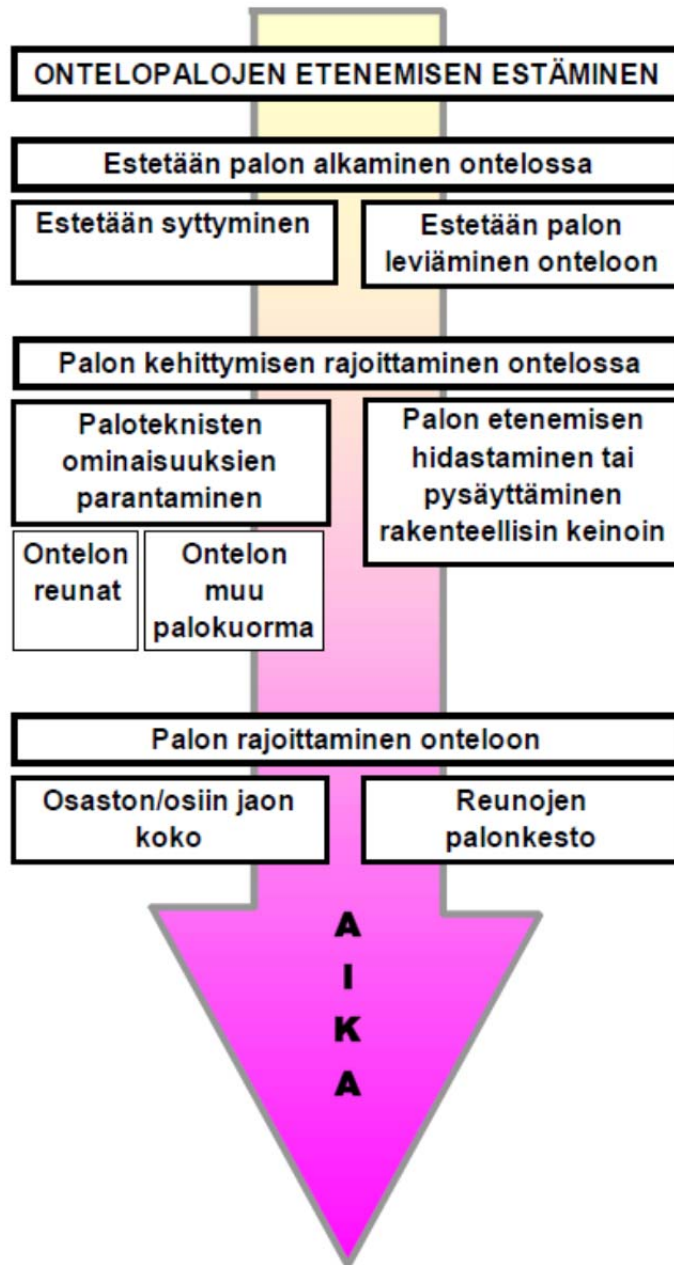
Kuva 13. Normaali paine-ero
(SFPE 2012a, 104).



Kuva 14. Käänteinen paine-ero
(SFPE 2012a,104).

Tavanomaisessa matalassa rakennuksessa palon ja savukaasujen pääasiallinen leviämissuunta on ylöspäin. Korkean rakennuksen paine-eroista johtuen ilmavirtaukset voivat kuljettaa palokaasuja myös alaspäin varsin odottamattomalla tavalla. Varsinkin jäähtyneet savukaasut ovat alttiina alaspäin virtaukselle.

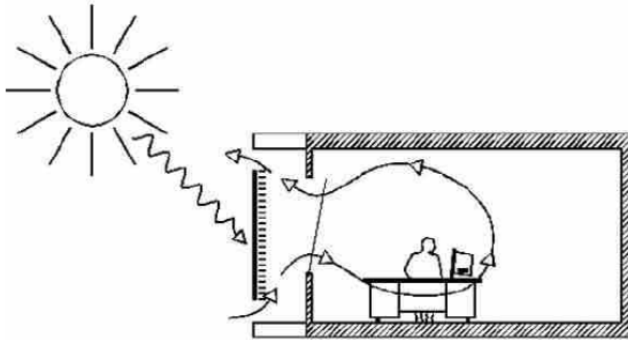
Ensisijaisesti palon syttyminen ontelotilassa pitää pyrkiä estämään ja minimissään palo pitää saada rajattua yhteen palo-osastoon. Pystysuuntaisten kuilujen ja roilojen palonkestoon sekä kerrossastoivien välipohjien läpivienteihin tulekin kiinnittää erityistä huomiota. Esimerkkinä NFPA 101 kohta 8.6.5 ohjeistaa osastoimaan korkean rakennuksen pystykuilut minimissään 2 tunnin luokkaan. Kahden tunnin osastointiluokka on tavanomaista osastointia korkeampi ja sillä pyritään saamaan lisävarmuutta pystykuilujen palonkestoon. Pystykuilujen osastoinnilla tavanomaista korkeampaan luokkaan pyritään tehokkaampaan ontelotilassa syttyneen palon liekkien, kuumien kaasujen ja savun leviämisen rajoittamiseen. Kuvassa 15 on esitetty ontelotilan palon ehkäisykeinot aikajärjestyksessä. (Hietaniemi 2003, 18).



Kuva 15. Ontelotilan palon ehkäisykeinot aikajärjestyksessä.
(Hietaniemi 2003, 18).

Rakennuksen sisäisten ontelotilojen lisäksi niitä voi muodostua rakennuksen julkisivuun mm. kaksoisjulkisivun myötä. Kaksoisjulkisivu on rakenneratkaisu, jossa kahden julkisivukerroksen väliin jää vapaa ilmatila. Kaksoisjulkisivussa ulompi kerros toimii sääsuojana, jolloin sisemmän kerroksen ikkunoita voidaan avata esimerkiksi tuuletustarkoituksessa sääolosuhteista riippumatta. (Hietaniemi 2003, 209). Kaksoisjulkisivuja on rakennettu Suomessa 1990-luvulla muutamia pääasiassa suuriin toimistorakennuk-

siin, kuten Nokian Keilalahden pääkonttoriin. Kaksoisjulkisivulliselle rakennukselle on ominaista usean kerroksen muodostama suuri palo-osasto, jonka paloturvallisuuden perustana on automaattinen sammutuslaitteisto. (Hietaniemi 2004, 56). Kuvissa 16 ja 17 on esitetty havainnekuva kaksoisjulkisivusta.



Kuva 16. Kaksoisjulkisivu ja sen viereinen huone
(Hietaniemi 2003, 209).



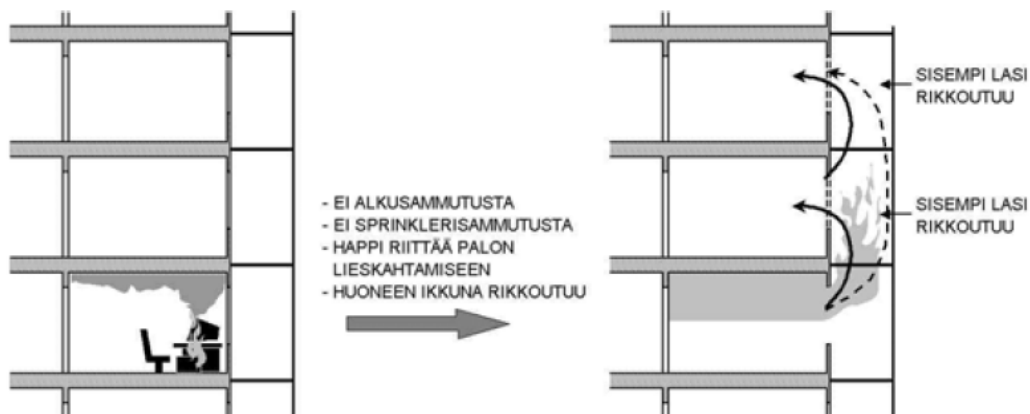
Kuva 17. Kaksoisjulkisivun välitila; lasipintojen väliin asennettu sälekaihtimet
(Tenhunen 2003, 41.).

Kaksoisjulkisivuratkaisut ovat suhteellisen uusi ratkaisu suomalaisessa rakentamisessa ja näin ollen merkittäviä palotapauksia ei ole vielä esiintynyt. Mielestäni korkeissa rakennuksissa tulee välttää kaksoisjulkisivun käyttö tai sen vaikutukset on palon ja savun leviämiseen on tutkittava huolellisesti. Kaksoisjulkisivun lasien välinen ontelotila saattaa olla syytä osastoida pystysuuntaista leviämistä vastaan, kuten on tehty mm. erityisen

korkeissa kohteissa Saksassa (esim. 162 m korkea RWE Tower -rakennus Essenissä) ja Ruotsissa (31-kerroksinen Kista Science Tower Ruotsissa) (Hietaniemi 2003, 141).

Kuten tämän kappaleen alkupuolella on kerrottu, niin korkeassa rakennuksessa palon leviäminen ylöspäin ulkokautta (sekä sisäisiä yhteyksiä pitkin) vaikeuttaa rakennuksesta poistumista sekä sammutus- ja pelastustoimintaa huomattavasti. Huonoimmassa tapauksessa kaksoisjulkisivu voi nopeuttaa palon leviämistä ylöspäin, koska ulompi julkisivupinta estää lämpöä ja savua vapautumasta ulkoilmaan. Tätä ilmiötä on havainnollistettu kuvassa 18. Lähtökohtaisesti sammutuslaitteistolla varustetussa rakennuksessa palon leviäminen ylöspäin kaksoisjulkisivun välitilassa on epätodennäköinen tilanne. Kuitenkin automaattisen sammutuslaitteiston häiriötilanteessa voivat palo ja savukaasut levitä vaarallisen nopealla tavalla kaksoisjulkisivun välitilassa. Palon leviämistä kaksoisjulkisivun välitilassa on havainnollistettu kuvassa 18. Lisäksi kaksoisjulkisivun välitilan suojaus automaattisella sammutuslaitteistolla tulee arvioida tapauskohtaisesti. Yleisenä periaatteena pidetään, että tilaa ei tarvitse sprinklata, jos tilassa ei ole palokuormaa eikä välitila avaudu rakennuksen muihin tiloihin (FKL 2008, 1). Tosin korkea rakennuksen jatkuvan kaksoisjulkisivun tapauksessa avautumista muihin tiloihin ei voida välttää (FKL 2008, 1).

Kaksoisjulkisivun toteuttaminen edellyttää tapauskohtaista erityissuunnittelua ja ratkaisuista on syytä neuvotella paikallisen pelastusviranomaisen kanssa, kuten Ympäristöopas 39 sivulla 137 ohjeistaa. Lisäksi ulkoseinän materiaaleihin ja eristeisiin tulee kiinnittää huomiota ja pyrkiä käyttämään palamattomia rakennustarvikkeita, jotta ulkoseinärakenne itsessään ei edesauta palon leviämistä (Laaksonen 2013).



Kuva 18. Palon leviäminen kaksoisjulkisivun kautta (Hietaniemi 2004, 57).

2.4.6 Suomen määräykset

E1:n kohdassa 7.2.1 määritellyt osastoivat rakenteet rajoittavat palon palo-osastoon 60–120 minuuttia palokuormaryhmästä riippuen. E1:n kohdassa 7.6.2 määritellään ulkoseinät ja parvekkeet rakennuttavaksi niin, että palo ei leviä niiden kautta vaaraa aiheuttavalla tavalla. Lisäksi tulee ottaa huomioon palon leviämisen vaara ulkoseinän ulkopintaa pitkin, ulkoseinärakenteen sisällä sekä ulkoseinän ja osastoivan rakennusosan liitoksen kautta. Rakennuksen ulkoseinät eivät yleensä toimi osastoivana rakenteena, mikäli alle 8 metrin etäisyydellä ei ole muita rakennuksia tai rakennelmia (Ympäristöopas 39, s.86). Erityistapauksissa kuten korkean ja matalan rakennusosan yhtymäkohdassa palo-osastointi voidaan toteuttaa YO 39:n sivulla 88 annettujen ohjeiden mukaan, joko 8 metriä vaakasuunnassa tai 5 metriä pystysuunnassa.

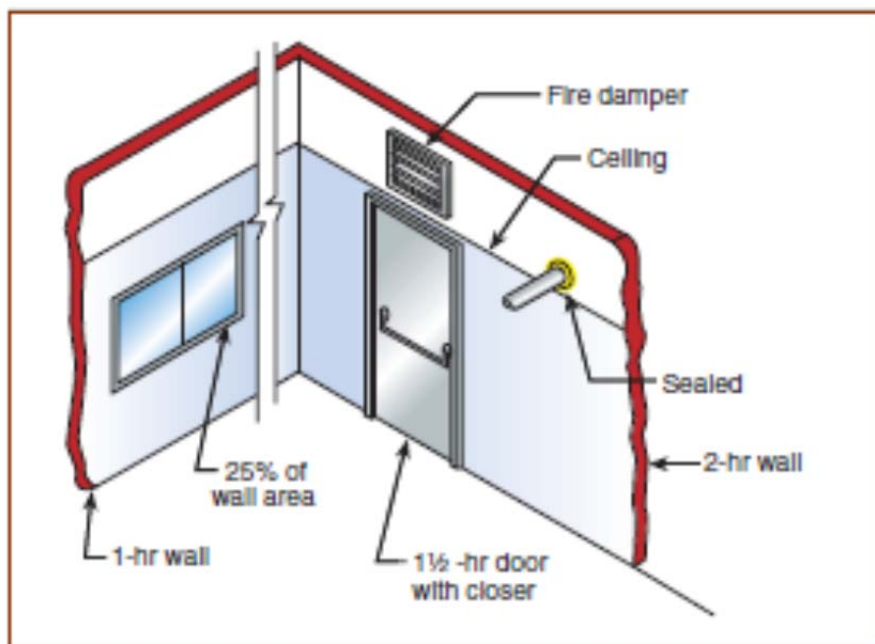
Ulkokautta tapahtuvan palon leviämisen rajoittamiseksi E1:n kohta 7.6.2 määrittelee, että ulkoseinät tulee rakentaa niin, että palo ei leviä sen kautta vaaraa aiheuttavalla tavalla. E1:n määritelmä on hyvin laaja ja jättää näin ollen runsaasti vaihtoehtoja palon leviämisen rajoittamiseksi. Kerrososastoinnin toteuttamisesta ulkoseinällä on Ympäristöopas 39:n ohjeisiin kirjattuna, että päällekkäisten ikkunoiden kohdalla palon leviämistä ulkokautta voidaan rajoittaa 1 metrin korkuisella katkolla palamatonta A2-luokan rakennustarviketta. Yhden metrin palamattoman rakennustarvikkeen tarkoituksena on että ikkunoiden yläpuolella ulkoseinät eivät myötävaikuta paloa. Mikäli päällekkäisten ikkunoiden väliin ei saada järjestettyä 1 metrin katkoa, voidaan sitä kompensoida ulokkeilla (lippa), jotka tosin ovat epäkäytännöllisiä Suomen sääoloissa mm. lumen ja jään kerääntymisen johdosta. Edellä mainitut rakenteelliset ratkaisut tulevat kysymykseen, kun rakennusta ei ole suojattu automaattisella sammutuslaitteistolla. (Ympäristöministeriö 2003, 98).

2.4.7 Ulkomaiset määräykset

Ulkomaisten määräysten lähtökohta palon leviämisen estämiselle osastosta on hyvin samankaltainen kuin Suomen määräyksillä. Palon tulee rajautua syttymisosastoonsa määrätyn ajan, eikä se saa levitä kohtuutonta vaaraa aiheuttavalla tavalla ulkoseinän kautta. Esimerkkinä NFPA 101 kohta 8.3.6.7 ohjeistaa rajoittamaan palon ja kuumien savukaasujen leviämistä ylempiin kerroksiin paikassa, jossa osastoiva välipohjarakenne

päätyy ulkoseinään. Osastoivan rakenteet ja ulkoseinän yhtymäkohdassa tulee huolehtia, että palon leviämistä on rajoitettu rakenteiden yhtymäkohdassa riittävästi.

Palon leviämisen estäminen osastosta rakennuksen sisäkautta on myös kirjattu ulkomaisiin määräyksiin hyvin samaan tapaan kuin suomen määräyksissä. Peruseriaatteet, kuten läpivientien tiivistäminen sekä kaiken tekniikka läpivientien toteuttaminen siten ettei osastoivuus heikenny ovat käytännössä katsoen samoja. Osastoivia rakenteita ei saa heikentää läpivienneillä vaan ne on varustettava asianmukaisin palokatkoain tai muin järjestelyin, kuten koteloimalla vastaamaan osastoivan rakenteen palonkestoluokkaa. Ulkomaisissa määräyksissä merkittävin asia palon leviämisen estämisen kannalta on selkeästi ohjeistuksen kattavuus ja selkeys. Esimerkkinä seuraava NFPA 101 Handbook kuva, jossa on havainnollistettu tavanomaisen aukkojen ja läpivientien huomiointia. Kuten kuvasta 19 on nähtävissä, niin NFPA määrittelee tarkempia arvoja mm. paloovien luokkavaatimuksille. Lisäksi määräyksissä ja niiden sovellutusohjeissa asioiden esittäminen ja havainnollistaminen on varsin korkealla tasolla.



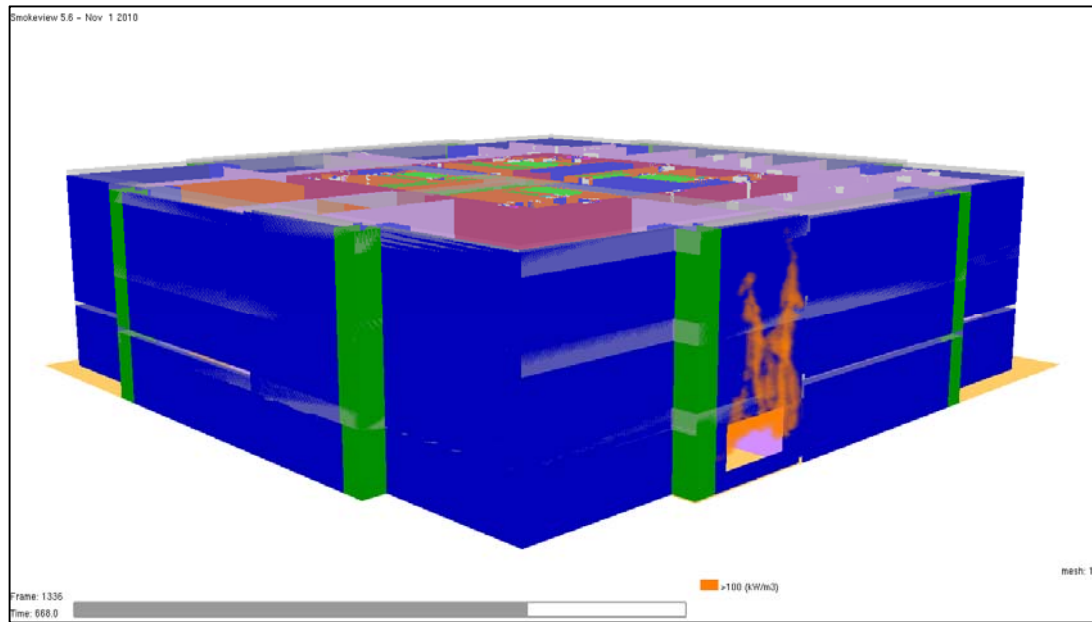
Kuva 19. Tyypilliset palo-osastoivan rakenteen läpiviennit (NFPA 101b. 2012, 365).

2.4.8 Case Study Palon leviäminen ulkokautta

Case Study-projektissa palon leviämistä ulkokautta pohdittiin niin julkisivuratkaisun kuin julkisivun aukotuksen näkökulmasta. Kaksoisjulkisivun käyttö hylättiin, koska rakennuksen lähes kaikki tasot haluttiin kerrososastoiviksi. Ainoastaan alimmat 5 kerrosta muodostivat yhtenäisen palo-osaston, jonka kohdalla kaksoisjulkisivun välitilassa leviävät palo- ja savukaasut olisivat olleet hallittavissa eivätkä olisi aiheuttaneet kohtuutonta riskiä. Kerrososastoivien välipohjien kohdalla kaksoisjulkisivu olisi jouduttu katkaisemaan palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi.

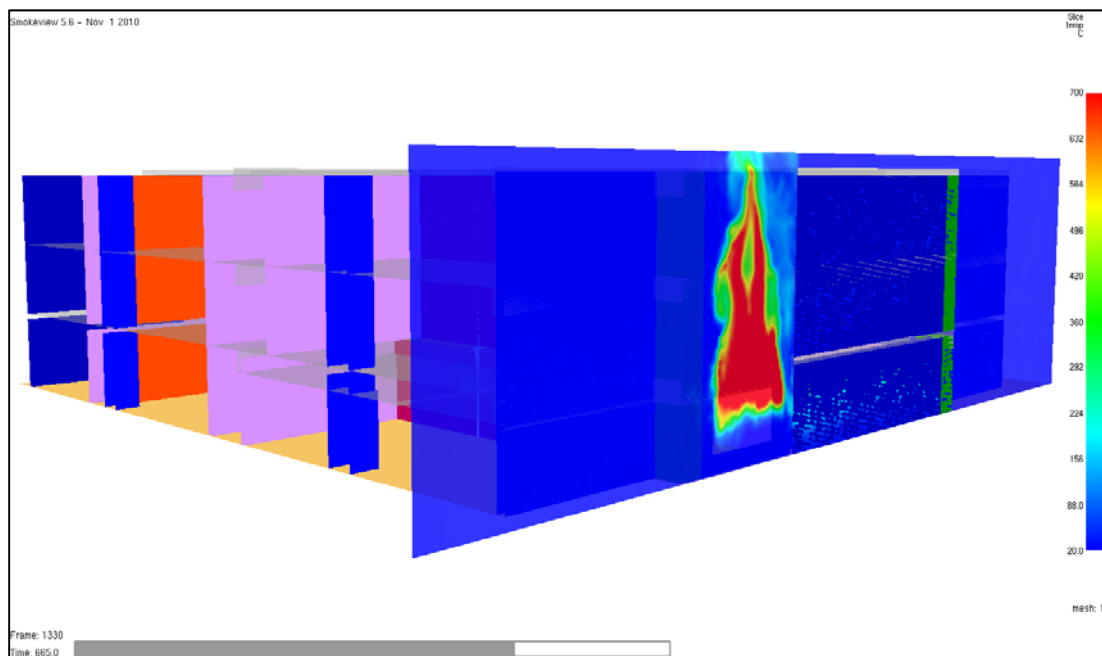
Case Study tehtävänannossa kerrostasojen väliseksi korkeudeksi oli määritelty 4,95 metriä. Näin ollen vapaaksi huonekorkeudeksi saadaan noin 3,5 metriä (välipohjarakenteet noin 1 metri, tekniikkatila noin 0,5 metriä), joka on työpaikka- ja asuinkäytössä verrattain suuri kerroskorkeus. Tavanomaisesti Suomessa rakennettavat toimistotilat ovat korkeudeltaan välipohjasta välipohjaan luokkaa 3,6 metriä. Näin ollen on teoriassa mahdollista määrittellä ikkuna-aukot niin pieniksi, että ikkunoista uloslyövä liekki ei pystyisi levittämään paloa ylempiin kerroksiin. Kuten tämän kappaleen alussa esitetystä esimerkkitapauksesta nähdään, niin happirajoitteisen huonetilan palo aiheuttaa noin 2,5 metrin korkuisen liekin ikkunan yläpuolelle. Mikäli päällekkäisten ikkunoiden välinen etäisyys toteutettaisiin riittävän suurena, olisi näin teoriassa mahdollista estää palon leviäminen ulkokautta. Edellä mainittuun liittyy kuitenkin paljon epävarmuuksia. Tilassa mahdollisesti tapahtuvan palon palamisnopeus riippuu monista tekijöistä kuten tilan koosta, palokuorman määrästä ja palamisilman saannista. Lisäksi tilojen käyttömukavuuden johdosta sisälle halutaan runsaasti luonnonvaloa ja korkeat ikkunat parantavat lisäksi näkyvyyttä ulos rakennuksesta.

Case Study projektissa päätettiin toteuttaa tavanomainen ikkunallinen julkisivu, jossa on korkeat ikkunat. Tältä pohjalta palon leviämistä tutkittiin FDS 5 (Fire Dynamics Simulator) – ohjelmalla. Simuloinneissa oletettiin automaattisella sammutuslaitteistolla varustamattoman toimistohuoneen palon kehittyvän täyden palon vaiheeseen ja tilasta uloslyövän liekin aiheuttavan palorasituksen ylempien kerrosten ikkunoille. Julkisivulasielementtien oletettiin rikkoutuvan, kun lämpötila niiden kohdalla kohoaa yli 300 C⁰:n. Kuvassa 20 on esitetty toimistohuoneesta uloslyövä liekki 668 sekuntia palon alkamisesta.



Kuva 20. Toimistohuoneen palo 668 sekuntia palon alkamisesta (Finnish Case Study 2012, 33).

Toimistohuoneen palosta aiheutuu kahdelle ylemmälle kerrokselle palorasitus, jonka lämpötiloja on esitetty kuvassa 21. Kuvaajan punaisella alueella lämpötila on vähintään

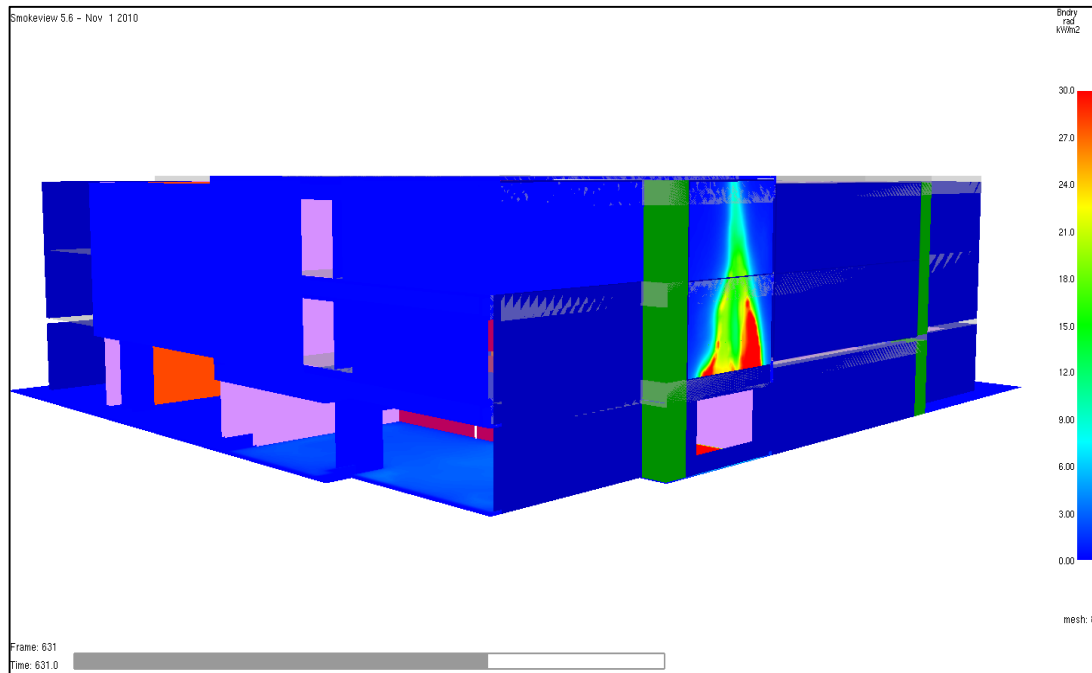


700 C⁰.

Kuva 21. Lämpötilan kuvaaja 665 sekunnin kuluttua palon alkamisesta.

Punaisella alueella lämpötila on vähintään 700 C⁰. (Finnish Case Study 2012, 35).

Toimistohuoneen palosta aiheutuvan lämpösäteilyn määrä ulkoseinällä on esitetty kuvassa 22. Lämpösäteily kuvaajan punaisella alueella on yli 30 kW/m^2 .

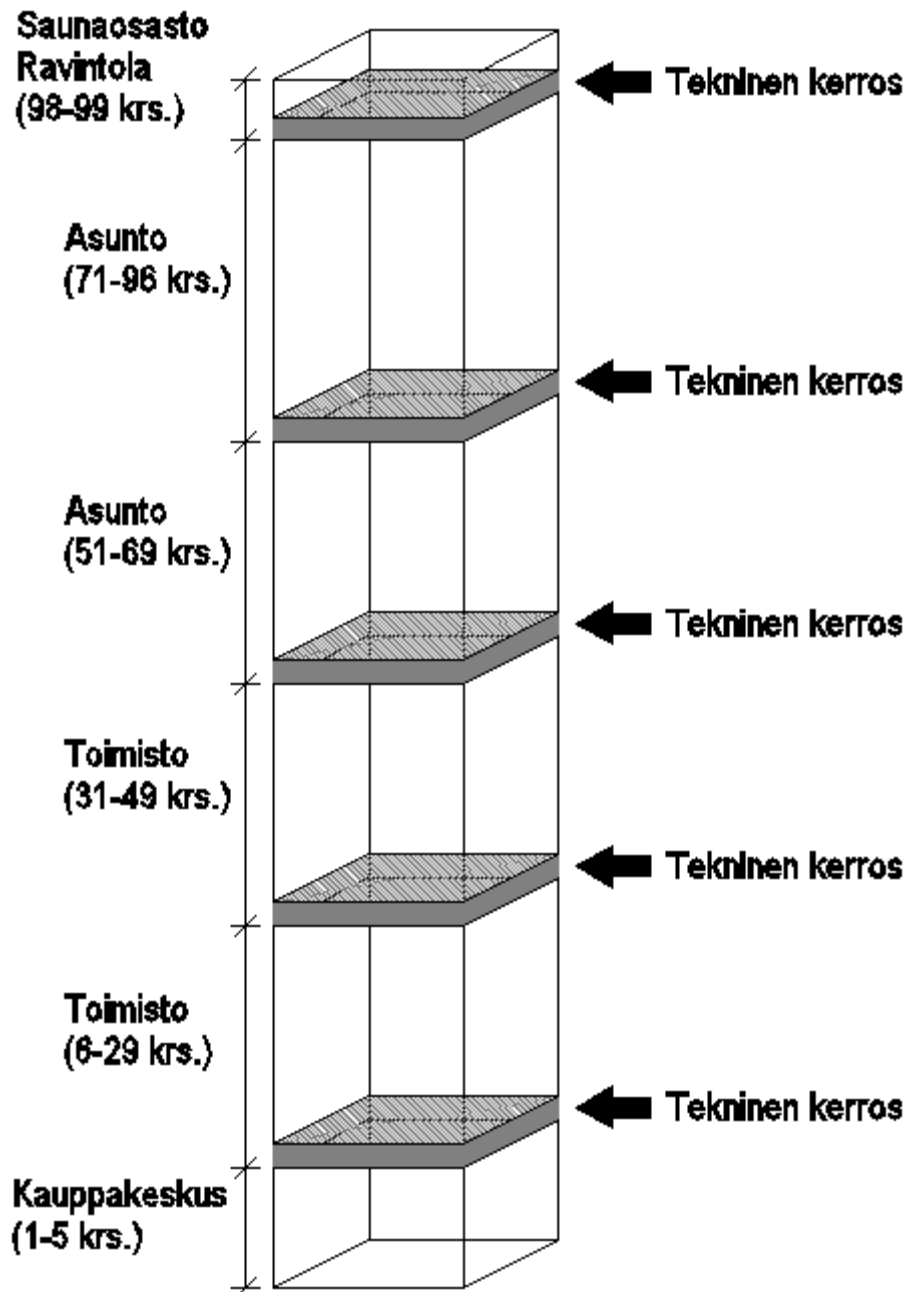


Kuva 22. Lämpösäteilylle altistuva ulkoseinä (Finnish Case Study 2012, 35).

Simulointitulosten perusteella todettiin, että toimistohuoneen palo leviää ulkokautta ylempiin kerroksiin. Palon leviämisen estäminen rakenteellisin keinoin todettiin käytännössä mahdottomaksi ja ainoa realistinen ratkaisu tilanteeseen on automaattinen sammutuslaitteisto, joka toimiessaan oletettavasti estää paloa leviämästä ulkokautta.

Suunnittelussa otettiin myös huomioon tapaus, jossa automaattinen sammutuslaitteisto ei toimi odotetulla tavalla sen vika- tai häiriötilanteessa. Tällöin palon on mahdollista päästä leviämään vapaasti ulkoseinän kautta. Palon vertikaalisen leviämisen rajoittamiseksi rakennukseen suunniteltiin määrävälein teknisiä kerroksia, joiden kohdalla julkisivussa ei ollut aukkoja, joiden kautta palo pääsisi leviämään ylöspäin. Kuvassa 23 on esitetty teknisten kerrosten sijainnit, joiden avulla rakennuksen julkisivuun saatiin muodostettua noin 7 metrin korkuisia palokatkoja rajoittamaan hallitsematonta palon leviämistä. Kuten tämän kappaleen alussa esitetystä esimerkkitapauksesta nähdään, niin vapaasti palavan huonetilan palo aiheuttaa noin 6 metrin korkuisen liekin ikkunan yläpuolelle. Teknisen kerroksen kohdalla 7 metrin korkuisen palokatkon pitäisi siis teoriassa

pysäyttää palon leviäminen ylöspäin. Tekniset kerrokset jakavat rakennuksen maksimissaan 25 kerroksen lohkoihin. Teknisillä kerroksilla palo voidaan mahdollisesti saada rakenteellisin keinoin rajoittua tilanteessa, jossa automaattinen sammutuslaitteisto ei toimi.



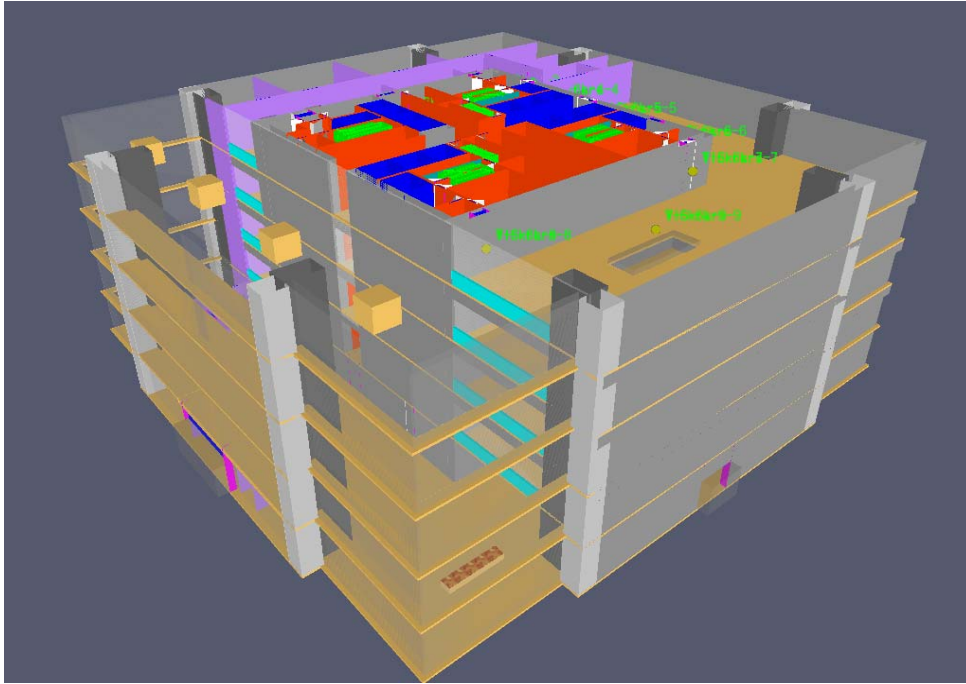
Kuva 23. Teknisten kerrosten sijainti rakennuksessa.

2.4.9 Case Study palon leviäminen sisäkautta

Case Study projektissa palon leviämistä rakennuksen sisäpuolella rajoitettiin normaalein E1:n osastointimääräysten mukaan. Käyttötapaosastoinnin perusteella palo-osastoja muodostui seuraavasti:

- uloskäytävät
- hissikuilut
- auditorio
- jätehuoneet
- kauppakeskus
- toimistot
- asunnot
- ravintola
- tekniset kerrokset ja tekniset tilat

Rakennuksessa toteutui myös kerrososastointi muualla kuin 1-5 kerroksen kauppakeskuksessa sekä kaksikerroksisissa asunnoissa. Kerrososastoinnin tarkoituksena oli rajoittaa aluetta, jolle palo ja savukaasut pääsisivät leviämään. Varsinkin rakennuksen ylemmissä kerroksissa avoyhteydet ja atriumtilat todettiin ongelmalliseksi rakennuksen korkeudesta johtuen kun perinteinen ulkopäin sammuttaminen ei ole mahdollista. Tästä syystä kauppakeskus joka viihtyvyyden ja käytettävyyden puolesta jopa edellyttää avoyhteyksiä sijoitettiin alimpiin viiteen kerrokseen, jossa ulkoapäin sammuttaminen on mahdollista ja palokohde on saavutettavissa helposti verrattuna yläkerrokseen. Kauppakeskuksen tiloja on havainnollistettu kuvassa 24.



Kuva 24. Case Study Kauppakeskus 1-5 kerrokset.
(Finnish Case Study 2012, 59).

Palo-osastoivat rakenteet suunniteltiin pääosaksi EI 120-luokkaan ja asuntoja jakavat väliseinät EI 60-luokkaan. Kaikki pystykuilut/-roilot suunniteltiin EI 120-luokkaan NFPA 101 kohdan 8.6.5 mukaan, jolla saatiin lisävarmuutta palon vertikaalisen leviämisen estämiseen. Samalla periaatteella myös osastoivat välipohjat suunniteltiin EI 120-luokkaan.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E7: ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuus kohdan 4.5 mukaan roilon, joka on osastoivin rakennusosin rajoitettu yleensä pystysuora tila, johon sijoitetaan ilmakehän ja mahdollisesti muita putkia tai johtoja tulee suunnitella siten, että SRMK E1:n osastointivaatimukset täyttyvät. Lisäksi roilon seinämän palonkestoaja tulee valita siten, ettei palo pääse määrättyssä ajassa leviämään palo-osastosta toiseen. Roilon seinämän palonkestoajaksi mitoitetaan yleensä puolet osastojen välisestä palonkestoajasta (Suomen LVI-liitto 2012, 36). Näin palo ei pääse määrättyssä ajassa leviämään palo-osastosta, eli tässä tapauksessa kerroksesta toiseen. Tässä tapauksessa Case Study-projektin kuilujen- ja roilojen osastointitarkaisu oli huomattavasti E1:n ja E7:n minimivaatimustasoa parempi.

2.5 Sammutus- ja pelastustehtävien järjestely

Sammutus- ja pelastustehtävien järjestelyistä annetuilla määräyksillä ja ohjeilla on tarkoituksena turvata ja luola pelastuslaitoksen operatiiviselle toiminnalle tarvittavat edellytykset. Sammutus- ja pelastustoiminta on voitava suorittaa turvallisesti ja tehokkaasti ja tuloksellisesti rakennuksen koosta tai muodosta huolimatta.

2.5.1 Suomen määräykset

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 kohdassa 11 määritellään sammutus- ja pelastustehtävien järjestelyn yleiset vaatimukset. E1 kohtien 11.1.1-3 mukaan palon sammuttamisen ja henkilöiden pelastamisen edellytykset rakennuksessa ja sen läheisyydessä tulee turvata. Rakennuksen suuren koon tai poikkeuksellisten olosuhteiden vaarantaessa henkilö- tai paloturvallisuutta, voidaan rakennusluvan myöntämisen yhteydessä vaatia varustamaan rakennus paloturvallisuutta parantavilla laitteilla tai järjestelyillä. Lisäksi parantavien laitteiden tai järjestelyiden toimintatavan ja ominaisuuksien on sovelluttava kyseiseen kohteeseen.

E1 yksilöi myös muutamia laitteita/järjestelyjä, joita tulee toteuttaa yli 8- ja yli 16-kerroksisiin rakennuksiin. E1 kohdan 11.2.4 mukaan yli 16-kerroksisessa rakennuksessa hissi on varustettava sellaisin laittein, että sen käyttö on mahdollista pelastus- ja sammutustyössä. Tällaista hissiä nimitetään yleisesti palomieshissiksi ja se voidaan toteuttaa SFS 81-72 (Hissien suunnittelua ja rakentamista koskevat turvallisuusohjeet, Erityissovellukset henkilöhisseille ja tavarahisseille, Hissien toiminta palotilanteessa) mukaan. Palomieshissi toimii myös sammutustoimintaan kompensoivana järjestelynä, kun rakennuksen korkeudesta johtuen ulkoapäin sammuttaminen pelastuslaitoksen nostokalustolla ei ole mahdollista. Yleisesti pelastusteitä mitoitettaessa pelastuslaitoksen nostokaluston suurimpana korkeus ulottumana käytetään 27 metriä vaikkakin korkeammalle yltävää kalustoa on olemassa, mutta sen saatavuus palopaikalle on sijainnista riippuen hyvinkin epävarmaa. Lisäksi E1 kohdan 11.4.2 mukaan yli 8-kerroksisen rakennuksen uloskäytävien savunpoisto on suunniteltava siten, että se ei vaaranna poistumista uloskäytäviin liittyvistä tiloista. E1 kohdan 11.5.2 mukaan kaikkiin yli 8-kerroksisiin rakennuksiin tulee kuhunkin porrashuoneeseen asentaa kuivanousuputkisto sammutusveden syöttöä varten. Kuivanousua ei tosin voi käyttää yli 70 metriä korkeassa rakennuksessa

(vastaa noin 26 kerrosta) korkeuden aiheuttaman painehäviön vuoksi (SFS 4317 1981, 1). Yli 70 metriä korkeissa rakennuksissa sammutusvedensyöttö kerrokseen tulee järjestää paineistetulla sammutusvesiputkistolla esim. NFPA 14 (Standard for the installation of standpipe and hose systems) mukaisesti.

2.5.2 Ulkomaiset määräykset

Monissa maissa korkealla rakentamisella on jo vuosikymmenten perinteet. Näin ollen myös sammutus- ja pelastustoimintaa koskevaa ohjeistusta ja tutkimustietoa on olemassa. Aiemmin kohdassa 2.1.4 on esiteltyinä Case Study projektissa käytettyjä standardeja, joihin on sisällytetty runsaasti sammutus- ja pelastustehtävien järjestelyjä käsittelevää ohjeistusta.

Koko rakennuskantaan suhteutettuna korkeita rakennuksia on maailmassa edelleen huomattavan vähän. Suurin osa rakennuksista on tavanomaisia matalia rakennuksia, joiden tulipaloista on kokemuksia oletettavasti jokaisella pelastushenkilöstöön kuuluvalta. Todellisista korkeiden rakennusten tulipaloista on käytännön kokemuksia vain hyvin rajallisella joukolla. Joissakin suurissa kaupungeissa kuten New Yorkissa ja Hong Kongissa pelastushenkilöstä omaa erinomaiset valmiudet korkeissa rakennuksissa toimimiseen, mutta muualla tehtävät niissä ovat jokseenkin ainutlaatuisia ja toiminnan harjoittelu pääroolissa.

2.5.3 Erityispiirteet

Tulipalo korkeassa rakennuksessa asettaa enemmän fyysisiä vaatimuksia pelastuslaitoksen toiminnalle kuin vastaavanlainen palo matalassa rakennuksessa. Palopaikan saavuttaminen on hankalaa koko sammutustyön ajan ja jopa mahdotonta palon alkuvaiheessa, jolloin porrashuoneet ja hissit ovat poistuvien henkilöiden täyttämiä. Pelastuslaitoksen pidemmän kokonaistoimintavalmiusajan johdosta palolla on enemmän aikaa kehittyä.

Tulipalotilanteessa pelastushenkilöstön ensimmäisenä tehtävänä on pelastaa sekä auttaa pelastautumaan välittömässä vaarassa olevat ihmiset. Korkean rakennuksen henkilömäärä on yleensä huomattavan suuri, jopa useita tuhansia henkilöitä. Suuresta henkilömäärästä ja siihen suhteutettuna uloskäytävien vähyydestä johtuen korkean rakennuksen

täysi evakuoiminen kestää useita tunteja. Näin ollen on ensiarvoisen tärkeää, että rakennuksen aktiiviset palontorjunta- ja poistumisjärjestelmät toimivat ja niiden avulla välittömässä vaarassa olevat ihmiset voivat poistua. Käytännössä tämän tarkoittaa palokerroksen ja sen kahden ylä- ja alapuolisten kerroksen välitöntä evakuointia. Tämän jälkeen on pelastushenkilöstön tehtävänä arvioida mitä ovat seuraavat toimenpiteet.

2.5.4 Case Study Sammutus- ja pelastustehtävien järjestely

Case study projektissa rakennukseen suunniteltiin lukuisia palomiesten turvallisuutta parantavia laitteita ja järjestelyjä. Perinteisiä aktiivisia palontorjuntajärjestelmiä, kuten automaattista sammutuslaitteistoa, - paloilmoitinta ja – hätäkuulutusjärjestelmää täydennettiin siten, että ne vastasivat korkean rakennuksen tarpeita. Merkittävimpänä yksittäisenä ratkaisuna on paloalvomo, josta pystytään ohjaamaan rakennuksen kaikkea turvallisuustekniikkaa. Pelastustoiminnan johtaja pystyy johtamaan pelastustoimintaa paloalvomosta käsin. Paloalvomo on sijoitettu omaan palo-osastoon kellarikerrokseen, jonne kulku tapahtuu suoraan ulkoa. Paloalvomoon on sijoitettu mm. seuraavat pelastustoimintaan tarkoitetut laitteet tai niiden ohjauskeskukset:

- Hissien ja palomieshissien toiminnan ja sijainnin näyttötaulu sekä niiden ohjauskytkimet
- Poistumisportaiden ovien lukitustilan ilmaisimet
- Automaattisen osoitteellisen paloilmoitinlaitteiston käyttölaitteet
- Hätäkuulutusjärjestelmän käyttölaitteet
- Automaattisen sammutuslaitteiston virtausilmaisimien näyttö-/käyttölaitteet
- Pelastuslaitoksen kaksisuuntaisen viestintäjärjestelmän käyttölaitteet (yhteys kaikkiin hisseihin ja kerrosten porraskäytäviin)
- Viestiyhteydet julkisiin puhelin- ja tietoverkkoihin
- Varavoimalaitteiston näyttö-/käyttölaitteet
- Savunpoiston ohjauskeskus
- Normaali-ilmanvaihdon käyttölaitteet
- Sammutusveden syöttölaitteiden käyttölaitteet (sammutusvesipumput, paineelliset sammutusvesiputkistot)
- Viranomaisverkon käyttölaitteet sekä koko rakennuksessa viranomaisverkon säpeitto.

3 JOHTOPÄÄTÖKSET

3.1 Olennaiset vaatimukset

Selvityksen teossa saatujen kokemusten sekä lähtöoletusten mukaan Suomen tämänhetkiset rakentamismääräykset eivät huomioi kaikkia yli 16-kerroksisten rakennusten erityispiirteitä. Korkeiden rakennusten suunnittelussa tulee huomioida kaikki rakentamismääräyskokoelman vaatimukset sekä täydentää niitä tarvittavin osin uusimmalla tutkimustiedolla sekä ulkomaisilla kokemuksilla korkeiden rakennusten turvallisuussuunnittelusta. Korkean rakennuksen olennaisten teknisten vaatimusten täyttymisen osoittaminen ei onnistu kattavasti rakentamismääräyskokoelman taulukkoarvoja käyttäen. Olennaisten teknisten vaatimusten täytyminen tulee väistämättä osoittaa oletettuun palonkehitykseen perustuen, jonka tulee kattaa rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Korkean rakennuksen suunnittelun tulisi kuitenkin perustua tähänhetkisiin rakentamismääräyksiin sekä E1:n taulukoihin ja vain rajatuin sekä tarvittavin osin oletettuun palonkehityksen. Korkean rakennuksen monista erityispiirteistä johtuen rakenteiden ja turvallisuusjärjestelmien toimivuutta on syytä tarkastella toiminnallisella suunnittelulla. Yksittäisten ja laajempien kokonaisuuksien toimintavaatimuksien ja kustannusten optimaalista tasoa voidaan tarkastella toiminnallisella suunnittelulla. Ennen rakennuksen varsinaisen suunnittelun aloittamista on syytä neuvotella tärkeimpien sidosryhmien kanssa (rakennustyöhön ryhtyvä, suunnitteluryhmä, viranomaiset, vakuutusyhtiö, tuleva käyttäjä) suunnittelun tavoitteista, jotta mahdolliset ongelmakohdat sekä muut huolenaiheet voidaan huomioida. Myös käytettävät menetelmät, lähestymistavat sekä tavoitteet on syytä selkeyttää varhaisessa vaiheessa. Varsinaista suunnittelutyötä varten ongelmakohdista on syytä päättää lähtöarvot, hyväksymiskriteerit, tarvittavat herkkyystarkastelut sekä tarkastella käytettävän menetelmän luotettavuutta. Edellä mainitut toimenpiteen ovat välttämättömiä selkeälle suunnittelun etenemiselle ja kaikkien osapuolten hyväksyttävissä olevalle lopputulokselle. Korkean rakennuksen erityispiirteiden ja merkittävästi normaalista poikkeavien lähestymistappojen johdosta suunnittelutyö edellyttääkin erillisen paloturvallisuussuunnittelijan panosta.

3.2 Palon rajoittaminen palo-osastoon

Selvityksen teossa saatujen kokemusten perusteella palon rajoittaminen palo-osastoon Suomen rakentamismääräysten mukaisesti soveltuu hyvin myös korkeaan rakennukseen. Ulkomaiset määräykset ovat huomattavasti laajempia ja huomioivat rakennuksen kokonaisuutena paremmin palo-osastointia suunniteltaessa. Esimerkkinä eri käyttötapojen sijoittaminen samaan palo-osastoon kun koko osastossa noudatetaan vaativamman käyttötarkoituksen mukaisia arvoja. Suomessa määräykset eivät suoranaisesti kiellä eri käyttötapojen sijoittamista samaan palo-osastoon vaan toisistaan tai palokuormaltaan selkeästi poikkeavat tilat tulee erottaa käyttötapaosastoinnilla. Käyttötapa- ja kerrososastointi luovat selkeät päälinjat palo-osastoinnille, jonka jälkeen palo-osastokoko rajataan E1:n taulukkoarvojen mukaiseksi. Tavanomaisessa matalassa rakennuksessa kerrososastoinnista voi poiketa sekä palo-osastokokoa kasvattaa kun poikkeukset eivät oleellisesti heikennä paloturvallisuutta. Poikkeuksia ja paloturvallisuustasoa voi kompensoida varustamalla rakennus automaattisella sammutuslaitteistolla, joka parantaa oleellisesti henkilö- ja omaisuusturvallisuutta. Yleisesti korkean rakennuksen tapauksessa kaikkia poikkeamia E1:n määräykseen tulee pohtia tarkoin. Kerrososastoinnista poikkeaminen mahdollistaa palon ja savukaasujen leviämisen laajemmalle alueelle. Varsinkin savun leviäminen useammille tasoille vaikeuttaa huomattavasti sammutus- ja pelastustoimintaa. Tästä syystä kerrososastoinnista poikkeamiset tulisi keskittää rakennuksen alimpiin kahdeksaan kerrokseen, jolloin palon saavutettavuuteen ei tule oleellista viivettä. Korkean rakennuksen ylemmissä kerroksissa tapahtuva palo on huomattavasti hitaampaa saavuttaa kuin alaosissa tapahtuva palo. Rakennuksen korkeus aiheuttaa huomattavaa viivettä sammutus- ja pelastustoiminnan aloittamiselle. Näin ollen rakennuksen kahdeksannen kerroksen yläpuolella tulisi maksimissaan kaksi kerrosta yhdistää samaan palo-osastoon palon ja savun leviämisen rajaamiseksi. Kahdeksannen kerroksen yläpuolella ei myöskään tulisi poiketa E1:n palo-osastoille asettamista suurimmista pinta-aloista. Automaattisella sammutuslaitteistolla varustetuissa tiloissa palo-osastokokoa voi turvallisesti kasvattaa alimmassa kahdeksassa kerroksessa, mutta ylemmissä kerroksissa se ei ole suotavaa edes oletettuun palonkehitykseen perustuen.

3.3 Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen

Selvityksen teossa saatujen kokemusten perusteella korkeassa rakennuksessa tulipalon aiheuttaman osittaisen tai kokonaisvaltaisen romahtamisen seuraukset eivät ole hyväksyttäviä vahinkojen suuruuteen nähden. Rakennuksen tulee kestää sortumatta kaikki oletettavasti tapahtuvat palotilanteet. Kantavien rakenteiden mitoitus onkin syytä tehdä siten, että ne kestävät sortumatta vaikka sammutustoiminta ei onnistuisi. Näin ollen kantavien rakenteiden mitoituksen lähtökohtana voidaan pitää E1:n yli 8-kerroksiselle rakennukselle annettuja taulukkoarvoja. Kantavien rakenteiden luokan tulisi olla R 120 – R 240 palokuormaryhmästä riippuen. Oletettuun palonkehitykseen perustuvalla suunnittelulla ei tulisi harkita helpotuksia kantavien rakenteiden palonkestoon, koska niiden on oltava ehdottoman luotettavia rakennuksen sortuman vakavien seurausten vuoksi.

3.4 Palon leviämisen estäminen osastosta

Selvityksen teossa saatujen kokemusten perusteella toimet palon leviämisen estämiseksi osastosta ovat samoja niin korkeassa kuin matalassa rakennuksessa. Korkeassa rakennuksessa palon leviäminen syttymisosaston ulkopuolelle puolestaan aiheuttaa huomattavasti suuremman vaaran niin rakennuksessa oleville ihmisille kuin omaisuudelle. Näin ollen korkeassa rakennuksessa tehtävien suunnitteluratkaisuiden merkitys korostuu entisestään. Yhtenä merkittävimpänä riskinä voidaan pitää palon leviämistä ulkokautta, jota on lähes mahdotonta torjua rakenteellisin keinoin. Ainoa tehokas tapa palon leviämisen rajoittamiseen korkeassa rakennuksessa ovat palamattomat ulkoseinämaterialit ja automaattinen sammutuslaitteisto, jolla pystytään tehokkaasti estämään palon leviäminen niin ulko- kuin sisäkautta.

Palon leviämistä estävien osastoivien rakennusosien toteutukseen on myös syytä kiinnittää erityistä huomiota. Rakennuksen läpi kulkevien kuilujen ja roilojen osastoinnin tulee olla luotettava, koska niiden peittämisestä on seurauksena savun ja mahdollisesti palon leviäminen useisiin kerroksiin. Korkeisiin ontelotiloihin syntyvistä paine-eroista johtuen savukaasut voivat levitä hyvinkin odottamattomalla tavalla myös alaspäin. Etenkin savun leviämislle kriittisiä kohtia ovat porrashuoneet, joiden aulajärjestelyt on syytä toteuttaa riittävin sulkutiloin ja savunpoistoin, jotta savu ei leviä porrashuoneeseen ja vaaranna poistumista. Myös porrashuoneiden osastointiluokkaa on syytä korottaa erityisen

korkeissa rakennuksissa, joissa koko rakennuksen evakuoiminen voi kestää useita tunteja.

3.5 Sammutus- ja pelastustehtävien järjestely

Tarvittavien sammutus- ja pelastustoiminnan järjestelyiden määrittäminen korkeaan rakennukseen osoittautui selvityksen teon yhteydessä varsin haastavaksi. Sammutus- ja pelastustoiminnasta annettuja määräyksiä on Suomessa hyvin vähän. E1:n määrittelemät palomieshissi ja sammutusveden syöttöputki kerroksiin ovat hyvä lähtökohta, mutta eivät missään nimessä vielä riittäviä järjestelyjä. On selvää että korkea rakennus pitää varustaa sammutus- ja pelastustoimintaa helpottavin laittein, kuten E1 jo yleisellä tasolla määrää. Tarvittavien järjestelyiden määrittämisessä on syytä luoda katsaus maailmalla tehtyihin ratkaisuihin sekä ohjeisiin ja pohtia missä määrin ne olisivat toimiva ratkaisu Suomen olosuhteissa. Myös sidosryhmien konsultointi, kuten yhteistyö paikallisen pelastusviranomaisen kanssa on ensiarvoisen tärkeässä. Pelastusviranomaisen tulisi olla aktiivinen ja ohjata suunnittelua siten, että se tehtävä ratkaisu tukee hyvin heidän sammutustaktiikkaansa ja saavutetaan edellytykset tulokselliselle sammutus- ja pelastustoiminnalle.

Selvityksen laadinnassa havaittiin seuraavat asiat joihin on syytä kiinnittää erityistä huomiota korkeaa rakennusta suunniteltaessa:

- palon ja savun rajaaminen syttymisosastoonsa, sekä syttymisosaton ulkopuolelle levinneen palon ja savun hallinta
- psykologiset tekijät, jotka voivat vaikuttaa niin poistujien kuin pelastushenkilöstön toimintaan
- viestintäjärjestelmien toimivuus
- rakennuksen koko palontorjuntajärjestelmän luotettavuus
- ennalta tehty sammutus- ja pelastussuunnittelu
- poistuminen rakennuksesta

4 POHDINTA

Tämä opinnäytetyön taustalla oli Suomessa lisääntynyt kiinnostus korkeaa rakentamista kohtaan. Selvityksen tavoitteena oli selvittää millaisia palon leviämisen erityispiirteitä esiintyy korkeissa rakennuksissa ja miten ne tulisi ratkaista. Työn tuloksena tunnistettiin useita korkeissa rakennuksissa esiintyviä erityispiirteitä, joihin pohdittiin ratkaisuvaihtoehtoja.

Saadut tulokset havainnollistivat hyvin Suomen rakentamismääräysten minimaalista korkean rakennuksen suunnittelun käsittelyä. Ulkomaisten määräysten voidaan puolestaan todeta kattavan hyvin korkean rakennuksen suunnittelun. Saadut tulokset toivat esiin useita palon leviämisen erityispiirteitä, joita ei esiinny tavanomaisissa matalissa rakennuksissa. Myös tulipalon mahdollisesti aiheuttamien vahinkojen määrä todettiin huomattavasti suuremmaksi korkeissa rakennuksissa, missä hallitsematon tulipalo voi aiheuttaa kohtuuttoman suuria vahinkoja.

Tämän työn tuloksia voidaan osin soveltaa suoraan käytännön suunnittelutoimintaan, mutta kuitenkin niin että, jokainen suunnitteluratkaisu täytyy tehdä suunniteltavan rakennuksen omista lähtökohdista käsin. Jokainen rakennus on uniikki ja vaatii oman sille sopivan lähestymistavan. Työssä saadut tulokset havainnollistavat korkeiden rakennusten suunnitteluhaasteita palon leviämisen osalta, mutta eivät ota juurikaan kantaa esimerkiksi poistumisturvallisuuteen. Merkittävimpana huomiona voidaan todeta ulkomaisista määräyksistä sekä alan tutkimustiedosta löytyvän runsaasti käyttökelpoista materiaalia, johon tutustumalla on mahdollista löytää uusia katsontakantoja. Saatavilla olevaa tietoa tulee ehdottomasti hyödyntää ja uusia tutkimuksia suorittaa hyvien ratkaisuiden luomiseksi.

Kaiken kaikkiaan tämän työn laadintaprosessi on kestänyt noin puolitoista vuotta, minkä aikana useat työssä käsiteltävät aiheet ovat edenneet ison askeleen Suomessa. Merkittävimminä yksittäisinä tekijöinä työn tekemisessä ovat olleet osallistuminen SFPE:n seminaariin ja Case Study-projektiin sekä Ympäristöopas 39 päivitystyöhön. Nämä tekijät ovat osaltaan tukeneet hyvin työn tavoitteita ja mahdollistaneet hyvät valmiudet opinnäytetyön tekemiselle. Vaikka työn tekemisen yhteydessä useisiin asioihin saatiin käyttökelpoisia ratkaisumalleja, voin todeta heränneiden kysymysten määrän olevan

moninkertainen verrattuna saatuihin tuloksiin. Tältä pohjalta kiinnostus paloalaa ja rakennusten paloteknistä suunnittelua kohtaan on voimistunut entisestään kun tulevaisuudessa on suuria haasteita mm. korkean rakentamisen saralla.

5 LÄHDELUETTELO

Ala-Outinen T., Kajastila R. ja Oksanen T. 2007. *Rakenteiden palotestaus Eurooppalaisilla menetelmillä*. Pelastustieto. Palo ja pelastustieto ry. Vol 58, Erikoisnumero, 37–41. Helsinki.

ASTM E-119. 2011. *Standard test methods for fire test of building construction and materials*. ASTM international. Pennsylvania.

Bennetts I. 1998. *Fire safety in shopping centres. Fire code reform centre limited, Final research report, Project 6, Fire code reform research program*. Australia.

BS 476:20. 1987. *Fire test on building materials and structures*. British standards institution. London.

FKL. 2008. *Finanssialan Keskusliitto. Sprinklerilaitteistojen suunnitteluun ja asentamiseen liittyvät asiat, Muistio 8.12.2008*.

Finnish Case Study. 2012. *SFPE 9 th International Conference on Performance-Based Codes*. Helsinki.

FM Global. 2012. *Property loss prevention data sheet 1-3. High rise-buildings*. www-dokumentti. [Viitattu 10.10.2012].

Saatavissa: <http://www.fmglobal.com/fmglobalregistration/Vshared/FMDS0120.pdf>.

Hakokorpi T. 2013. Turvallisuusasiantuntija. L2 Paloturvallisuus Oy, Arkadiankatu 6 C, 00100 Helsinki. Haastattelu 12.11.2012.

Hietaniemi J., Hakkarainen T., Huhta J., Korhonen T., Siiskonen J. ja Vaari J. 2002. *Ontelotilojen paloturvallisuus, Ontelopalojen paloturvallisuus kokeellisesti mallintamalla*. VTT Tiedotteita 2128. Espoo.

Hietaniemi J., Hakkarainen T., Huhta J., Jumppanen U-M., Kouhia I., Vaari J ja Weckmen H. 2003. *Ontelotilojen paloturvallisuus, Ontelopalojen leviämisen katkaiseminen*. VTT Tiedotteita 2202. Espoo

Hietaniemi J., Vaari J., Hakkarainen T., Huhta J., Jumppanen U-M., Korhonen T., Kouhia I., Siiskonen J ja Weckman H. 2004. *Ontelotilojen paloturvallisuus, Ontelopalojen ominaispiirteet sekä palojen etenemisen rakenteellinen katkaiseminen ja sammuttaminen*. VTT Tiedotteita 2249. Espoo

Hietaniemi J. 2007a. *Tiiviin ja Matalan pientaloalueen paloturvallisuus*. VTT Tiedotteita 2415. Espoo.

Hietaniemi J. 2007b. *Palopatsaat: Laskentamalleja ja vaaran arvioinnin esimerkkejä*. VTT. Espoo.

INSTA TS 950. 2012. *Fire safety engineering. Verification of fire safety design in buildings. 5 th draft, working document*.

ISO 834. 1999. *Fire-resistance test- Elements of building construction*. International organization for standardization. Geneve.

Korhonen T. ja Hietaniemi J. 2004. *Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiökerrostaloissa*. VTT Tiedotteita 2253. Espoo.

Laaksonen J-P. 2013. Toimitusjohtaja. L2 Paloturvallisuus Oy, Arkadiankatu 6 C, 00100 Helsinki. Haastattelu 4.3.2013.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, muutos 319/2011. Ympäristöministeriö. Helsinki.

Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999, muutos 1829/2009. Ympäristöministeriö. Helsinki.

Mikkola E. 2013. *Katsaus komission paloasiantuntijaryhmän tilanteeseen ja muutakin. Luentokalvot: Paloseminaari 15 – Paloturvallisuus ja standardisointi 13.2.2013*. Espoo.

NFPA 101a. 2009. *Life safety code handbook, Eleventh edition*. NFPA. Quincy.

NFPA 101b. 2012. *Life safety code handbook, Twelfth edition*. NFPA. Quincy.

NFPA 5000. 2009. *Building construction and safety code*. NFPA. Quincy.

Nevala J. 2013. Turvallisuusasiantuntija. L2 Paloturvallisuus Oy, Arkadiankatu 6 C, 00100 Helsinki. Haastattelu 20.2.2013.

Rönty V., Keski-Rahkonen O ja Hassinen J-P. 2004. *Reliability of sprinkler systems, Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations*. VTT Working papers 15. VTT. Espoo.

SFPE. 2012a. *Guidelines for Design Fire Safety in Very Tall Buildings. Public review draft, Maaliskuu 2012*.

SFPE. 2012b. 9th International conference on performance based codes and fire safety desing methods, Proceedings. SFPE. Bethesda (MD), USA.

SFPE. 2012c. www-dokumentti. [Viitattu 18.9.2012]. Saatavissa:
<http://www.sfpe.org/AboutUs.aspx>.

SFS-4317. 1981. *Palokalusto. Kuivanousujohto palonsammutusta varten*. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki.

SFS-EN 1363-1. 2012. *Palonkestävyystestit. Osa 1: Yleiset vaatimukset*. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki.

SFS-EN 1991-1-2. *Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset*. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki.

Suomen LVI-liitto. 2012. *Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuusopas*. www-dokumentti. [Viitattu 6.12.2012].

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=134352&lan=FI>.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa A2, Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat, määräykset ja ohjeet 2002. Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto. Helsinki.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E1, määräykset ja ohjeet 2011. Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto. Helsinki.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E7, Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuus, ohjeet 2004. Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto. Helsinki.

Tenhunen O. 2003. *Rakenneteknisiä mittauksia kaksoisjulkisivussa, Rakenteiden mekaniikka, Vol. 36 No 2*. VTT. Espoo.

Ympäristöministeriö. 2003. *Ympäristöopas 39. Rakennusten paloturvallisuus & Paloturvallisuus korjausrakentamisessa*. 4 painos. Edita Prima Oy. Helsinki.

Ympäristöministeriö. 2013. *Ympäristöopas 39 luonnosversio*. Julkaisematon.

6 LIITTEET

Liite 1. Society of Fire Protection Engineers. 9th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, 9th Case study specifications.

9th International Conference
on
Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods

June 20-22, 2012, Hong Kong

Case Study Building Specifications

I. Objective:

The objective of this case study is to prepare a performance-based fire safety strategy report for a super tall building. The building will be mixed-use, consisting of stores on the lower floors, and office space and residences on the upper floors.

The performance-based fire safety analysis and design should meet the following fire and life safety goals:

- 1) Safeguard occupants from injury due to fire until they reach a safe place.
- 2) Safeguard fire fighters while performing rescue operations or attacking the fire.
- 3) Design to avoid structural failure in the event of fire.

II. Building Description:

This is an isolated commercial building. The building height is 490 meters in height. The building is 99-stories high, and each story has a 4.95 m deck-to-deck height, except for the top floor.

- The exits at the ground floor are as shown in Figure 1.
- The typical floors (1-98/) shown in Figure 2. No penetrations are permitted through the curtain walls or concrete or steel structural elements.
- The roof is shown in Figure 3.

The building owner would like to occupy lower floors as soon as possible, preferably before construction of the entire building is complete. The building owner would also like to minimize fire risk during construction.

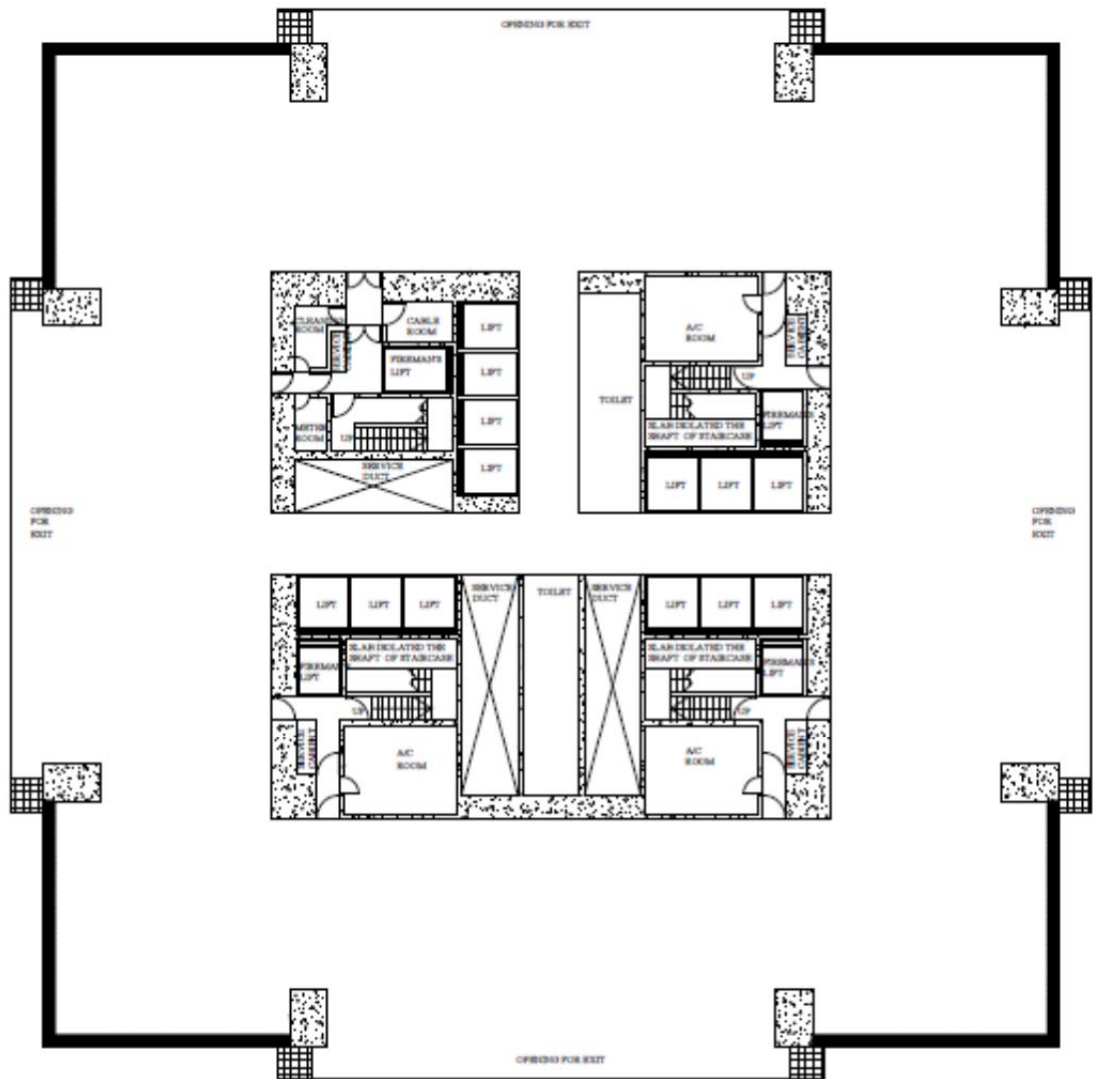
III. Project Report:

It shall be demonstrated that the above fire and life safety goals have been addressed by providing a detailed project report. There is no page limit to the project report.


In particular, ensuring safe egress for occupants under a variety of fire scenarios will likely be one of the challenges of this project, and project teams are asked to address this in detail in the project report. Additionally, any strategies used to achieve the project goals will likely have less than perfect reliability, so this factor should be addressed as well.


This report should address at least the following items:

- a. The performance criteria selected to assess the fire safety goals and objectives.
- b. A description of the fire safety design approach used.
- c. Fire safety measures selected.
- d. How safe egress will be provided for building occupants under a variety of reasonably foreseeable fire scenarios.
- e. How human behavior was considered.
- f. The fire scenarios evaluated, and how they were selected.
- g. A discussion of how the proposed fire safety measures address the performance criteria. For example, this might include:
 1. Tenability (life safety) related features and performance expectations.
 2. Fire detection features, capability and performance expectations.
 3. Fire suppression features, capability and performance expectations.
 4. Structural fire resistance design.
- h. How safety for fire fighters will be provided.
- i. How safety for persons with disabilities will be provided.
- j. Fire safety tools and design methods used in the analysis and designs (i.e., fire models, calculation methods, statistics, fire test data, etc.), including why the tools were selected.
- k. Which aspects of the analysis were modeled, and which were based on engineering judgment.
- l. Fire safety management requirements, including material control, change of occupancy requirements, education and training, etc.
- m. How fire safety will be provided during construction and for areas occupied before construction is complete.
- n. Discussion of how uncertainties were addressed.
- o. References for all engineering tools and methods, input data, fire tests, occupant characteristics, statistics, etc.
- p. Drawings and specifications as necessary.



Legend:

 Concrete structure

 Steel structure


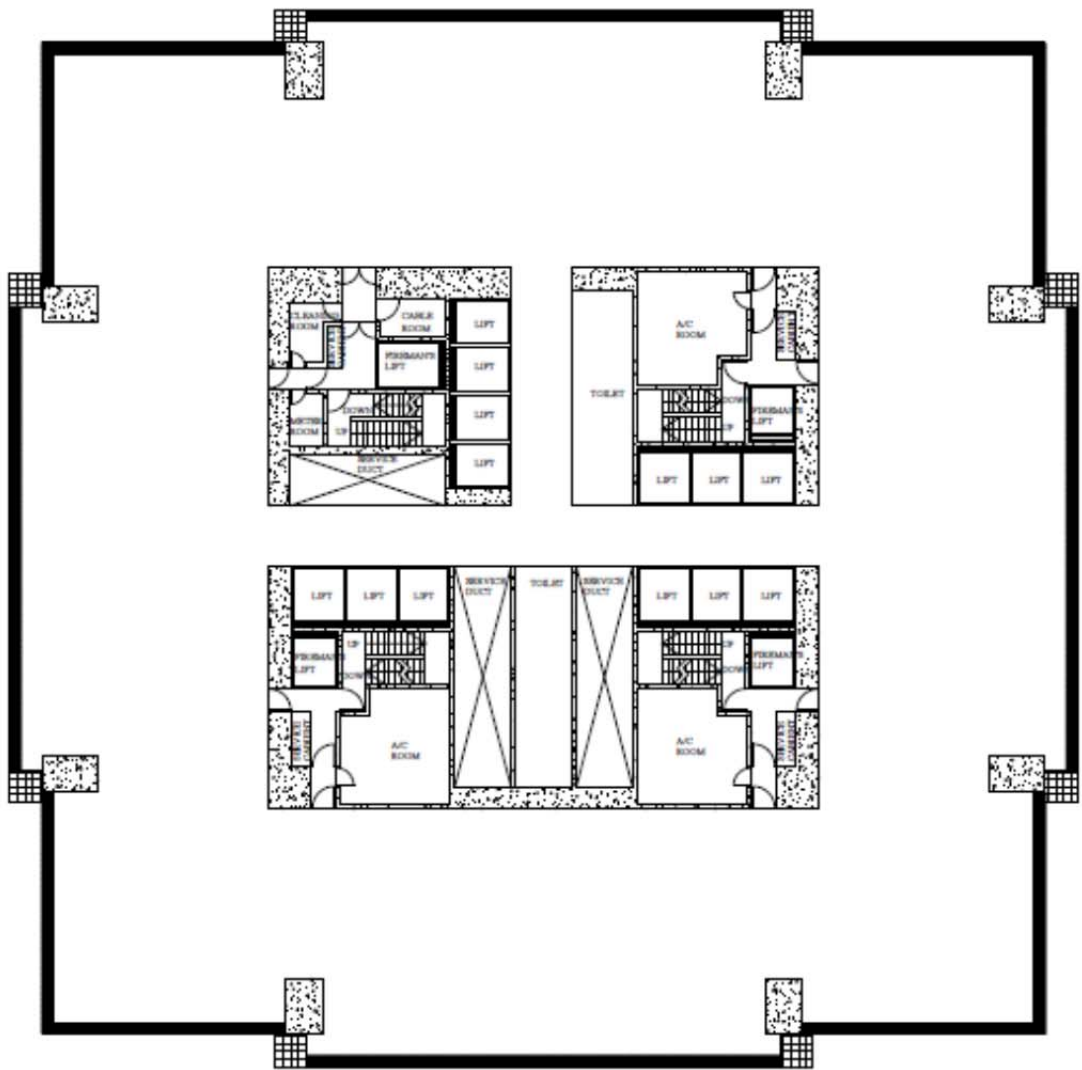


 Curtain wall

Figure 1: Layout for Ground Floor



Legend:

 Concrete structure

 Steel structure


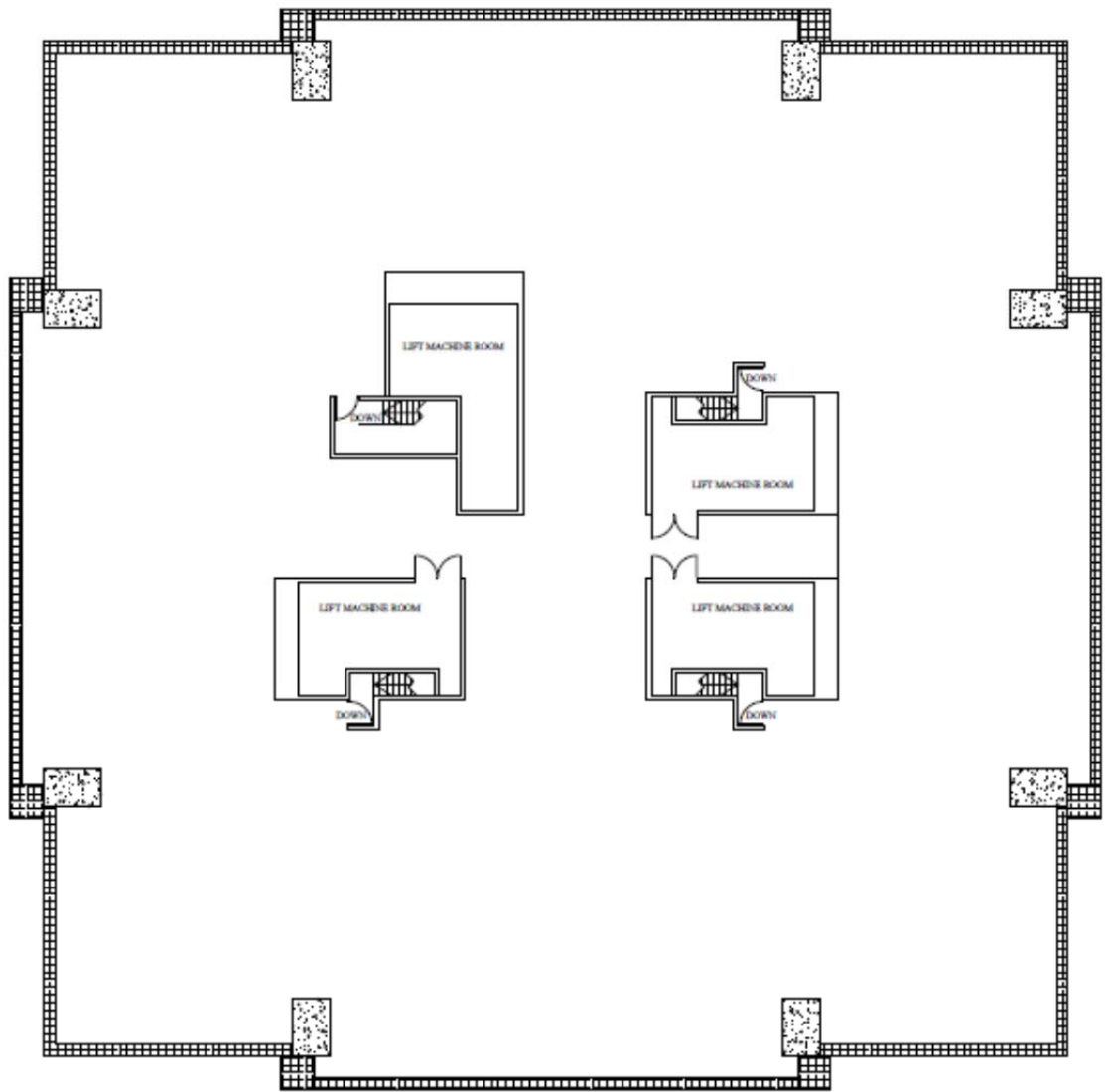

 Curtain wall

Figure 2: Layout for typical floors (1-98)



Legend:

 Concrete structure


 Steel structure

Figure 3: Roof Layout