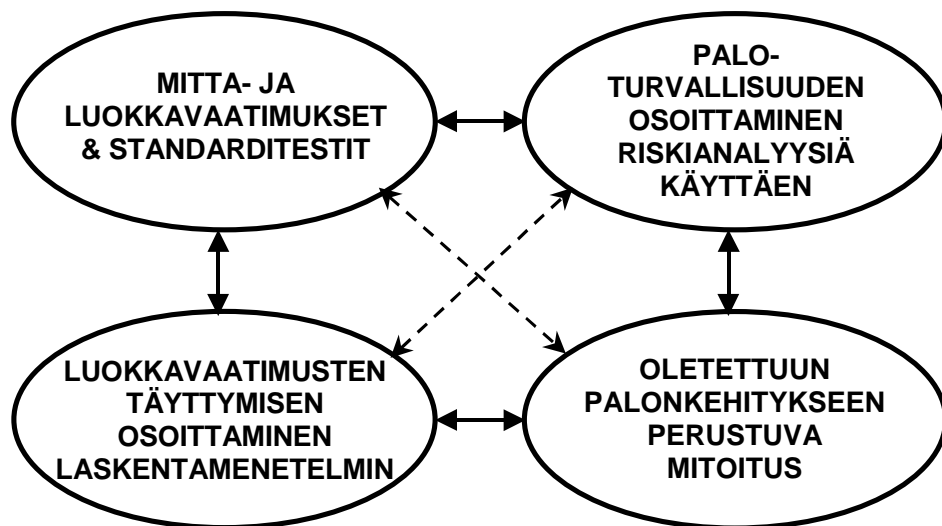


Matti Kokkala

Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu

Toiminnallinen lähestymistapa



Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu Toiminnallinen lähestymistapa

Matti Kokkala

VTT Rakennustekniikka



ISBN 951-38-5662-3 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5663-1 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2000

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4815

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsfysik, hus- och brandteknik, Stenkarlsvägen 4, PB 1803, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4815

VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology,
Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4815

Toimitus Maini Manninen

Otamedia Oy, Espoo 2000

Kokkala, Matti. Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu. Toiminnallinen lähestymistapa [Fire safety design of buildings. Performance-based approach]. Espoo 2000. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2028. 63 s. + liitt. 15 s.

Avainsanat fire safety, buildings, fire prevention, numerical analysis, simulation, calculations, design, regulations, building code, construction products, fire propagation

Tiivistelmä

Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu on 1990-luvun aikana kokenut merkittävän muutoksen. Tulipalon numeerista simulointia ja muita laskentamenetelmiä on alettu käyttää enenevässä määrin rakennuksen paloturvallisuuden osoittamiseen. Monissa teollisuusmaissa on uudistettu säädöksiä niin, että aiemmin ainoana mahdollisuutena ollut tuoteluokitukseen perustuva rakennuksen paloturvallisuuden osoittaminen on nyt vain yksi mahdollisuus muiden menetelmien joukossa. Suomen rakentamismääräyskokoelman rakennusten paloturvallisuutta koskevissa säädöksissä tämä lähestymistapa otettiin käyttöön v. 1997. Paloturvallisuussuunnittelusta onkin tullut yleistä käytäntöä suunniteltaessa ostoskeskuksia, kokoontumishuoneistoja ja muita suuria rakennuksia.

Julkaisussa kuvataan systemaattinen menettelytapa suunniteltaessa rakennusten paloturvallisuus laskentamenetelmien käyttöön perustuvaa ns. toiminnallista lähestymistapaa käyttäen. Julkaisussa selostetaan, mitä ns. toiminnallisilla palosäädöksillä tarkoitetaan ja miten niissä vaatimuksia esitetään. Suomen oloihin sopeutettu kansainvälisten mallien mukainen paloturvallisuussuunnittelun prosessi suunnittelutehtävän asettamisesta sen dokumentointiin kuvataan yksityiskohtaisesti. Paloturvallisuussuunnittelun menetelmistä tehdään yhteenveto ja eri menetelmien soveltuvuutta erilaisiin suunnittelu-tilanteisiin arvioidaan. Varsinaisia suunnittelumenetelmiä julkaisussa ei anneta.

Kokkala, Matti. Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu. Toiminnallinen lähestymistapa [Fire safety design of buildings. Performance-based approach]. Espoo 2000. Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2028. 63 p. + app. 15 p.

Keywords fire safety, buildings, fire prevention, numerical analysis, simulation, calculations, design, regulations, building code, construction products, fire propagation

Abstract

The fire safety design of buildings has been in transition during the 1990's. Numerical simulation of fire and other calculation methods have become a common practice. Many industrial countries have introduced regulations, which adopt the performance-based fire safety design based on application of calculation methods on an equal level to the approach based on fire classification of construction products. In Finnish fire regulations this approach was introduced in 1997. Fire safety design based on "assumed fire development" is now a common practice when designing large shopping centres, assembly buildings, etc.

This publication describes a systematic approach for applying calculation methods in fire safety design of buildings. A typical structure and contents of performance-based fire safety regulations is reviewed. Based on international models, a design process proposed to be used in Finland is described. Interpretations are made to take into account the Finnish legal and professional infrastructure. A summary of available calculation tools is presented, but no specific design methods are given.

Alkusanat

Tämä julkaisu on osa VTT Rakennustekniikassa vuosina 1996 - 2000 toteutettua kansallista tutkimusohjelmaa TOIMINNALLISTEN PALOSÄÄDÖSTEN TEKNISET PERUSTEET (TOPA-projekti). Tutkimusohjelman tavoitteena oli kehittää Suomen olosuhteisiin soveltuvat menetelmät ja menettelytavat käyttäjille tarkoitettuine ohjeineen, jotta toiminnalliset palosäädökset voitaisiin ottaa hallitusti käyttöön viimeistään vuoden 2001 alussa.

Tutkimusohjelma koostuu kahdeksasta yllä mainittua tavoitetta tukevasta osaprojektista

- A0: Toiminnallisen paloturvallisuusarvioinnin yleiset perusteet
- A1: Mitoituspalo; palon syttyminen ja kehittyminen
- A2: Savun leviäminen
- A3: Palon leviäminen; rakenteiden palonkestävyys
- A4: Palonilmaisuus ja -sammuus
- A5: Poistuminen ja pelastaminen
- A6: Palokunnan toimintaedellytykset
- A7: Sovellutusesimerkit ja kustannusvaikutukset.

Tutkimusohjelmaa ovat rahoittaneet Palotutkimusraati ry, Palosuojelurahasto, ympäristöministeriö, Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto, Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Suomen Puututkimus Oy, Teräsrakenneyhdistys ry, Suomen Muoviteollisuusliitto ry sekä VTT Rakennustekniikka.

Haluan osoittaa kiitokseni kaikille rahoittajien edustajille aktiivisesta osallistumisesta ja projektin aikana osoitetusta jatkuvasta kiinnostuksesta. Vain laajan keskustelun kautta voimme luoda Suomeen tarvittavan ympäristön uusien paloturvallisuussuunnittelun menetelmien käytölle. Kiitän myös useita tutkijakollegoitani, erityisesti Olavi Keski-Rahkosta ja Henry Weckmania, heidän kanssaan käydyistä ajatuksista herättävistä keskusteluista.

Julkaisun sisältö on saanut vaikutteita lukuisista samansuuntaisista kansainvälisistä hankkeista, joita on toteutettu tai joista on jaettu tietoa esim. ISO:n, CIB:n ja SFPE:n puitteissa. Haluan kiittää myös niitä lukuisia ulkomaisia kollegoita, joiden kanssa minulla on ollut ilo tehdä yhteistyötä näissä järjestöissä. Ilman näitä vaikutteita koko TOPA-projektia ei olisi todennäköisesti edes käynnistetty.

Matti Kokkala

Sisällysluettelo

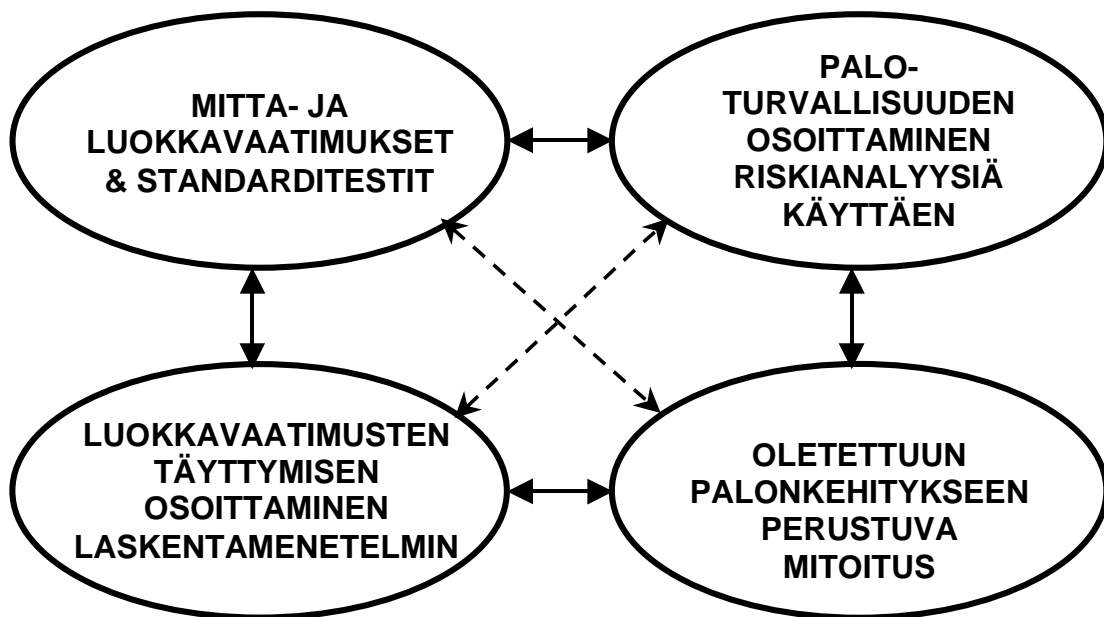
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
1. JOHDANTO	8
2. TOIMINNALLISET PALOSÄÄDÖKSET	11
3. PALOTURVALLISUUSUUNNITTELUN VAIHEET	15
3.1 Suunnitteluprosessin kuvaus	15
3.2 Suunnittelutehtävän alustaminen	17
3.2.1 Yleistä	17
3.2.2 Paloturvallisuustavoitteiden asettaminen	17
3.2.3 Paloturvallisuusstrategiat	19
3.2.4 Hyväksymismenettely, toimivuusvaatimukset ja todentamisperiaatteet	20
3.2.4.1 Taso 1: Komponenttien ja osajärjestelmien vastaavuuden arviointi	23
3.2.4.2 Taso 2: Järjestelmän toimivuuden arviointi uhkakuvamallia käyttäen	23
3.2.4.3 Taso 3: Kokonaisriskin arviointi	23
3.2.5 Tarkasteltavat uhkatilanteet	24
3.2.6 Suunnitelmaehdotus	24
3.3 Paloturvallisuusanalyysi	25
3.3.1 Paloturvallisuusanalyysin valmistelu	25
3.3.1.1 Rakennuksen mallintaminen	25
3.3.1.2 Paloturvallisuuslaitteistojen mallintaminen	25
3.3.1.3 Käyttäjien mallintaminen	26
3.3.1.4 Uhattuna olevan omaisuuden mallintaminen	26
3.3.1.5 Mitoittavien palotilanteiden valinta	26
3.3.1.6 Menetelmien valinta	26
3.3.1.7 Hyväksymiskriteerit	27
3.3.2 Paloturvallisuusanalyysin tekeminen	27
3.3.3 Tuloksen kelpoisuuden selvittäminen	27
3.4 Dokumentointi	28
3.4.1 Dokumentointi hyväksyntää varten	29
3.4.2 Dokumentointi rakennusprojektia varten	30
3.4.3 Käyttö- ja huolto-ohjeet	30

4. PALOTURVALLISUUSUUNNITTELUN MENETELMÄT	35
4.1 Riskianalyysin käyttö paloturvallisuussuunnittelussa	35
4.1.1 Riskianalyysin periaatteet	35
4.1.2 Hyväksyttävä riski	39
4.2 Uhkakuvamalliin perustuva paloturvallisuussuunnittelu	40
4.2.1 Periaate	40
4.2.2 Mitoituspalon määrittäminen	44
4.2.2.1 Mitoittavien palotilanteiden valinta	44
4.2.2.2 Mitoituspalon matemaattinen esitys	46
4.2.3 Uhkakuvatarkastelun työkalut	46
4.2.3.1 Yleistä	46
4.2.3.2 Paloilmaisimallit	47
4.2.3.3 Vyöhykemallit	48
4.2.3.4 Kenttämallit	50
4.2.3.5 Evakuointimallit	52
4.2.3.6 Rakennusosien palonkestävyyden arviointi	52
4.2.3.7 Kokeet	53
4.2.3.8 Yhteenveto	54
4.2.4 Hyväksymisperusteet uhkakuvatarkastelua käytettäessä	54
4.3 Vastaavuuden arviointi	55
5. YHTEENVETO	57
LÄHDELUETTELO	58
LIITTEET	
Liite A: Toiminnalliset vaatimukset säädöksissä	
Liite B: Määritelmiä	
Liite C: Paloturvallisuussuunnittelijan pätevyysvaatimuksista	

1. Johdanto

Rakennusten paloturvallisuus on perinteisesti saavutettu asettamalla siihen tuleville komponenteille paloteknisiä luokkavaatimuksia sekä rakennuksen ja siinä olevien tilojen koolle ja henkilöiden lukumäärälle enimmäisrajoja. Laskentamenetelmien kehittyminen erityisesti 1980-luvulla on johtanut siihen, että niiden käyttö rakennusten paloturvallisuussuunnittelussa alkoi nopeasti yleistyä 1990-luvulla. Kehitystä on vauhdittanut myös säädösten muuttuminen laskentamenetelmien käyttöä rohkaiseviksi. Suomessakin rakennusten paloturvallisuutta koskevat määräykset [Ympäristöministeriö 1997] mahdollistavat ”oletettuun palonkehitykseen perustuvan suunnittelun”. Soveltamista ohjaavat pelisäännöt ovat kuitenkin vielä puutteelliset tai niitä ei ole olemassa lainkaan.

Paloturvallisuuden todentamiseen käytettävissä olevia menetelmiä voidaan havainnollistaa kuvan 1 kaaviolla. Rakennustuotteiden luokkavaatimusten täyttyminen osoitetaan yleensä standarditestien perusteella tai vaihtoehtoisesti laskennallisesti siten, että tuotteen käyttäytymistä ko. testissä simuloidaan. Oletettuun palonkehitykseen perustuvilla menetelmillä voidaan arvioida tuotteen, osajärjestelmän tai koko rakennuksen toimintaa tietyssä uhkatilanteessa. Riskianalyysin avulla voidaan tunnistaa turvallisuuden kannalta kriittiset tekijät ja arvioida, onko kokonaisriski riittävän pieni. Mitoituksen perustaksi valittujen uhkatilanteiden valinta perustuu riskianalyysiin. Riskianalyysiä voidaan käyttää myös ohjaamaan luokkavaatimuksien asettamista.



Kuva 1. Paloturvallisuuden osoittamiseen käytettävät menetelmät.

Tässä julkaisussa selostetaan paloturvallisuuden osoittamista lähinnä kuvan 1 kahden oikeanpuoleisen menettelytavan mukaan. Näitä menettelyjä nimitään usein ”toiminnallisiksi suunnittelumenetelmiksi” suorana käännöksenä englanninkielisestä termistä ”performance based design”. Joissakin yhteyksissä puhutaan myös ”paloteknisestä erityissuunnittelusta”. Tässä julkaisussa käytetään lähinnä termiä (*toiminnallinen*) *paloturvallisuussuunnittelu*, sillä merkittävin ero perinteisiin menetelmiin nähden on, että rakennuksen turvallisuuden osoittaminen korostuu komponenttien luokkavaatimusten täyttymisen osoittamisen sijasta.

Toiminnallisessa paloturvallisuussuunnittelussa on kolme kriittistä vaihetta: a) suunnittelumenettelyn ja -menetelmien valinta, b) mitoituspalon tai muiden suunniteltua koskevien oletusten tekeminen ja c) suunnittelun hyväksymiskriteerien asettaminen. Nämä eivät ole toisistaan riippumattomia. Esimerkiksi jos vaatimuksena on, että seinän palonkestävyyden tulee olla yhtä hyvä kuin kokeellisesti luokitellulla tuotteella, tarkastelu pitää tehdä simuloimalla kyseisen seinän käyttäytymistä standarditestissä. Jos vaatimuksena on, että ihmisten pitää pystyä poistumaan rakennuksesta yhtä nopeasti kuin taulukko vaatimusten mukaisissa rakennuksissa, tulee ensin selvittää valittua laskentamenetelmää käyttäen, mikä poistumisaika on saman käyttötarkoituksen taulukkomitoitukseen perustuvissa ratkaisuissa. Jos toiminnallinen vaatimus asetetaan siten, että tilassa olevien ihmisten tulee voida poistua rakennuksesta turvallisesti, on käytettävä sekä palonkehittymistä että ihmisten käyttäytymistä kuvaavia laskentamenetelmiä.

Ammattitaitoinen paloturvallisuussuunnittelija käyttää kuhunkin tarkoitukseen ja tilanteeseen parhaiten soveltuvia menetelmiä. Pelkkä tietokoneohjelmien käyttö ei tee suunnittelua toiminnalliseksi. Suunnittelijalta edellytetään myös kykyä tunnistaa olennaiset riskitekijät ja arvioida niiden seuraukset. Asiantuntevasti tehty koetuloksia ja taskulaskinta hyödyntävä arviointi on usein jopa enemmän ”toiminnallista” kuin sokeasti tehty simulointi. ”Toiminnallisuus” tarkoittaa ennen kaikkea ajattelutapaa, jossa huomio kiinnitetään riskien tunnistamiseen ja vahinkojen minimointiin.

Mitä tahansa menettelyä käytetään, asetetut vaatimukset ja niiden täyttäminen eivät takaa absoluuttista turvallisuutta. Perinteisiinkin menettelyihin liittyy aina epäonnistumistodennäköisyys, mikä näkyy lopulta palotilastoissa. Toimivuusvaatimusten asettaminen edellyttää hyväksyttävän riskin arviointia ja kuhunkin menettelyyn ja laskentamenetelmien yhdistelmään liittyvien epävarmuuksien arviointia.

Käytännössä paloturvallisuussuunnittelu voi kohdistua myös pelkästään rakennuksen osiin, jolloin suunnitelman hyväksyttävyyden mittaaminenkin rajoittuu vain kyseisen osan toimivuuteen. Todellisen riskin arviointi saattaa olla mahdotonta, jolloin hyväksyttävyyttä arvioidaan vertaamalla suhteellista riskiä johonkin tunnettuun ja yleisesti hyväksytyyn ratkaisuun. Puutteellisten tietojen vuoksi toiminnalliseenkin paloturvallisuussuunnitteluun liittyy aina osia, joissa ratkaisut perustuvat taulukoituihin

luokka- ja mittavaatimuksiin. Aina on kuitenkin varmistettava, että kokonaisuus on riittävän turvallinen.

Toiminnallinen lähestymistapa perustuu usein laskentamenetelmien käyttöön, mutta ei suinkaan salli minkä tahansa menetelmän käyttöä. Menetelmien pitää olla riittävän pätevästi kelpoiseksi osoitettu (engl. validated). Jos riippumatonta osoitusta ei ole olemassa, menetelmän ja sen lähtötietoihin liittyvät oletukset ja mahdolliset epävarmuudet tulee perustella erityisen huolellisesti.

Tässä julkaisussa tarkastellaan aluksi paloturvallisuussuunnittelun mahdollistavaa säädösympäristöä. Luvussa 2 kuvataan paloturvallisuussuunnittelun kulkua osana rakennuksen muuta suunnittelua. Luvussa 4 tarkastellaan erikseen riskianalyysin, uhkakuvamallin käyttöön ja hyväksytyihin ratkaisuihin vertaamiseen perustuvien lähestymistapojen erityispiirteitä ja käytettävissä olevia työkaluja

Julkaisun liitteisiin on kerätty tukiaineistoa. Liitteessä A on nykyisen E1:n toimivuusvaatimukset. Paloturvallisuussuunnittelun termejä on kerätty määritelmiksi liitteeseen B. Liitteessä C käsitellään paloturvallisuussuunnittelijan pätevyysvaatimuksia ulkomaisten esimerkkien valossa.

2. Toiminnalliset palosäädökset

Toiminnallisella paloturvallisuussuunnittelulla tarkoitetaan menettelyä, jossa tavoitellaan paloturvallisuuden kannalta hyväksyttävää ratkaisua paloturvallisuustoimenpiteistä ja palovahingoista aiheutuvat rakennuksen elinaikaiset seuraukset ja kustannukset huomioon ottaen. Viranomaisen kannalta suunnitelman hyväksyttävyyden ratkaisee ainoastaan tulipaloriski eli palovahinkojen odotusarvo rakennuksen käyttöiän aikana.

Toiminnallisilla palosäädöksillä tarkoitetaan säädöksiä, jotka sallivat tai edellyttävät käytettäväksi edellä mainittua suunnittelumenettelyä. Toiminnallisille palosäädöksille ei ole olemassa mitään kansainvälisesti hyväksyttyä määritelmää tai kuvausta. Niille on kuitenkin tunnusomaista [Richardson 1994], että

- turvallisuustavoitteet kirjoitetaan selkeästi näkyviin
- turvallisuustavoitteet tulkitaan kvantitatiivisina toimivuustavoitteina
- mikä tahansa toimivuustavoitteet täyttävä ratkaisu hyväksytään.

Nämä ominaispiirteet on eri maiden lainsäädännöissä toteutettu hyvin eri tavoin. Joissakin tapauksissa viranomaiset ovat antaneet vain yleiset turvallisuusvaatimukset jättäen tarkempien ohjeiden laatimisen elinkeinoelämän tehtäväksi. Toisaalla viranomaiset ovat antaneet myös yksityiskohtaisia ohjeita toimivuuden arvioimiseen käytettävistä menetelmistä. Nämä ohjeet eivät kuitenkaan ole ehdottomia vaatimuksia, vaan hyvillä perusteilla myös muiden menetelmien käyttö on sallittua.

Toiminnalliset paloturvallisuussäädökset on toteutettu eri maissa hyvin eri tavoin [Buchanan 1994, Nakaya & Hirano 1996, De Vos 1999]. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan E1 määräyksissä ja ohjeissa [Ympäristöministeriö 1997] esitetään toiminnallinen vaihtoehto tasavertaisena lähestymistapana perinteisen, ainoastaan tuotteiden luokkavaatimukseen perustuvan menettelyn kanssa. Kyseessä ei ole siten mikään poikkeuslupaan perustuva vaan täysin määräysten mukainen lähestymistapa. Liitteeseen A on kerätty E1:n toiminnalliset vaatimukset. Tekstiä voidaan näiltä osin hyödyntää myös tulevia toiminnallisia säädöksiä laadittaessa.

Eräissä tapauksissa turvallisuus perustuu siihen, että ihmiset osaavat reagoida oikein. Opiteilla signaaleilla on tässä huomattava merkitys. Esimerkiksi uloskäytävien merkinnot täyttävät tarkoituksensa vain, jos ne ovat joka paikassa samanlaisia. Niitä koskevat vaatimukset ovat myös tulevaisuudessa yksityiskohtaisia.

Hyvän lähtökohdana toiminnallisten palosäädösten rakenteelle voidaan pitää pohjoismaisen työryhmän 1970-luvulla laatimaa jakoa viiteen tasoon [NKB 1978 & 1980]. Tasojen hierarkkisuutta havainnollistaa kuvan 2 kaavio.

Taso 1: Yleinen tavoitteenomainen toteamus ominaisuuksista, joita rakennuksen on täytettävä, jotta se vastaisi yhteiskunnan ja käyttäjän sille asettamat vaatimukset.

Suomessa esim. rakennuslaissa ja -asetuksessa on esitetty turvallisuus- ja muita toimivuustavoitteita.

Taso 2: Paloturvallisuustavoitteet (toiminnalliset tavoitteet), joilla täsmennetään em. yhteiskunnan tahto.

Tällaisia voivat olla esim. rakennustuotedirektiivin keskeiset vaatimukset, jotka on sellaisenaan siirretty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 yleiseksi vaatimuksiksi (ks. liite A). Nykyisessä muodossaan ne eivät kuitenkaan ole keskenään yhteismitallisia, sillä joihinkin niistä liittyy jo sisäänrakennettuna oletus paloturvallisuuden saavuttamiseksi.

Taso 3: Yleiset paloturvallisuusvaatimukset (toimivuusvaatimukset) koko rakennukselle ja sen osille, rakennusosille, taloteknisille järjestelmille, paloturvallisuuslaitteistoille tai rakennuksessa käytettäville materiaaleille.

Esim. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 luvusta 4 eteenpäin esitetyt ns. yleiset vaatimukset.

Taso 4: Ohjeet, joissa kuvataan, miten tason 3 vaatimusten täytyminen osoitetaan.

Tämä voi sisältää esim. ohjeet mitoitusmenetelmän valinnalle, taulukoitujen vaatimusten käytölle, erilaisten laskentamenetelmien käytön ohjeet, kuten esim. nykyisessä B7:ssä, ohjeet riskianalyyysien tekemiselle, jne. Ohjeisiin tulee liittyä myös opastusta hyväksymiskriteerien asettamisesta ja mahdollisuuksien mukaan eri kohteisiin soveltuvia kvantitatiivisia hyväksymiskriteerejä.

Taso 5: Hyväksyttävät ratkaisut.

Kuvaukset hyväksytyistä rakennusteknisistä ratkaisuista, ts. tuloksia laajempaa rakennusjoukkoa koskevista paloturvallisuusanalyyseistä. Suunnittelua taulukoitujen luokkavaatimusten mukaisesti voidaan pitää rakennuksen paloturvallisuuden kannalta "hyväksyttävänä ratkaisuna", vaikka se komponenttien osalta perustuisikin toimivuusvaatimuksiin.



Kuva 2. Paloturvallisuussäädösten rakenne rakentamissäädösten yleisen mallin mukaan.

On huomattava, että tässä järjestelmässä paloturvallisuusvaatimukset ovat kaikille menettelytavoiille samat, mutta vaatimustenmukaisuuden osoittaminen voidaan tehdä usealla eri tavalla.

Perinteiseen pääasiallisesti luokitukseen perustuvaan lähestymistapaan verrattuna toiminnallisen lähestymistavan hyödyiksi on esitetty mm. seuraavia seikkoja [Richardson 1994]:

- *Riskien tunnistaminen*; kun kohteiden paloturvallisuudesta tehdään kvantitatiiviset analyysit, myös niihin liittyvät paloriskit tunnetaan paremmin.
- *Säädösten tarkoituksen selkiytyminen*; kun säädösten tarkoitus on selkeästi todettu, pystytään kohdekohtaisten erikoistapausten tarkastelu tekemään järjestelmällisemmin.
- *Taloudellinen resurssien käyttö*; investoinnit kohdistetaan niin, että niistä on turvallisuuden kannalta eniten hyötyä.

- *Joustavuus rakentamisessa*; uusia ratkaisuja on helpompi tuottaa, koska niitä ei tarvitse muokata rajattuihin luokkavaatimuksiin sopiviksi.
- *Erilaisten tuotteiden tasapuolinen kohtelu*; kun hyväksymiskriteerit perustuvat ainoastaan turvallisuustasoon, erilaisia tuotteita voidaan kohdella tasapuolisesti.
- *Luokkavaatimukset loogisemmiksi*; tarkastelemalla suuria rakennusjoukkoja saadaan turvallisuusvaatimukset myös perinteisessä rakennusten ja rakennustarvikkeiden luokitukseen perustuvassa järjestelmässä loogisemmiksi.

On huomattava, että edellä (kuva 2) ei ole kuin yhdet vaatimukset, mutta vaatimusten täyttymisen osoittamiseen käytettäviä menetelmiä voi olla useita. Hyväksyttäviin ratkaisuihin perustuva menettely on usein yksinkertainen ja helppo tarkastaa. Vaihtoehtoisten menetelmien tuomien etujen vastapainona on, että toiminnalliset menetelmät vaativat usein sekä suunnittelijalta että suunnitelmien hyväksyjältä erityiskoulutusta ja nopeasti kehittyvien menetelmien hallintaa (ks. liite C). Asiantuntemuksen tarve korostuu myös siksi, että koko suunnittelussa joudutaan tekemään oletuksia palotapahtumasta, ihmisten käyttäytymisestä ja erilaisten laitteiden toiminnasta ja luotettavuudesta. Suunnittelun luotettavuuden parantamiseksi voidaan laatia erilaisia oppaita. Kaikkea tarvittavaa tietoa ei kuitenkaan voida koskaan ohjeistaa, vaan aina joudutaan nojaamaan myös suunnittelijoiden yleiseen ammattitaitoon.

Käytännön suunnittelussa sovelletaan taulukkovaatimuksia ja laskennallista paloturvallisuuden osoittamista rinnakkain. Usein taulukkovaatimukset täyttävät rakennusosat muodostavat perustan suunnitelmalle, koska tuotevalikoima on aikojen myötä kehittynyt näihin vaatimuksiin sopiviksi. Kun ”hyväksyttävistä ratkaisuksista” poiketaan vain osittain, ei ole itsestään selvää, että ne osat, joissa poikkeamia ei tehdä, täyttäisivät turvallisuusvaatimukset. Jos eri tekijät ovat vuorovaikutuksessa, lopputuloksen turvallisuus on osoitettava kaikilta osin. Jos jokin muutos, esim. aktiivisten palontorjuntajärjestelmien lisääminen vähentää odotettavissa olevaa palorasitusta, voidaan olettaa, että taulukoidut pintakerros- tai palonkestävyysvaatimukset ovat vähintään riittäviä. Kuitenkin, jos samalla muutetaan esim. osaston kokoa merkittävästi, on erikseen tarkasteltava, aiheuttaako tämä lisävaatimuksia palonkestävyydelle tai pintakerroksille. Tärkeintään ei ole, mitä menetelmää käytetään, vaan että lopputulos on paloturvallinen.

3. Paloturvallisuussuunnittelun vaiheet

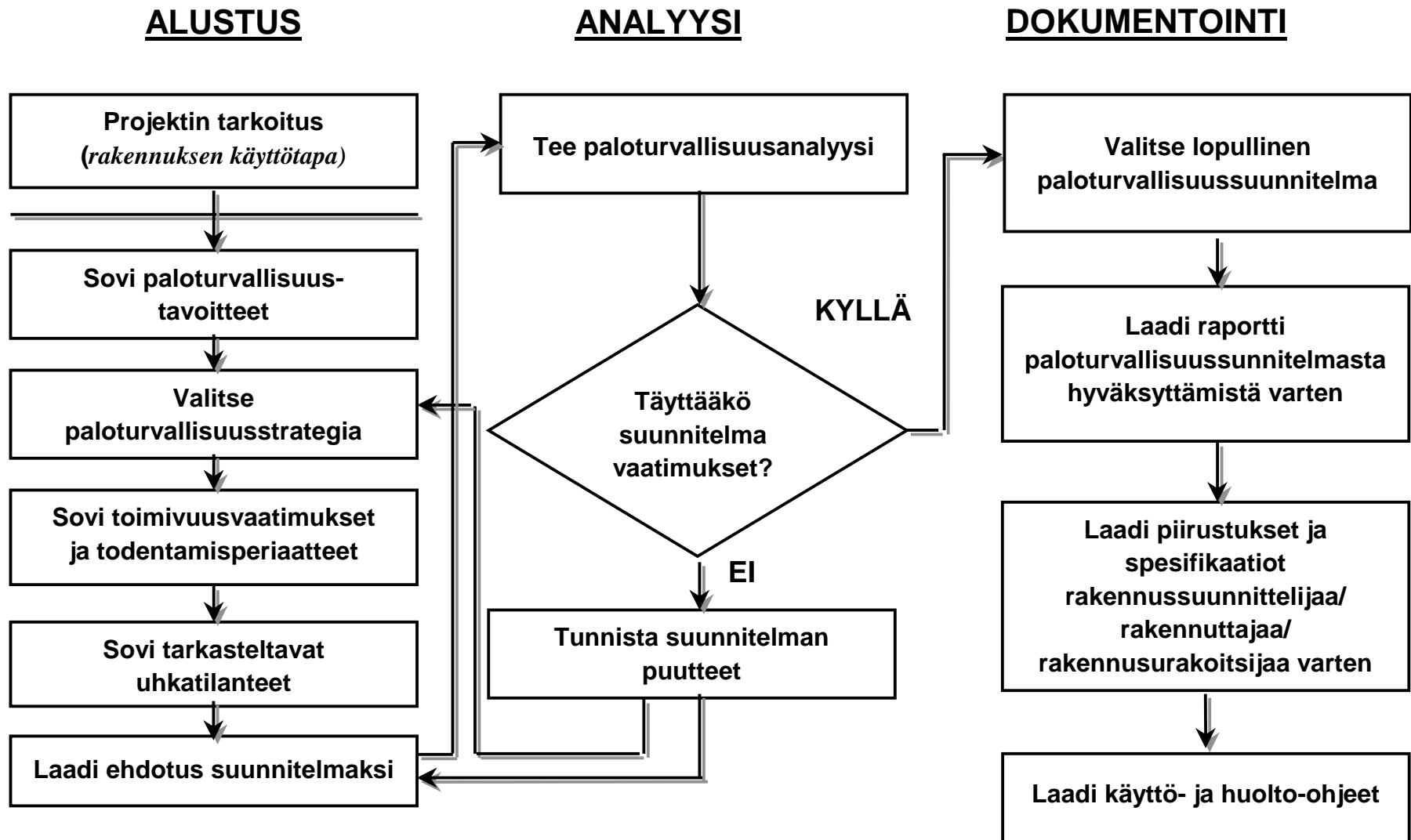
3.1 Suunnitteluprosessin kuvaus

Tällä hetkellä palotekninen suunnittelu esiintyy vain harvoin erikseen tunnistettavana osana rakennuksen kokonaissuunnittelua. Kuitenkin siihen liittyviä toimenpiteitä on otettava huomioon sekä arkkitehtisuunnittelussa, rakennesuunnittelussa että talotekniikan suunnittelussa [Tanhuanpää & Lahdenperä 1996]. Vaadittavan erikoisosaamisen kasvaessa siitä on kuitenkin vähitellen tulossa oma erityisalansa, johon erikoistuneet suunnittelijat muodostavat oman ammattiryhmänsä ja joiden tehtävä on oleellinen osa kokonaissuunnittelua samoin kuin sähkö- tai LVI-suunnittelu. Paloturvallisuussuunnittelijan pitää pystyä tunnistamaan paloturvallisuuteen vaikuttavat tekijät monipuolisesti ottaen huomioon palon kehittymisen mekanismit, tuotteiden käyttäytyminen tulipalossa sekä ihmisten käyttäytyminen pelastautumistilanteessa. Rakenteiden ja muiden rakennusosien tai turvallisuuteen vaikuttavien laitteistojen tekninen suunnittelu hänen tulee jatkossakin jättää kunkin tekniikan alueen asiantuntijoille.

Paloturvallisuussuunnittelussa työn laatuun tulee kiinnittää erityistä huomiota, koska suunnittelijan asiantuntijavastuu on aiempaa suurempi. Suunnitteluprosessin kuvauksessa on otettava huomioon, että ongelman monitahoisuudesta johtuen mikään yksittäinen kokoelma laskenta- tai muita menetelmiä ei sovellu käytettäväksi kaikissa tilanteissa. Suunnitteluprosessista on kuitenkin tunnistettavissa yhteisiä vaiheita, joiden huomioon ottaminen saattaa helpottaa työsuunnitelman laatimisessa.

Eri maissa, mm. Australiassa [FCRC 1996] ja Englannissa [DD 240: Part 1: 1997], sekä kansainvälisen standardisointiorganisaation ISO:n Fire Safety Engineering -komiteassa on työstetty kuvauksia suunnitteluprosessista ja sen eri vaiheissa huomioon otettavista tekijöistä [ISO TR13387 Part 1 – 8, 1999]. Äskettäin on valmistunut myös amerikkalaisen Society of Fire Protection Engineers -järjestön suunnitteluopas [SFPE 1998]. Kansainvälisessä rakennusalan tutkimusjärjestössä on jatkettu työtä ottaen erityisesti huomioon rakenteiden palonkestävyyden erityispiirteet [Kruppa et al. 2000].

Kuvassa 3 on esitetty kaaviona lähes suunnittelumenetelmistä riippumaton suunnitteluprosessin kulku. Tätä kaaviota on yksinkertaistettu olettaen, että kaikki tarvittavat rakennustuotteet ovat olemassa, vaikka todellisuudessa erikoiskohteita rakennettaessa usein kehitetään kokonaan uusia, mahdollisesti ainutkertaisia tuotteita tai järjestelmiä. Todellisuudessa komponenttien palotekniseen suunnitteluun saatetaan joutua panostamaan hyvinkin merkittävästi.



Kuva 3. Paloturvallisuussuunnittelun prosessikaavio.

Suunnitteluprosessi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: *alustus*, *analyysi* ja *dokumentointi*. Seuraavassa tarkastellaan lähemmin, mitä näihin vaiheisiin sisältyy.

3.2 Suunnittelutehtävän alustaminen

3.2.1 Yleistä

Paloturvallisuussuunnittelusta saadaan paras hyöty silloin, kun se otetaan rakennusprojektiin mukaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Tämän vuoksi eri puolilla maailmaa on panostettu merkittävästi juuri alkuvaiheen toimenpiteiden ohjeistamiseen. Alkuvaiheessa tehtävälle toimeksiannon tulkitsemiselle, vaatimusten sopimiselle ja itse analyysin alustamiselle käytetään Englannissa termiä *Qualitative Design Review – QDR* [DD 240 1997] ja Australiassa termiä *Fire Engineering Design Brief – FEDB* [FCRC 1996]. Se on tärkeä ja siksi systemaattista lähestymistapaa vaativa vaihe. On suositeltavaa, että tässä vaiheessa hyödynnetään vuorovaikutteisesti sekä rakennuttajan, muiden suunnittelijoiden että paikallisten palo- ja rakennusviranomaisten asiantuntemusta. Vastaavan menettelyn käsittely saattaisi Suomessa soveltua esim. uudessa rakennuslaissa [Ympäristöministeriö 1999] esiintyvän *aloituskokouksen* tai erikseen hankkeen alussa pidettävän tilaisuuden yhteyteen.

3.2.2 Paloturvallisuustavoitteiden asettaminen

Viranomaisten asettamat paloturvallisuussäädökset käsittelevät yleensä henkilöturvallisuutta ja soveltuvien osin myös omaisuuden suojaamista. Joissakin maissa, kuten esim. Uudessa-Seelannissa, viranomaisvaatimukset kohdistuvat pelkästään henkilöturvallisuuteen omaisuuden suojan jäädessä pelkästään rakennuksen omistajan tai haltijan vastuulle. Suunniteltaessa on otettava huomioon myös muita paloturvallisuustasoon vaikuttavia tavoitteita. Paloturvallisuustavoitteita on käsitelty varsin kattavasti esim. kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n *Fire Safety Engineering* -komitean paloturvallisuussuunnittelua käsittelevissä teknillisissä raporteissa [ISO TR 13387 Parts 1 – 8: 1999] sekä rakennusalan tutkimuksen kansainvälisen yhteisjärjestön CIB:n piakkoin valmistuvassa raportissa [Kruppa et al. 2000]. Seuraava luettelo on yhdistelmä em. raporttien tiedoista:

1. Henkilöturvallisuus

- *Asukkaiden ja käyttäjien turvaaminen*: rakennuksessa olevat henkilöt voivat poistua turvallisesti joutumatta altistetuiksi vaarallisille olosuhteille.
- *Palonsammutus ja pelastustehtävissä olevien turvaaminen*: palokunta voi turvallisesti pelastaa rakennuksessa olevat sekä estää palon leviämisen.

- *Lähistöllä olevien turvaaminen:* palavasta rakennuksesta ei putoa sellaisia kappaleita, jotka vaarantaisivat läheisyydessä olevien turvallisuuden, palosta tulevat liekit ja savu eivät aiheuta uhkaa ulkopuolella.

2. Omaisuuden suoja

- *Rakennuksen sisällön turvaaminen:* rakennuksessa olevan irtaimen omaisuuden kärsimät vahingot ovat rajalliset.
- *Rakennuksen pintamateriaalien turvaaminen:* palon aiheuttamat vauriot rakennuksen pintamateriaaleissa ovat rajalliset.
- *Rakenteiden turvaaminen:* rakenteet eivät vaurioidu siinä määrin, että ne estäisivät rakennuksen jatkuvan käytön.
- *Ympäristössä olevien kohteiden turvaaminen:* palo ei vaurioita eikä leviä lähistöllä oleviin rakennuksiin ja muihin kohteisiin.
- *Liiketoiminnan jatkuvuuden turvaaminen:* rakennuksessa harjoitettava toiminta ei keskeydy tulipalon vuoksi.
- *Liiketoiminnan julkisuuskuvan turvaaminen:* rakennuksessa tai muualla harjoitettavan vastaavan toiminnan julkisuuskuva ei vahingoitu.

3. Ympäristön suoja

- *Ympäristön puhtauden turvaaminen:* tulipalosta ei leviä haitallisia aineita ympäröivään luontoon.
- *Lähistöllä olevien kohteiden turvaaminen:* tulipalo ei vaurioita eikä leviä ympäröivään luontoon.

4. Yhteiskunnan olennaisten toimintojen turvaaminen

- *Tietoyhteyksien turvaaminen:* tulipalo ei katkaise puhelin- ja muuta tietoliikennettä tai tiedotusvälineiden toimintaa.
- *Hallinnon ja yhteiskunnan muiden olennaisten toimintojen turvaaminen:* hallintoelinten (paikalliset, kansalliset) toiminnan tulee voida jatkua ja yhteiskunnan toimintojen tarvitsemien tietojen tulee säilyä käyttökelpoisina (pankkien talletustiedot, eläketiedot, verotustiedot jne.).

Yksittäisessä kohteessa voidaan tavoitteita täsmentää tai laajentaa. Tavoitteita asetettaessa on myös harkittava, tuleeko jo rakennusvaiheessa ottaa huomioon mahdolliset tulevat käytettävän muutokset, sillä tällä saattaa olla positiivinen vaikutus rakennuksen myöhempään käyttöarvoon.

Edellä olevassa luettelossa esimerkiksi yrityksen julkisen kuvan säilyttäminen paloturvallisuustavoitteena saattaa kuulostaa aluksi oudolta, mutta on muistettava, että esi-

merkiksi jonkin suuren monikansallisen yrityksen pörssiosakkeiden arvo saattaa romah-
taa miljardeilla päivässä, mikäli syntyy epäilyä yrityksen kyvystä jatkaa toimituksiaan.
Julkisuuskuvan menetyksestä ääriesimerkkinä on Yhdysvalloissa Three Mile Islandin
ydinvoimalaonnettomuus, joka on käytännössä lopettamassa koko teollisuuden alan
ainakin Yhdysvalloissa. Omaisuuden suojaaminen sisältää sekä välittömien että myö-
hemmin esiin tulevien vahinkojen minimoimisen. Se voi sisältää myös rahassa vaikeasti
mitattavien arvojen suojaamisen esim. historiallisesti arvokkaiden rakennusten tapauk-
sessa.

Suunnitteluprosessin kannalta on olennaista, että turvallisuustavoitteet sovitaan yhdessä
rakennuttajan, viranomaisten, vakuutusyhtiön ym. asianosaisten kanssa. Palo-
turvallisuutta koskeva vastuu on aina rakennuksen omistajalla ja haltijalla, joten siinä
määrin kuin nämä ovat tiedossa, heidän mukanaolonsa alusta alkaen tulee helpottamaan
vastuun kantamista jatkossa. Tavoitteita asetettaessa on otettava myös huomioon, että
paloturvallisuutta saattavat säädellä rakennus- ja pelastustoimintaa koskevien säädösten
lisäksi myös esim. työturvallisuutta ja ympäristönsuojelua koskevat säädökset.

3.2.3 Paloturvallisuusstrategiat

Riittävä paloturvallisuus voidaan saavuttaa useita erilaisia vaihtoehtoisia tai toisiaan täy-
dentäviä tapoja käyttäen. Nykyisissä luokitteluun perustuvissa säädöksissä yleensä vaadi-
taan erilaisten tapojen käyttöä tietyllä tavalla – todennäköisesti yleensä jopa varsin opti-
maalisesti – vaikka kokonaisturvallisuutta ajatellen ei ole mitään periaatteellista syytä
rajata, miten eri menetelmiä käytetään.

Erilaisia menetelmiä ovat mm.

- sytytyslähteiden tehon ja sijoittelun hallinta palon syttymistodennäköisyyden pie-
nentämiseksi
- materiaalien valinta syttyvyyden sekä lämmön, savun ja muiden haitallisten pala-
mistuotteiden tuoton hallitsemiseksi
- uloskäyntijärjestelyt ihmisten pelastautumista varten
- kulunvalvonta asiattomien ihmisten pääsyn estämiseksi
- paloilmittimet ja -varoittimet palon havaitsemisen ja siihen reagoimisen nopeut-
tamiseksi
- alkusammutuskalusto mahdollistamaan palon hallinta paikalla olevien ihmisten
voimin
- sammutuslaitteistot palon rajoittamiseksi ja sammuttamiseksi
- savunpoisto palon ja savun leviämisen rajaamiseksi
- osastointi palon leviämisen rajaamiseksi vain tiettyyn osaan rakennusta
- palonkestävät kantavat rakenteet sortumien tai liiallisten muodonmuutosten estä-
miseksi ja rakennuksen korjaamisen helpottamiseksi
- palokunta ihmisten pelastamista ja palon sammuttamista varten

- jäteveden erillinen keräily saastuneen sammutusveden aiheuttamien ympäristövahinkojen rajaamiseksi
- toimintojen varmentaminen riippumattomilla järjestelmillä.

Haluttu turvallisuustaso voidaan saavuttaa sopivasti erilaisia menetelmiä yhdistelemällä. Kokonaisuuden on kuitenkin sovelluttava myös rakennuksen normaaliin käyttöön. Jos näin ei ole, paloturvallisuuden pysymisestä riittävänä rakennuksen koko elinajan ei ole takeita.

Suunnittelijan ammattitaidosta riippuu, miten hyvään tulokseen sekä rakentamisen aikaisten että koko rakennuksen elinaikaisten kustannusten kannalta päästään. Taulukon 1 muistilista kuvaa paloturvallisuuteen vaikuttavien yksityiskohtien moninaisuutta.

3.2.4 Hyväksymismenettely, toimivuusvaatimukset ja todentamisperiaatteet

Suunnitteluprosessin sujuvuuden kannalta on hyödyllistä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa tarkastaa, miltä eri tahoilta suunnitelmalle pitää saada hyväksyntä. Suunnitelmaan saattaa liittyä erinäisiä toimeksiantajan tai viranomaisten asettamia rajoitteita, jotka vaikuttavat myös paloturvallisuusratkaisujen valintaan. Toimeksiantaja saattaa imagosyistä haluta käyttää vain tiettyjä materiaaleja tai ratkaisuja. Viranomaiset taas asettavat melkein aina vaatimuksia rakennuksen koolle, ulkonäölle tai sijoittelulle tontilla.

Erityisesti teollisuus- tai liikerakentamiskohteissa saatetaan edellyttää hyväksyntää myös muilta kuin rakennusviranomaisilta. Esimerkiksi työsuojelulainsäädäntö saattaa asettaa lisäehtoja tai vakuutusyhtiö haluaa vaikuttaa teknisiin ratkaisuihin tulevien vakuutusehtojensa vuoksi. Rakennuttaja saattaa olla kiinnostunut minimivaatimuksia tiukemmista vaatimuksista taatakseen edellytykset mahdollisille tuleville rakennuksen käyttötavan muutoksille tai varmistaakseen häiriöttömän tuotannon.

Kun paloturvallisuusvaatimukset ovat tiedossa, on tärkeätä sopia myös todentamisen periaatteista. Parhaiten soveltuvan menettelytavan valinta riippuu käytettävissä olevasta budjetista ja ajasta sekä (valitettavasti) myös hyväksyvien tahojen kyvystä käsitellä erilaisia paloturvallisuuden osoittamiseen käytettäviä menetelmiä.

Paloturvallisuussuunnittelua käytettäessä konkreettiset hyväksymiskriteerit eivät aina ole itsestään selviä. Kvalitatiivisesti vaatimukset voidaan asettaa koko suunnittelu-prosessin alkuvaiheessa, mutta kvantitatiivisena kriteerit riippuvat siitä mitä menetelmiä käytetään. Erilaisiin uhkatilanteisiin saattaa liittyä myös eri kriteerit. Turhan työn välttä-

Taulukko 1. Suunnittelun lähtöparametrien valintaa tukeva tarkastuslista [ISO TR 13387 Part 1, 1999].

TARKASTELEN KOHDE	TARKASTELTAVA YKSITYISKOHTA
Rakennussuunnitelma	<ul style="list-style-type: none"> - Rakennuksen paikka muihin rakennuksiin tai ympäristöön nähden - Rakennuksen koko ja muoto - Ikkunoiden, avointen oviaukkojen ja muiden palonkestävyydeltään heikkojen kohtien sijainti ja ominaisuudet - Rakennuksen osastojako - Palon leviämistä estävien rakennusosien, kuten osastovien seinien, ovien, lattioiden, kattojen ja palonrajoittimien sijainti ja palonkestävyysominaisuudet - Rakenteiden ominaisuudet, esim. pilarien, palkkien, laattojen, seinien, ripustusten palonkestävyysominaisuudet - Kulkureittien sijainti normaalikäytössä - Sisään- ja uloskäyntien sijainti - Kulkureitit rakennuksen ulkopuolella - Poistumisreitit - Palokunnan pääsyreitit (ns. pelastustiet) - Palokunnan kulkutiet rakennuksen sisällä - Palovaroittimet ja paloilmottimet - Kiinteät palontorjuntalaitteistot - Pysty- ja vaakasuuntaisten kanavien sijainti ja palonkestävyys - Piilotilojen (onkaloiden) sijainti ja mitat - Suunnittelun muut rajoitukset - Odotettavissa oleva käytönaikainen paloturvallisuuden ylläpito
Jokainen huone, tila tai osasto	<ul style="list-style-type: none"> - Tilan koko ja muoto - Tilan käyttötarkoitus - Mahdolliset sytytyslähteet - Palavaa materiaalia oleva kalusto tai muu sisältö - Palokuorman tiheys - Seinä-, katto- ja lattiapinnoitteet - Kantavien rakenteiden sijainti - Jatkuva taustäänänen taso - Ilmanvaihtolaitteistot - Mahdolliset palon ja savun leviämisreitit - Poistumistiet - Ehdotetut paloturvallisuutta parantavat laitteistot - Muut turvallisuussuunnitteluun vaikuttavat tekijät

Taulukko 1. jatkuu.

Automaattiset sammutusjärjestelmät	<ul style="list-style-type: none"> - Sammutusveden saatavuus - Sprinklereiden sijoittelu ja mitoitusalat - Mahdollisten muiden sammutuslaitteistojen tai sammutteiden käyttö
Palonilmaisu	<ul style="list-style-type: none"> - Ilmaisintyyppit ja niiden toimintaominaisuudet - Ilmaisinten sijoittelu ja vyöhykejako - Paloilmoituspainikkeet - Rikosilmoittimet
Osastointi	<ul style="list-style-type: none"> - Osastojen koko ja nimellinen palonkestävyysaika - Osastorajojen paikat (myös savuosastointi)
Automaattisesti sulkeutuvat tai avautuvat laitteistot	<ul style="list-style-type: none"> - Palo-ovien sulkumekanismit - Palonrajoittimet ilmanvaihtokanavistossa - Savunpoistopuhaltimet - Ikkunoiden ja herkkien esineiden suojaksi laskeutuvat kaihtimet
Savunhallinta	<ul style="list-style-type: none"> - Savunhallinnan periaate (imu, paineistus, laimennus) - Savunpoiston tyyppi (koneellinen tai luonnollinen) - Savunpoistokoneiston kapasiteetti ja lämmönkesto
Hälyttimet ja varoitimet	<ul style="list-style-type: none"> - Paikalliset äänimerkinantolaitteet - Puhuttu tiedote
Poistumis- ja pelastautumisstrategia	<ul style="list-style-type: none"> - Vaiheistettu vai yhtäaikainen - Hallinta tilanteen aikana - Suoraan ulos vai muuhun turvalliseen paikkaan
Uloskäytävät	<ul style="list-style-type: none"> - Käytävien ja oviaukkojen leveydet - Käytävien pituudet - Portaikot - Mahdolliset muut järjestelyt (esim. hissien käyttö)
Alkusammutus	<ul style="list-style-type: none"> - Käsiammuttimet ja pikapalopostit - Koulutetun henkilöstön saatavuus
Palokunnan resurssit	<ul style="list-style-type: none"> - Palokunnan toimintavalmiusaika - Ensi- ja muiden lähtöjen vahvuus - Palokunnan kulkureitit ulkona ja sisällä - Vesilähteet - Savunhallinta
Käytönaikainen paloturvallisuuden hallinta	<ul style="list-style-type: none"> - Miehitettyjen valvomoiden lukumäärä ja sijainti - Henkilökunnan paloturvallisuuskoulutus - Palotarkastukset - Laitteistojen toimintakunnon tarkastukset - Kulunvalvonta
Käyttäjät	<ul style="list-style-type: none"> - Lukumäärä ja sijainti rakennuksessa - Liikuntakyky - Huomiokyky: valveilla, unessa, muutoin rajoittunut - Rakennuksen tuntemisen taso - Muut paloturvallisuuteen vaikuttavat tekijät.

miseksi vaatimusten asettamisen tulisikin olla jatkuvaa vuoropuhelua suunnittelijan ja viranomaisten välillä. Vaatimusten asettamista tarkastellaan lähemmin luvussa 4 eri suunnittelumenetelmien kuvauksen yhteydessä. Seuraavassa on lyhyesti kuvattu periaatteelliset vaihtoehdot [FCRC 1996].

3.2.4.1 Taso 1: Komponenttien ja osajärjestelmien vastaavuuden arviointi

Paloturvallisuussuunnittelijalle tulevan toimeksiannon ollessa rajattu päädytään yleensä arvioimaan vain sitä, onko jokin ehdotettu yksityiskohta yhtä hyvä kuin taulukko-vaatimuksiin perustuvassa vaihtoehdossa. Arviointi ei yleensä edellytä eri paloturvallisuustoimenpiteiden vuorovaikutusten tarkastelua, vaan esim. yksittäistä rakennusosaa voidaan tarkastella erikseen. Yksinkertaisimmillaan lähestymistapaa voidaan käyttää esim. arvioitaessa, täyttäisikö jokin rakennusosa pienten muutosten jälkeenkin tarvittavat palonkestävyysvaatimukset.

Tämä lähestymistapa soveltuu erityisesti tuotevaihtoehtojen vertailuun. Menettelyä käytetään sekä systemaattisiin laskelmiin perustuen että ns. asiantuntija-arvioiden tekemisessä vaikkapa rakennuskohteessa paikan päällä.

Mikäli yleisesti hyväksytyt vaatimukset on esitetty komponenttien koestandardeihin perustuvina luokitusvaatimuksina, myös vaihtoehtoja on käsiteltävä olettaen palorasitukset samoiksi kuin kokeessa, vaikka ne eivät olisikaan sellaisia, joiden voitaisiin olettaa esiintyvän kyseisessä kohteessa. Mikäli ehdotettu paloturvallisuusstrategia poikkeaa yleisesti hyväksytyyn ratkaisun strategiasta, vastaavuuden arviointiin tulee käyttää uhkakuvamalliin tai riskianalyysimenetelmiin perustuvia lähestymistapoja.

3.2.4.2 Taso 2: Järjestelmän toimivuuden arviointi uhkakuvamallia käyttäen

Uhkakuvamallissa käytetään mitoituspaloskenaarioita ja mitoituspaloja kuvaamaan tulipalossa oletettavasti esiintyviä palotilanteita. Menettely edellyttää erilaisten paloturvallisuustoimenpiteiden välisten vuorovaikutusten tarkastelua. Lähestymistapa soveltuu erityisesti koko rakennussuunnitelman hyväksyttävyyden arviointiin.

Uhkakuvamalliin perustuvaa suunnittelua ja mitoituspalon valintaa tarkastellaan laajemmin luvussa 4. Tulipalon simulointi tai poistumisajan laskenta ovat tämän lähestymistavan perustyökaluja.

3.2.4.3 Taso 3: Kokonaisriskin arviointi

Rakennusten paloteknisten ratkaisujen hyväksyttävyyttä voidaan arvioida tekemällä kohdetta tai tyyppikohteita koskeva riskianalyysi. Menettely vaatii tilastoaineiston käyttöä sekä tapahtumatodennäköisyyksien että tuotteiden ja järjestelmien luotettavuuden ar-

viointiin. Seurausten arvioinnissa hyödynnetään tason 2 menetelmiä. Menettely on työmäärältään laajin ja vaatii tekijältään laajaa asiantuntemusta. Tämän vuoksi se soveltuu suuriin kohteisiin, joissa voidaan saavuttaa todella merkittäviä säästöjä tai joissa ehdotettu suunnitelma poikkeaa merkittävästi totutuista ratkaisuista.

Kvantitatiivinen riskianalyysi on harvoin mahdollista, mutta sen sijaan vertaileva riskianalyysi, jossa tarkastellaan erilaisten vaihtoehtojen suhteellista riskiä, on tällä hetkellä täysin mahdollista ja sitä on jo sovellettu jossakin määrin myös Suomessa. Todennäköisyyksiä koskevan tiedon lisääntyessä menettelyn käyttö tulee nopeasti lisääntymään. Riskianalyysin käyttöä suunnittelussa tarkastellaan luvussa 4 laajemmin.

3.2.5 Tarkasteltavat uhkatilanteet

Paloturvallisuustoimenpiteisiin vaikuttaa merkittävästi, minkälaisiin uhkatilanteisiin tulee varautua. Ennen analyysivaihetta tulisi sopia mm. seuraavista seikoista

- minkätyyppisiin tulipaloihin tulee varautua (tyypilliset vakavat palot, mahdolliset vaaralliset aineet, mahdolliset räjähdykset)
- onko tuhopolton mahdollisuus otettava suunnittelun lähtökohdaksi
- varaudutaanko tilanteisiin, jossa käyttäjät kykenevät / eivät kykene osallistumaan sammutus- ja pelastustehtäviin
- varaudutaanko pääasiallisesta käyttötavasta poikkeaviin käyttötarkoituksiin (esim. koulujen käyttö majoitustiloina, urheiluhallin käyttö näyttelytilana, ...)
- varaudutaanko myöhemmin tapahtuviin käyttötavan muutoksiin.

3.2.6 Suunnitelmaehdotus

Tällä hetkellä ei ole olemassa menetelmiä, jotka automaattisesti tulostaisivat tarvittavat paloturvallisuusratkaisut koko rakennukseen tai edes sen osaan. Tämän vuoksi paloturvallisuusanalyysi perustuukin suunnitelmaehdotusten arviointiin.

Edellisen kohdan vaiheiden jälkeen pystytään yleensä tekemään vaihtoehtoisia ehdotuksia, joiden toivotaan täyttävän asetetut paloturvallisuusvaatimukset. Paloturvallisuusanalyysin avulla vaihtoehdoista voidaan karsia heikoimmat pois ja valita tilanteeseen sopivin edelleen tarkemman analyysin avulla paranneltavaksi.

3.3 Paloturvallisuusanalyysi

3.3.1 Paloturvallisuusanalyysin valmistelu

Paloturvallisuusanalyysin sisältö riippuu tavoitteista, käytettävissä olevasta ajasta, budjetista ja käytettävissä olevista menetelmistä. Analyysin laajuudesta riippumatta voidaan ennen varsinaisen analyysin tekemistä tapahtuvasta tehtävän alustamisesta tunnistaa yhteisiä piirteitä. Suunnittelun lähtötiedot voidaan jakaa kahteen kategoriaan: annetut suunnitteluparametrit ja arvioidut suunnitteluparametrit. Edellisiä ovat suoraan rakennussuunnitelmasta saatavat lähtötiedot, jotka jokainen tulkitsee täsmälleen samalla tavalla. Jälkimmäiset taas ovat sellaisia lähtötietoja tai reunaehtoja, joita suunnittelijan tulee yksinkertaistaa kunkin menetelmän vaatimaan muotoon ja jota koskevat numeeriset arvot analyysin tekijän tulee kiinnittää. Koska nämä oletukset riippuvat oleellisesti analyysin tekijästä, ne tulee myös huolellisesti dokumentoida suunnitelmassa.

3.3.1.1 Rakennuksen mallintaminen

Rakennuksen mallintamisella tarkoitetaan rakennuspiirustusten mukaisen kohteen yksinkertaistamista siten, että paloturvallisuuden kannalta oleelliset osat kuvataan muodossa, joka sopii yhteen käytettävän analyysimenetelmän kanssa. Olennaisimmat osat tässä ovat, että tilojen ja aukkojen mitat sekä rajoittavien pintojen termiset ominaisuudet vastaavat mahdollisimman hyvin tarkasteltavan kohteen ominaisuuksia. Mahdollisten piilo-tilojen käsittely tulee myös ottaa huomioon. Poistumisreitit tunnistetaan ja niiden leveydet, pituudet ja muut poistumisnopeuteen vaikuttavat tekijät määritetään.

Mikäli ilmanvaihto- tai lämmityslaitteistot oletettavasti vaikuttavat palon kehittymiseen ja savun virtauksiin, ne kuvataan massan tai energian lähteinä. Myös rakennuksen sisällä olevat koneet, laitteet ja rakenteet, jotka vaikuttavat lämmönsiirtoon ja virtauksiin, tulee ottaa huomioon.

Rakennuksen mallintamiseen liittyy tarvittaessa myös eri rakennusosien toimintaan liittyvien epävarmuuksien arviointi. Varsin usein tarvitaan esimerkiksi tietoa siitä, millä todennäköisyydellä tulipalon sattuessa palo-ovet ovat suljettuina tai millä todennäköisyydellä koneellinen ilmanvaihto on päällä.

3.3.1.2 Paloturvallisuuslaitteistojen mallintaminen

Paloilmaisimien tai automaattisten sammutuslaitteistojen toimintahetken arviointia varten mallinnetaan niiden vasteet palosta lähteille viesteille (lämpötila, säteily, savu, kaasut). Tässä vaiheessa saattaa myös laitteiden paikka olla osittain vapaasti valittavissa. Myös paloturvallisuuslaitteistojen toimintaluotettavuuden arviointi on osa niiden mallintamista.

3.3.1.3 Käyttäjien mallintaminen

Henkilöturvallisuuden arviointia varten tarvitaan tietoja odotettavissa olevista henkilömääristä ja henkilöiden sijainnista. Käytettävästä menetelmästä riippuen arvioidaan myös henkilöiden kyky havaita alkanut palo, tehdä johdonmukaisia päätöksiä palotilanteessa sekä poistua turvalliseen paikkaan joko omatoimisesti tai avustettuna. Tähän vaikuttaa esim. onko henkilöitä paikalla jatkuvasti vai vain satunnaisesti, ovatko rakennuksessa olevat henkilöt hereillä vai käytetäänkö tilaa myös yöpymiseen, tuntevatko henkilöt rakennuksen ja sen vaihtoehtoiset uloskäytävät, tai kykenevätkö henkilöt poistumaan tilasta omatoimisesti. On myös otettava huomioon, onko henkilöille annettu ohjeita käyttäytyä tulipalon sattuessa tietyllä tavalla.

3.3.1.4 Uhattuna olevan omaisuuden mallintaminen

Omaisuuden vaurioitumisen voi aiheuttaa savu, kohonnut lämpötila tai sammute. Teknisissä järjestelmissä saattaa vaurioituminen olla myös epäsuoraa keskinäisten riippuvuuk-sien vuoksi.

Mallintamisella tarkoitetaan tässä yhteydessä kuvausta sille, miten kaasulämpötilan nousu, lämpösäteily, savun kertyminen pinnoille tai sammute aiheuttaa vaurioita.

3.3.1.5 Mitoittavien palotilanteiden valinta

Mitoittavien palotilanteiden valinta on kriittisin vaihe koko paloturvallisuusanalyysin lopputulosten luotettavuudelle. Mitoittavien tilanteiden tulisi ottaa riittävällä varmuudella huomioon mahdolliset palotilanteet. Periaatteessa valinta pitäisi tehdä kohdekohtaista riskianalyysiä hyödyntäen, mutta käytännössä valinta perustuu usein mukana olevien tahojen asiantuntemukseen. Usein esiintyville tyyppikohteille voidaan laatia ennakkoon ohjeita, mutta on kuitenkin muistettava, että johonkin toiseen saman käyttötarkoituksen kohteeseen sopivaksi havaittu mitoituspalo ei välttämättä sovellukaan tarkasteltavana olevaan kohteeseen.

Mitoituspalon valintaa käsitellään tarkemmin luvussa 4. Sitä varten ollaan TOPA-projektissa laatimassa myös erillistä, yksityiskohtaisempaa opasta.

3.3.1.6 Menetelmien valinta

Paloinsinöörin käytettävissä on olemassa mitä erilaisimpia oppaita, käsikirjoja tai laskentaohjelmia. Laskentaohjelmien käytön edellytyksenä tulisi olla, että niiden kelpoisuus on osoitettu. Kelpoisuuden osoittaminen koskee niin analyttisiä laskentakaavoja kuin numeerisia simulointiohjelmiakin. Kelpoisuuden osoittamista käsittelevä raportti

on äskettäin hyväksytty ISO:n Fire Safety Engineering -komiteassa [ISO TR 13387 Part 3, 1999].

Vaikka kelpoisuuden osoittamisen välttämättömyys on tunnustettu jo vuosia sitten, käytännön työ on kuitenkin jäänyt hyvin vähiin. Ongelma on kuitenkin enemmän juridinen kuin turvallisuuteen liittyvä. Luokkavaatimukseen perustuvaa suunnittelumenetelmien vastaavuutta todellisen paloturvallisuuden kanssa ei ole myöskään muodollisesti osoitettu kvantitatiivisesti, mutta sille ei yleisesti katsota olevan edes juridisia tarpeita.

3.3.1.7 Hyväksymiskriteerit

Kun suunnitteluun käytettävien menetelmien periaatteet on sovittu, voidaan asettaa kvantitatiiviset kriteerit. Esimerkiksi vyöhykemalleja käytettäessä voidaan kriteerinä käyttää savukerroksen laskeutumista kriittiselle korkeudelle, mutta kenttämallien tapauksessa vastaavaa selkeää rajaa ei ehkä saadakaan.

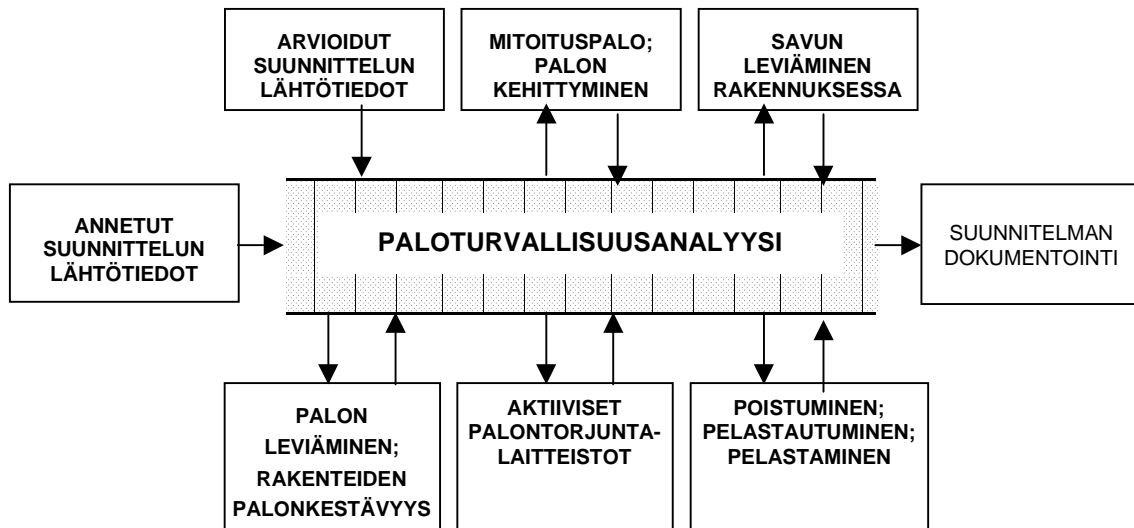
3.3.2 Paloturvallisuusanalyysin tekeminen

Tehtävän huolellisen asettamisen jälkeen voidaan itse analyysi tehdä varsin suoraviivaisesti. Koska palotekniset suunnittelumenetelmät sisältävät lähes aina mahdollisuuden valita useita erilaisia lähtöparametrejä, edellytetään käyttäjältä, että hän kykenee tekemään tarvittavia oletuksia sekä tarkastelemaan saatujen tulosten realistisuutta. Kattavia oppaita lähtötietojen asettamisesta ei ole odotettavissa lähiaikoina, joten paloturvallisuusanalyysin tekijältä edellytetään myös kykyä etsiä tarvittavat tiedot julkaistusta kirjallisuudesta tai itse johtaa ne muutoin yleisesti hyväksytyjen tietojen avulla.

Eräitä paloturvallisuusanalyysin menetelmiä tarkastellaan lähemmin luvussa 4. Menetelmästä riippumatta paloturvallisuusanalyysin oleellisena piirteenä on, että eri toimenpiteiden vuorovaikutukset otetaan huomioon. Tätä voidaan havainnollistaa kuvan 4 kaaviolla.

3.3.3 Tuloksen kelpoisuuden selvittäminen

Mikäli analyysin tulokset eivät täytä kvantitatiivisiä hyväksymiskriteerejä, on palattava suunnitteluprosessin alkuun ja muutettava joko rakennuksen tilajärjestelyjä, käytettäviä materiaaleja, rakennusosia, palontorjuntaan tarkoitettuja laitteistoja tai esim. palokuormaa. Jos taas suunnitelman todetaan täyttävän turvallisuusvaatimukset, voidaan pyrkiä taloudellisesti edullisempiin ratkaisuihin. Muunnetun suunnitelman turvallisuus on kuitenkin varmistettava uuden analyysin avulla.



Kuva 4. Paloturvallisuustoimenpiteiden vuorovaikutuksen huomioonottaminen paloturvallisuussuunnittelussa.

Joissakin tilanteissa pienetkin muutokset oletuksissa saattavat johtaa erittäin merkittävään muutokseen tulipalon kulussa. Tämän vuoksi lopullisenkin suunnitelman luotettavuus tulee arvioida tarkastelemalla päämuuttujien pienten muutosten vaikutusta. Palon kehittymiseen vaikuttavista tekijöistä herkin on paloteho. Poistumisen arvioinnissa taas ihmisten reagointiajat saattavat vaihdella todellisuudessa hyvinkin paljon.

3.4 Dokumentointi

Luotettavan paloturvallisuussuunnittelun edellytyksenä on, että käytetyt menetelmät, tehdyt oletukset, hyväksymiskriteerit ja saadut tulokset dokumentoidaan huolellisesti. Paloturvallisuussuunnitelma dokumentoidaan ainakin kolmenlaista käyttöä varten: viranomaisille rakennussuunnitelman hyväksyntää varten, muille suunnittelijoille, rakennuttajalle ja rakennusurakoitsijalle työn tekemistä varten ja tuleville rakennuksen käyttäjille paloturvallisuustoimenpiteiden ylläpitoa varten¹. Erityisesti jälkimmäinen osa voidaan tehdä lopullisesti vasta rakennuksen valmistuttua, jolloin tiedetään täsmälleen mitä tuotteita on käytetty.

¹ Uuden pelastustoimilain mukaan rakennuksen omistaja ja haltija vastaavat rakennuksen paloturvallisuudesta.

3.4.1 Dokumentointi hyväksyntää varten

Rakennusviranomaisia varten laadittavasta raportista on käytävä ilmi, millä perusteella paloturvallisuussuunnittelija pitää suunniteltua rakennusta paloturvallisena. Dokumentointi on välttämätöntä myös tulevaisuuden kannalta, koska muutoin ei esimerkiksi käytötarkoituksen muutosta haluttaessa voida päätellä, mihin suunnittelu on perustunut tai mitä kvantitatiivisia vaatimuksia on asetettu. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E1 on dokumentoinnin sisällöstä annettu seuraavansisältöinen ohje:

Menetelmän käytön perusteet ja saadut tulokset tulee esittää. Asiakirjoista on tällöin ilmettävä ainakin seuraavat seikat:

- rakennuksen ja siinä olevien paloturvallisuuslaitteiden kuvaus*
- rakennuksen käytöstä koko sen elinkaaren aikana tehdyt oletukset*
- palokunnan toimintamahdollisuuksista tehdyt oletukset*
- perusteet tarkastelun kohteiksi valituille palotilanteille*
- rakennuksen käytön aikana edellytettävät huolto- ja kunnossapitotoimet*
- käytettyjen menetelmien kuvaus, joka sisältää laskenta- ja koemenetelmien soveltuvuuden rajoituksineen sekä lähtötiedot ja tehdyt oletukset perusteluineen*
- saadut tulokset herkkyyksianalyysineen (sen selvittämiseksi, aiheuttaako pieni muutos tehdyissä oletuksissa merkittävän muutoksen paloturvallisuudessa)*
- hyväksymiskriteerit ja saatujen tulosten vertailu niihin.*

Edellä oleva noudattaa vastaavia muissa maissa annettuja ohjeita. Eri kohtien käsittelyn yksityiskohtaisuutta ja laajuutta ei voida ennakolta kiinnittää. Ei ole myöskään mitään syytä edellyttää kaikissa kohteissa samantasoista dokumentointia, vaan sen tulee olla suhteessa tehtyjen analyysien laajuuteen ja kohteen vaativuuteen.

Äskettäin uusittu pohjoismaainen opas [NKB 1999] esittää vähimmäisvaatimukset paloturvallisuusraporttiin sisällytettävistä asioista. Taulukon 2 luettelo on laadittu tältä pohjalta.

Koska erilaisten muutosten vaikutus paloturvallisuuteen ei aina ole itsestään selvää, on jokseenkin välttämätöntä, että paloturvallisuussuunnittelija osallistuu myös valvontaan rakentamisen aikana. Tarvittaessa hänen tulee muuttaa hyväksyville viranomaisille toimitettavaa dokumentointia.

3.4.2 Dokumentointi rakennusprojektia varten

Paloturvallisuussuunnitelma saattaa rajoittaa merkittävästi rakennuksen kokonaisuunnitelmaa. Esimerkiksi, jos paloturvallisuuden perustana on sprinklaus, tulee suunnitelmassa varautua riittäviin vesilähteisiin. Savunhallintaa varten tulee järjestää sekä riittävä poisto että riittävä korvausilman tulo. Paloilmoitin edellyttää varautumista kaapelointiin. Joissakin osissa voidaan edellyttää vain tietyn tasoisia pintakerroksia jne.

3.4.3 Käyttö- ja huolto-ohjeet

Koska rakennuksen paloturvallisuus on sekä omistajan että haltijan vastuulla, tulee heillä olla käytettävissään ohje, josta selviää, mihin rakennuksen paloturvallisuus perustuu ja mitkä tekijät siinä ovat oleellisia. Jos paloturvallisuus perustuu osittain esim. osaston sisäisten seinien tai rakenteiden olemassaoloon, tämä tulee saattaa em. vastuullisten tahojen tietoisuuteen. Paloilmoittimet ja sammutuslaitteistot edellyttävät määräaikaishuoltoa tai toimenpiteitä mahdollisissa vikatilanteissa. Avautuvaksi tai sulkeutuvaksi tarkoitetut laitteistot, varsinkin jos ne altistuvat sään vaikutuksille, edellyttävät säännöllistä tarkastusta ja todennäköisesti myös huoltoa.

Myös osa ns. passiivisista toimenpiteistä saattaa edellyttää määräaikaista huoltamista tai vähintäänkin korjaamista vikaantumisen jälkeen. Esimerkiksi palosuojamaalit ja muut suojaukset tai suojaverhoukset saattavat menettää merkityksensä vaurioituessaan. Joissakin tuotteissa saattaa myös tapahtua ikääntymisen mukanaan tuomia muutoksia.

Taulukko 2. Paloturvallisuusraportin vähimmäissisältö – suunnittelun perusteet.

1	Paloturvallisuussuunnittelun perusteet
1.1	<p>Paloturvallisuustavoitteet, sovelletut säädökset ja muut vaatimukset</p> <ul style="list-style-type: none"> - paloturvallisuustavoitteet (henkilöturvallisuus, omaisuuden ja ympäristön turvaaminen jne.) - sovelletut säädökset - mahdolliset lisävaatimukset (rakennuttajan, vakuutusyhtiön ym. taholta)
1.2	<p>Paloturvallisuussuunnittelun lähtötiedot</p> <p>Rakennuksen ja käyttötavan kuvaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - rakennuksen käyttötaparyhmä(t) - rakennuksen suuruus; käyttötavaltaan erilaisten osien suuruus - paloturvallisuutta vaarantava toiminta <p>Rakennuksessa olevien henkilöiden kuvaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - rakennuksessa kerrallaan tai eri aikoina oleskelevien henkilöiden lukumäärä - rakennuksessa yöpyvien lukumäärä - henkilöiden liikuntakyky (erityisesti pelastautumisessa apua tarvitsevien lukumäärä) - sellaisten henkilöiden lukumäärä, joita ei voida siirtää rakennuksesta pois tulipalonkaan aikana tai joiden voidaan muusta syystä olettaa jäävän rakennukseen tulipalon aikana - henkilöiden tuntemus rakennuksen kulkureiteistä - pelastustehtävissä apua antavien henkilöiden lukumäärä <p>Pelastusvalmius</p> <ul style="list-style-type: none"> - mahdollinen paikallisesti toimiva pelastusvalmiudessa oleva ryhmä (esim. teollisuuspalokunta) - kunnallisen palokunnan mahdollisuus osallistua pelastustoimintaan
1.3	<p>Vaatimukset ja hyväksymiskriteerit</p> <ul style="list-style-type: none"> - henkilöturvallisuuden arviointiin käytetyt vaatimukset ja hyväksymiskriteerit - omaisuuden suojan arvioinnissa käytetyt vaatimukset ja hyväksymiskriteerit - rakennusosia koskevat vaatimukset ja hyväksymiskriteerit - muut mahdolliset vaatimukset ja hyväksymiskriteerit

Taulukko 2 (jatkuu). Paloturvallisuussuunnitelman vähimmäissisältö – suunnitelman tekninen dokumentointi.

2	Paloturvallisuussuunnitelman tekninen dokumentointi
2.1	<p>Rakennuksen muoto ja koko</p> <ul style="list-style-type: none"> - mitat (kerrosala, leveys, pituus, korkeus) - kerrosluku - huonejako (piirroksin) - pintakerrokset - osastoivat seinät ja palomuurit - palonkestävät lasirakenteet - palo-ovet - ilmanvaihtolaitteistot - kanavat, ontelot ja muut piilotilat
2.2	<p>Paloturvallisuuslaitteistot</p> <ul style="list-style-type: none"> - sprinklerilaitteistot (tai muut automaattiset sammutuslaitteistot) - automaattiset paloilmoittimet - hälytyslaitteistot - sulkeutuvat ovet ja muut toimilaitteet - savunpoisto - sammutusveden keräily - mahdolliset muut paloturvallisuuden ylläpitämisen kannalta olennaiset laitteistot tai rakenteet (esim. kevyet seinät).
2.3	<p>Rakennuksen käyttö ja sisustus</p> <ul style="list-style-type: none"> - käyttötapa ja odotettavissa olevat toiminnot (mm. yleisötilojen käyttö) - kiinteä sisustus (palokuorma) - irtain sisustus (palokuorma)
2.4	<p>Mitoittavat henkilötiedot</p> <ul style="list-style-type: none"> - henkilömäärä eri käyttötilanteissa - ikäjakaantuma eri käyttötilanteissa - liikunta- ja muu toimintakyky eri käyttötilanteissa - muut tekijät, jotka voivat vaikuttaa henkilöiden pelastautumiskykyyn tai pelastettavuuteen

Taulukko 2 (jatkuu). Paloturvallisuusraportin vähimmäisisältö – suunnitelman tekninen dokumentointi.

<p>2.5</p>	<p>Mitoituspaloskenaariot ja niiden valintaperusteet</p> <ul style="list-style-type: none"> - perusteet mitoituspaloskenaarioille (myös perusteet muiden paloskenaarioiden poissulkemiselle) - jokaisen mitoituspaloskenaarion kohdalla kuvaus siitä, missä palon oletetaan syttyvän, mikä on ensimmäiseksi syttynyt kohde ja miten palon oletetaan leviävän - kvalitatiivinen kuvaus siitä, mihin rakennusosiin kohdistuvaa vaikutusta tarkastellaan (ikkunat, pintakerrokset, osastoimattomat ja osastoivat seinät, kantavat rakenteet jne.) - kvalitatiivinen kuvaus siitä, millä tavalla paloturvallisuuslaitteistot vaikuttavat ja miten niiden mahdollinen toimimattomuus otetaan huomioon - miten ihmiset toivat kyseisessä paloskenaariossa ja miten he pääsevät poistumaan (uloskäytävien käytettävyys)
<p>2.6</p>	<p>Paloturvallisuusanalyysin menetelmien kuvaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - paloturvallisuusanalyysimenettelyn taso (ks. luku 3) - riskianalyysin hyödyntäminen - oletukset ja niistä seuraavat rajoitukset - viittaukset käytettyjen menetelmien tai ohjelmien kelpoisuutta osoittaviin dokumentointiin sillä tarkkuudella, että ne ovat muiden jäljitettävissä - eri menetelmien sovellusalue ja rajoitukset
<p>2.7</p>	<p>Lähtötiedot</p> <ul style="list-style-type: none"> - olennaiset lähtötiedot ja niiden käyttötarkoitus (numeroarvot lähteineen) - lähtöarvojen epävarmuudet ja niiden huomioon ottaminen
<p>2.8</p>	<p>Tulosten esittäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> - laskennan tulosteet (taulukot, käyrästöt) - tehdyt poikkeamatarkastelut (sen selvittämiseksi, voiko pieni muutos lähtötiedoissa aiheuttaa muutoksen johtopäätöksiin) - vertailu hyväksymiskriteereihin

Taulukko 2 (jatkuu). Paloturvallisuusraportin vähimmäisisältö – suunnittelijan pätevyys.

3	Paloturvallisuussuunnittelijan pätevyys
3.1	Vastaava paloturvallisuussuunnittelija <ul style="list-style-type: none"> - koulutus (erityisesti palotekninen koulutus) - kokemus vastaavista tehtävistä - pätevyyttä osoittavat sertifikaatit
3.2	Alihankkijat <ul style="list-style-type: none"> - paloturvallisuuslaitteistojen suunnitteluun ja rakenteiden palomitoitukseen osallistuneet alihankkijat tai muut suunnittelijat

Taulukko 2 (jatkuu). Paloturvallisuusraportin vähimmäisisältö – ohjeet palotarkastusta ja pelastustoimintaa varten.

4	Ohjeet palotarkastusta ja pelastustoiminnan johtamista varten
4.1	Palotarkastajan saatavilla olevat asiakirjat (kiinteistössä säilytettäväksi) <ul style="list-style-type: none"> - luettelo olemassa olevista suunnitteluasiakirjoista sekä käyttö- ja huolto-ohjeista - lyhyt kuvaus paloturvallisuuden kannalta olennaisista laitteista ja muista rakennusteknisistä ratkaisuista - muut mahdolliset paloturvallisuuteen vaikuttavat tekijät (oletettu käyttötapa, palokuormarajoitukset, henkilömäärärajotukset)
4.2	Palo- ja pelastustoimen ohjeistus <ul style="list-style-type: none"> - luettelo paloturvallisuuteen vaikuttavista laitteista ja tiedot paikoista, joista niitä voidaan ohjata - tulipalon sammutuksen kannalta merkittävät rakennustekniset ratkaisut: osastorajat ja muut sopivat katkaisulinjat

4. Paloturvallisuussuunnittelun menetelmät

4.1 Riskianalyysin käyttö paloturvallisuussuunnittelussa

4.1.1 Riskianalyysin periaatteet

Toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu tähtää tulipalon aiheuttaman riskin rajoittamiseen. Tämän vuoksi riskianalyysi tarpeenmukaisessa laajuudessa kuuluu aina osaksi suunnittelua. Riskianalyysin avulla tunnistetaan ne tekijät, jotka vaikuttavat kokonaisriskiin eniten ja joihin mahdolliset parannustoimenpiteet kannattaa kohdistaa. Mitoituspalon ohella myös muiden mitoitussarvojen valinnan tulisi myös perustua riskianalyysiin.

Käsitteellä "riski" ymmärretään yleisesti haitallisen, vahinkoa aiheuttavan tapahtuman suuruutta. Matemaattisesti riski R voidaan määrittellä riskitulona tai vahingon odotusarvona

$$R = P \times C, \quad (1)$$

missä P on vahinkoa aiheuttavan tapahtuman todennäköisyys ja C sen seuraukset menettäytinä ihmishenkinä, loukkaantuneiden lukumääränä, omaisuusvahinkoina tai muina mitattavissa olevina vahingon suuruutta kuvaavina suureina.

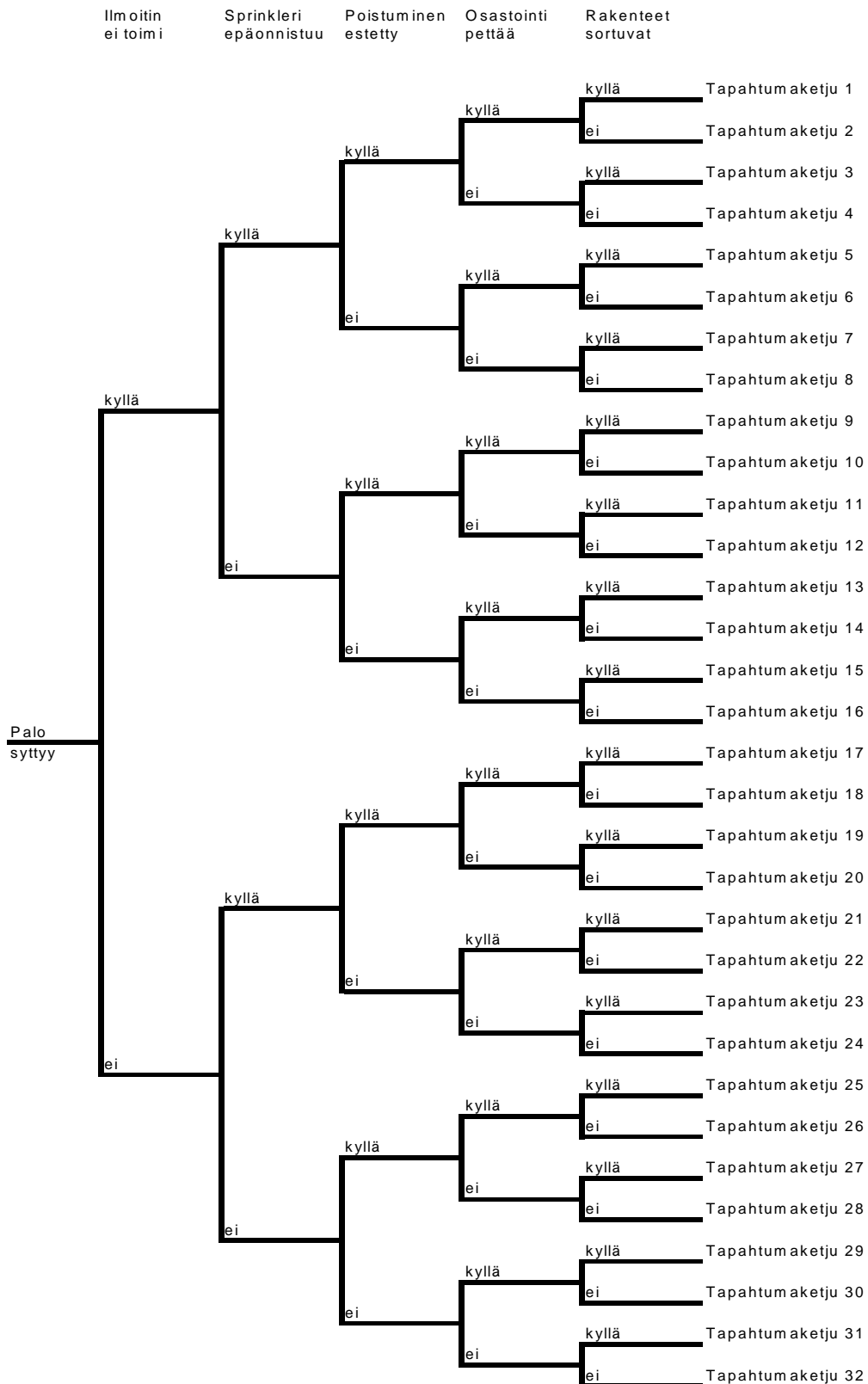
Jos mahdollisia vahinkoa aiheuttavia tapahtumia on useita, saadaan kokonaisriski summana

$$R = \sum_{i=1}^N P_i \times C_i, \quad (2)$$

missä P_i ja C_i ovat kutakin tunnistettua tapahtumaketjua vastaavat todennäköisyys ja seurausten suuruus.

Riskianalyysin perustyökaluja ovat tapahtumapuut tai vikapuut, joita käyttäen kuvataan havainnollisesti tulipalon kulkua ja erilaisten laitteiden toiminnan tai toimimattomuuden vaikutusta siihen.

Kuvassa 5 on esimerkki paloturvallisuussuunnitteluun liittyvästä tapahtumapuusta. Jokaisen haarautuman kohdalla määritetään todennäköisyys, jolla siirrytään seuraavalle tasolle. Lopputuloksena on kunkin tapahtumaketjun todennäköisyys. Kun saadulla todennäköisyydellä kerrotaan kyseisen tapahtumaketjun aiheuttamat seuraukset, saadaan tulokseksi kyseiseen tapahtumaketjuun liittyvä riski.



Kuva 5. Esimerkki tulipalon kulun kuvaamiseen käytettävästä tapahtumapuusta.

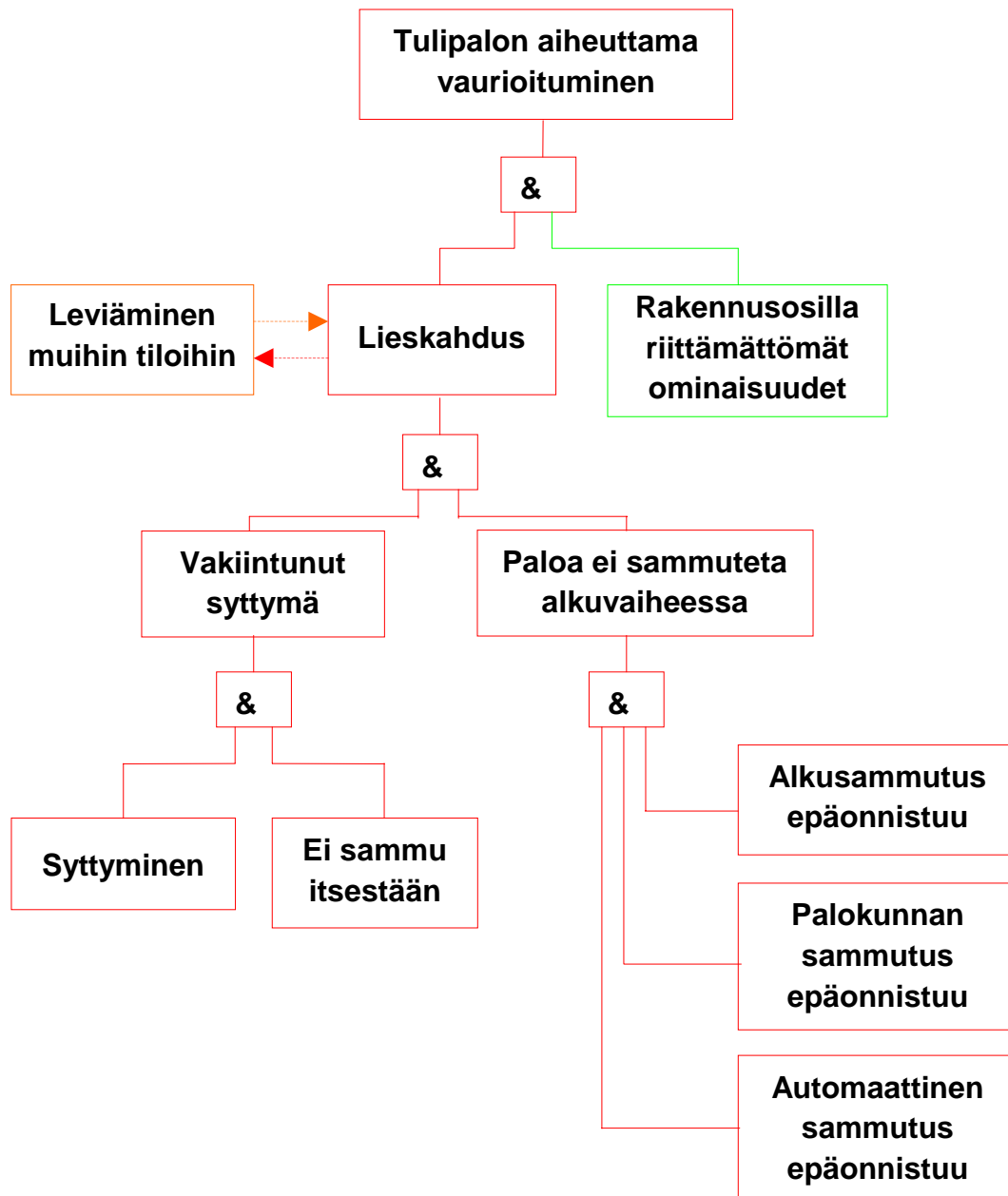
Tapahtumapuun haarojen lukumäärä riippuu tarkasteltavana olevan ongelman laajuudesta ja siitä, miten yksityiskohtaisesti jotakin osaa tarkastellaan. Kuvan 5 esimerkissä voidaan esim. osastoinnin pettämistä tarkasteltaessa ottaa huomioon eri tavat, joilla osastointi voi ylipäänsä pettää (avoimet ovet, läpivientien toimimattomuus, tiiveyden pettäminen, eristyskyvyn pettäminen, ...). Koska tapahtumien eteneminen ja seuraukset saattavat riippua siitä, missä vaiheessa jokin komponentti toimii tai pettää, voidaan tapahtumaketjuihin luoda haaroja myös tarkastelemalla, tapahtuuko jotakin tiettyyn aikaan mennessä.

Kuvassa 6 on esitetty vikapuu, jonka avulla voidaan tarkastella esim. kantavia rakenteita uhkaavan tulipalon ja tällaisen tulipalon aiheuttaman rakenteiden toimivuuden menettämisen todennäköisyyttä [CIB 1983, 1986]. Lähtötiedoiksi tarvitaan syttymisen tai vakiintuneen syttymän todennäköisyydet sekä tiedot eri sammutustapojen luotettavuudesta eli siitä, miten suurella todennäköisyydellä ne pystyvät rajaamaan palon niin, että niistä ei muodostu rakenteita tai rakennusosia uhkaava.

Rakennusten paloriskien analysointia tukemaan on kehitetty tai on kehitteillä tietokone-ohjelmistoja. Tunnettuja ohjelmistoja ovat mm. amerikkalainen FIRE [Fitzgerald 1986], Englantilainen CRISP II [Fraser-Mitchell 1994], australialainen CESARE-RISK [Beck 1998] ja kanadalainen FiRECAM [Yung et al. 1997]. Laajimmin ohjelmien kehittämiseen panostetaan tällä hetkellä Kanadassa ja Australiassa, joissa kummassakin on tavoitteena luoda kansallisesti tunnustettu menetelmä, jonka avulla voidaan kehittää vaihtoehtoisia hyväksytyjä ratkaisuja sekä asettaa komponenttien toimivuusvaatimukset riskin kannalta mielekkäälle tasolle. Mikään em. ohjelmistoista ei ole vielä sellaisella tasolla, että niitä voisi suositella käytettäväksi yksittäisen rakennuskohteen suunnitteluun. Sen sijaan niillä voidaan arvioida erilaisten tyyppiratkaisujen suhteellista paremmuutta.

Riskianalyysi soveltuu käytettäväksi paloturvallisuusanalyysiin suunnitteluvaiheessa erityisesti silloin, kun kohde on suuri ja monimutkainen tai sisältää uudentyyppisiä tilaratkaisuja. Tällöin on odotettavissa, että riskianalyysiä käyttäen voidaan rakennus optimoida niin, että saavutetut kustannussäästöt kattavat riskianalyysin kustannukset [FCRC 1996]. Tapahtuma- ja vikapuut laajenevat tällaisissa kohteissa helposti useiden satojen haarojen verkostoksi.

Koko rakennuksen tarkastelu kvantitatiivisen riskianalyysin (PRA = Probabilistic Risk Analysis) avulla asettaa sekä tekijän että tulosten tarkastajan pätevyydelle erityisvaatimuksia. Yleensä työssä tarvitaankin useita asiantuntijoita, joilla on tietämystä ongelman eri osa-alueilta. Riskianalyysiin tarvittava kvantitatiivinen tieto komponenttien ja osajärjestelmien luotettavuudesta ja tapahtumien todennäköisyydestä on vielä puutteellista. Asiantuntijoilta vaaditaankin sen vuoksi kykyä kehittää tarvittavia todennäköisyyksiä muista vastaavista tilanteista saatavissa olevista tiedoista.



Kuva 6. Kantavien tai osastoivien rakenteiden vaurioitumisen tarkastelu yksinkertaista vikapuuta käyttäen.

Riskianalyysiin perustuvia paloturvallisuussuunnittelumenetelmiä on viime aikoina kehitetty erityisesti Ruotsissa [Magnusson et al. 1996, Karlsson et al. 1996] ja Norjassa [Hokstad et al. 1998].

4.1.2 Hyväksyttävä riski

Toiminnallisten palosäädösten lähtökohtana on, että suunnitelman hyväksyttävyys perustuu vain odotettavissa olevaan turvallisuusriskiin. Hyväksyttävä² riski on vaikeasti kvantifioitavissa. Yhteiskunta sietää suhteellisesti heikommin sellaisia onnettomuuksia, joissa seuraukset ovat suuret, kuin mitä puhtaasti riskitulona (todennäköisyys \times seuraukset) määritelty matemaattinen riski edellyttäisi [Kamppinen et al. 1995]. Esimerkiksi Hollannissa on asetettu kemian prosessiteollisuuden suuronnettomuuksille sallitukseksi laitoskohtaiseksi vuosittaiseksi todennäköisyydeksi

$$p_{\max} = 10^{-3} / N^2, \quad (3)$$

missä N on uhrien lukumäärä. Lauseke pätee, kun $N > 10$ [Magnusson 1997].

Eurokoodien [ENV 1991-1: 1994] mitoitusperusteena on, että yksittäisen kantavan rakenteen sortuminen saa aiheuttaa rakennuksen elinaikana vakavan onnettomuuden korkeintaan todennäköisyydellä $7,25 \times 10^{-5}$. Tulipalojen yhteydessä sattuvat onnettomuudet sisältyvät tämän todennäköisyyden piiriin eikä erillistä arvoa pelkästään tulipalot huomioon ottavalle riskille ole annettu. Eurokoodeissa on tunnettujen tai arvioitujen kuormajakaumien avulla tämän jälkeen johdettu suunnittelukäyttöön soveltuvat mitoitusarvot ja niihin liittyvät varmuuskertoimet. Eri maissa saatetaan käyttää eri varmuuskertoimia.

Rasbash [1984/1985] on päätenyt taulukossa 3 esitettyihin sallittuihin maksimitodennäköisyyksiin, kun olosuhteet vastaavat Englannissa 1970-luvulla ja 1980-luvun alussa vallinneita olosuhteita.

Käytännössä absoluuttisten riskien arviointi on hyvin vaikeata. Usein riskianalyysi perustuukin eri ratkaisuvaihtoehtojen suhteellisten riskien arviointiin. Jos esimerkiksi jokin tekninen ratkaisu todetaan yleisesti hyväksytyksi, voidaan vaihtoehtoisten ratkaisujen riskiä arvioida käyttäen yhteisiä oletuksia tapahtumatodennäköisyyksille tai tarkastelun ulkopuolella olevien laitteiden tai toimenpiteiden luotettavuudella. On kuitenkin varmistettava, että johtopäätökset eivät ole herkkiä näille oletuksille.

² Kirjallisuudessa on viime aikoina yleistynyt termin 'hyväksyttävä riski' tilalla termi 'siedettävä riski'.

Taulukko 3. Rasbashin esittämät maksimitodennäköisyydet rakennusta kohti tulipalojen aiheuttamille uhreille eri kokoisissa rakennuksissa [Rasbash 1984/85].

Uhattuna olevien lukumäärä	N – uhrien lukumäärä			
	>5	>15	>100	>500
< 15	5×10^{-7}	---	---	---
15 - 100	1×10^{-6}	3×10^{-7}	---	---
100 - 500	2×10^{-6}	5×10^{-7}	6×10^{-8}	---
> 500	4×10^{-6}	8×10^{-7}	1×10^{-7}	5×10^{-8}

4.2 Uhkakuvamalliin perustuva paloturvallisuussuunnittelu

4.2.1 Periaate

Uhkakuvamalliin eli oletettuun palonkehitykseen perustuva paloturvallisuussuunnittelua on alettu käyttää jo ennen kuin se tuli selkeästi mainituksi säädöksissä. Esimerkiksi VTT:n tekemiä simulointilaskelmia on hyödynnetty ainakin erään teollisuushallin savunpoiston suunnittelussa jo v. 1983.

Suunnittelua varten on laadittu huomattava määrä erilaisia malleja ja laskentaohjelmistoja, joilla voidaan tarkastella oletetun palonkehityksen aiheuttamia seurauksia. Itse palotapahtuman aikakehityksen mallintaminen on edelleen hyvin puutteellista. On kuitenkin huomattava, että paloturvallisuussuunnittelijan tehtävänä ei ole ennustaa, mitä mahdollisessa tulipalossa tulee tapahtumaan, vaan tuottaa informaatiota, jonka perusteella rakennuksesta tulee riittävän paloturvallinen [Law & Beever 1994].

Uhkakuvamallin lähtökohtana on tulipalon kehittymisen ja sen aiheuttamien vaikutusten seuraaminen ajan funktiona. Aika-asteikon nollakohtaksi otetaan yleensä oletettu syttymishetki. Tavoitteena on taata riittävällä varmuudella, että henkilöt saatetaan turvaan ennen kuin olosuhteet muuttuvat vaarallisiksi. Omaisuuden suojauksessa vaatimus voidaan esittää absoluuttisena vahingon suuruutena tai suhteellisena osuutena uhattuna olevasta omaisuudesta. Tarkastelu tehdään sellaisille tilanteille, joiden avulla katetaan rakennuksen mitoituksen kannalta merkittävät tilanteet [FCRC 1996].

Seuraavassa on lueteltu uhkakuvatarkastelussa kyseeseen tulevia vaiheita tai tehtäviä. On huomattava, että eri tapahtumien asettumista aika-asteikolle ei voida aina sanoa varmuudella etukäteen. Erilaiset syttymät tai rakennuksen ja sen käyttäjien tila syttymä-

hetkellä saattavat johtaa vaiheiden järjestyksen ja koko tapahtumaketjun muuttumiseen. [FCRC 1996]:

1. Todennäköisten syttymäkohtien ja alkuvaiheen palonkehittymisnopeuden määrittäminen (mitoituspalo).
2. Paloilmoittimien luotettavuuden ja hälytysaikojen arviointi.
3. Sammutuslaitteistojen luotettavuuden ja toimintahetken sekä sammutuksen mitoituspaloon aiheuttamien muutosten arviointi.
4. Aukkojen olemassaolon tai syntyminen, esim. ikkunalasien rikkoutumisen arviointi.
5. Lieskahduksen mahdollisuuden ja lieskahdusajan määrittäminen soveltuvaa mallia käyttäen.
6. Vaaraa aiheuttavien olosuhteiden muodostumisen kuvaaminen ajan funktiona tarkasteltavissa tiloissa (savu, myrkylliset kaasut, lämpötila, lämpösäteily) ottaen huomioon mahdolliset savunpoistojärjestelyt.
7. Tiloissa mahdollisesti olevien henkilöiden saaman annoksen arviointi.
8. Huoneesta tai osastosta toiseen tapahtuvan palon leviämisen mahdollisuuden ja siihen kuluvan ajan arviointi; viereisen tilan palotapahtuman kuvaaminen.
9. Palokunnan hälyttämiseen kuluvan ajan, palokunnan toimintavalmiusajan sekä pelastus- ja sammutustoimenpiteiden käynnistämiseen kuluvan ajan arviointi.
10. Palo-olosuhteiden ja palon voimakkuuden arviointi palokunnan aloittaessa toimenpiteensä; palokunnan mitoituspaloon mahdollisesti aiheuttamien muutosten vaikutusten tarkastelu.
11. Tulipalon syttymisestä tilassa oleville henkilöille tiedottamiseen kuluvan ajan arviointi sekä annetun tiedon mahdollisen vaikuttavuuden arviointi.
12. Henkilöiden havahtumiseen ja reagointiin kuluvan viiveen arviointi sekä varsinaiseen poistumiseen kuluvan ajan arviointi.
13. Palokunnan pelastus- ja sammutustoiminnan merkityksen arviointi.
14. Poistumiseen kuluvan ajan ja olosuhteiden vaaralliseksi muuttumiseen kuluvan ajan vertailu sekä turvamarginaalin riittävyuden arviointi.

15. Mitoituspalon kantaviin rakennusosiin aiheuttaman vaikutuksen arviointi ja kantavien rakenteiden tai rakennusosien suojausten vaurioitumiseen kuluvan ajan arviointi sekä tämän ajan vertaaminen poistumisen ja palokunnan toiminnan kannalta riittäväksi katsottuun aikaan.
16. Tulipalon rakennuksessa olevalle omaisuudelle mahdollisesti aiheutuvien vaurioiden arviointi (Huom! Omaisuusvahinkojen ja henkilöturvallisuuden arvioinnissa mitoittavat palotilanteet saattavat olla erilaisia).
17. Rakennuksesta toiseen tapahtuvan palon leviämisen mahdollisuuden arviointi.
18. Tulipalon mahdollisesti aiheuttamien ympäristövahinkojen arviointi.

Uhkakuvamalliin perustuvassa tarkastelussa keskeisenä käsitteenä on *mitoituspalo*. Se on analoginen esimerkiksi kantavien rakenteiden suunnittelussa käytetyn ennalta valitun mitoituskuormituksen kanssa. Todellista kuormitusta ei useinkaan tunneta, vaan mitoitusta tehdään sovelluskohteen mukaan käyttämällä tietyllä todennäköisyydellä esiintyvää kuormitusta.

Mitoituspalo on kohteen käyttötarkoituksesta, palokuorman määrästä, laadusta ja sijainnista riippuva palo syttymisestä sammumiseen asti. Mitoituspalo kattaa riittäväällä varmuudella seurauksiltaan pahimmat palotilanteet siten, että varmuuskertoimien huomioon ottamisen jälkeen vahinkojen odotusarvo on riittävän pieni.

Mitoituspalo – kuten muutkin suunnittelukuormitukset – on yksinkertaistettu kuvaus “todellisesta” palonkehityksestä. Se ei ole ennuste tulevasta tulipalosta, kuten eivät muutkaan mitoituskuormat ole ennusteita tulevista kuormista. Mitoituspalon kuvaus sisältää ne lähtötiedot, joita tarvitaan paloturvallisuusarvion tekemiseen. Yleisimmin mitoituspalo esitetään palotehokäyränä, josta käy ilmi, kuinka paljon lämpöenergiaa palossa kunakin ajanhetkenä vapautuu. Palotehokäyrästä on erotettavissa kolme osaa: palotehon kasvun vaihe ennen lieskahdusta, tasaantumisvaihe lieskahduksen jälkeen sekä hiipumisvaihe. Mitoituspalo voi sisältää kaikki kolme osaa tai – tapauksesta riippuen – vain ensimmäisen osan. Mitoituspalo saattaa sisältää myös tiedot palavan alueen laajuudesta sekä savun ja haitallisten kaasujen tuotosta. Yleensä on tarpeen käyttää useampia mitoituspaloja, koska suurin tai nopeimmin kehittyvä palo ei aina välttämättä johda pahimpiin seurauksiin esim. siksi, että ilmaiset toimivat nopeasti ja ohjaavat autoomaattisesti sulkeutuvia ovia, jolloin palo lopulta rajoittuu pienemmälle alueelle.

Käytännössä mahdollisia palotilanteita käyttötavaltaan erilaisissa rakennuksissa ei voida kuvata vain yhdellä ainoalla suurinta paloriskiä kuvaavalla mitoituspalolla, vaan mitoituspalo on voitava määritellä tarkoituksenmukaisesti eri olosuhteisiin. Jos kohde-

rakennus palokuormineen on tarkoin määritelty, voidaan mitoituspalo laskea materiaalien tunnettujen palamisominaisuuksien perusteella. Joissakin tapauksissa voi olla käytävissä tilanteeseen soveltuvia mittaustietoja (esim. pehmustetut huonekalut, auto pysäköintitalossa, kuormalavat jne.).

Usein kohderakennuksesta tiedetään esimerkiksi vain käyttötarkoitus, jolloin mitoituspalo voi perustua palotilastoista saatuihin tietoihin todennäköisistä, merkittävää tuhoa aiheuttavista paloista. Mikäli tilastotietoja ei ole käytössä, palokuntien tai vakuutusyhtiöiden kokeneet asiantuntijat voivat usein antaa hyödyllistä tietoa mitoituspalon valintaa varten.

Mitoituspalon ja varmuuskerrointen välillä on aina olemassa yhteys. Jos mitoituspaloksi valitaan keskimääräinen palo, tarvitaan suuremmat varmuuskertoimet kuin jos mitoituspaloksi otetaan esim. 90 %:n fraktiili esiintyvien rasiusten jakaumasta. Koska tulipalon aiheuttamaan "kuormaan" vaikuttavat hyvin monet tekijät ja koska "kuorma" on mitä suurimmassa määrin ajasta riippuva, varmuuskerrointen johtaminen rajatilamitoituksen periaatteilla on huomattavasti mutkikkaampaa kuin esim. kantavien rakenteiden kylmämitoituksen tapauksessa.

Palotilanteen yksikäsitteinen määrittely edellyttää tietoja ainakin palon alkamisesta, kehittymisestä ja sammumisesta sekä palon ja mahdollisen savun leviämisreiteistä. Kukin palotilanne riippuu vallitsevista olosuhteista ja on ainutkertainen. Ainakin seuraavat tekijät vaikuttavat palotilanteeseen:

- sytytyslähde (*koko, tyyppi*)
- palava aine (*kiinteät aineet, nesteet, kaasut*)
- aineen sijoittelu
- palokuorma ja palokuorman tiheys (MJ/m^2)
- palotilan mitat
- ympäröivät rakenteet
- palotilan ilmanvaihto-olosuhteet (*ovet, ikkunat, ilmanvaihtojärjestelmät*)
- ulkoiset ympäristöolosuhteet.

Vaikka kaikki palotilanteet ovatkin erilaisia, voidaan palotilanteet jakaa kuitenkin tiettyihin päätyyppeihin:

- yksittäisen palavan esineen tai muun rajatun kohteen palo
- huonepalo
- palo rakennusosien sisäisissä onteloissa
- kattopalo
- palo naapurirakennuksessa
- palo rakennuksen ulkopuolella.

Palo- ja erilaiset rakennusten materiaali- ja käyttötapaominaisuuksia koskevat tilastot muodostavat yhdessä sopivan perustan mitoituspalojen määrittämiseksi. Tilastoista löydetään todennäköiset palokuormat ja yleisimmät palotyypit tiettytyypisille rakennuksille sekä myös eniten tuhoa aiheuttavat palot.

Tällä hetkellä on kohtuullisesti tietoa rajatun kohteen tai huonepalon käyttämiseksi mitoituspalona. Sen sijaan muiden neljän edellä luetellun palotilanteen osalta ei voida mitoituspaloja ja niiden aiheuttamia vaikutuksia vielä yleensä arvioida riittävän luotettavasti. Kuitenkin esim. seinustalla palavan kuormalavapinon vaikutusten arviointi on mahdollista.

4.2.2 Mitoituspalon määrittäminen

Mitoituspalon määrittäminen koostuu kahdesta vaiheesta. Ensiksi on valittava tarkasteltavan rakennuksen olosuhteisiin mahdollisimman todenmukaiset palotilanteet, ja toiseksi palotilanteet on muokattava palotehokäyriksi.

4.2.2.1 Mitoittavien palotilanteiden valinta

Todennäköiset palotilanteet voidaan löytää joko huolellisen riskianalyysin perusteella tai analysoimalla palotilastoja tapahtuneista todellisista paloista tarkasteltavan rakennustyyppin kaltaisissa kohteissa. Tärkeimmät palotilanteet rajataan eliminoimalla vain vähäistä tuhoa aiheuttavat palot sekä palot, joiden tapahtumistodennäköisyys on hyvin pieni.

Palon kehittymistä arvioitaessa on otettava huomioon kaikkien paloturvallisuusjärjestelmien (palonilmaisu, sammutus, palopellit, savunpoistoluukut, sulkeutuvat ovet, osastoitavat rakenteet,...) vaikutus palotilanteeseen vieläpä niin, että jonkin järjestelmän oletetaan olevan joko osittain tai kokonaan toimintakyvytön. Yleensä ei tarvitse tarkastella tilannetta, jossa *kaikki* paloturvallisuusjärjestelmät pettäisivät samanaikaisesti, koska tällaisen yhteisvikaantumisten todennäköisyys on varsin pieni.

Sopivien palotilanteiden valitsemiseksi suositellaan seuraavaa järjestelmällistä lähestymistapaa: [ISO TR13387: Part 2: 1999]:

1. vaihe Palotilastoista tunnistetaan sekä yleisimmät että seuraamuksiltaan vakavimmat syttymät. Tilastojen puuttuessa (eli useimmissa tapauksissa) on tarpeen käyttää apuna asiantuntija-arvioita.

2. vaihe Tunnistetaan rakennuksen ja paloturvallisuusjärjestelmien ominaisuudet, joilla on merkittävä vaikutus palon kehittymiseen tai kestävämmien olosuhteiden syntyyn.
3. vaihe Tunnistetaan rakennuksen käyttötapatiedoista rakennuksessa oleskelevien henkilöiden ominaisuudet, joilla on merkittävä vaikutus heidän kykyynsä toimia hätätilanteessa.
4. vaihe Muodostetaan tapahtumapuu, joka kuvaa merkittäviksi tunnistettuja tekijöitä. Yksi reitti puuta pitkin kuvaa yhtä mahdollista palotilannetta (vrt. luku 3, kuva 3). Eri tekijöiden vikaantumismahdollisuudet tulee myös ottaa huomioon.
5. vaihe Tunnistetaan ne järjestelmät tai tekijät, joita voidaan pitää luotettavina tai joiden vajaatoiminnan todennäköisyys on pieni. Eliminoidaan palotilanteet, jotka sisältävät useamman luotettavana pidetyn järjestelmän toimintakyvyttömyyden (ellei yhteisvikaantuminen ole erityisesti perusteltavissa).
6. vaihe Jäljellä olevista palotilanteista valitaan ne, jotka aiheuttavat vakavimmat vahingot. Erityisesti tässä valintavaiheessa suositellaan käytettäväksi paloviranomaisten ja vakuutusyhtiöiden asiantuntemusta.
7. vaihe Dokumentoidaan analysoitaviksi valitut palotilanteet eli mitoituspalo.

Edellä olevat vaiheet ja niissä tehtävät valinnat edellyttävät riskianalyttistä tarkastelua. Näin voidaan esim. tunnistaa ne huonetilat, joiden tarkastelu tulee tehdä yksityiskohtaisemmin.

Mitoituspaloja valittaessa ei saa unohtaa myöskään rakennuksessa olevia piilotiloja. Esimerkiksi alaslaskettujen kattojen yläpuolisessa tilassa syttynyt palo saattaa levitä laajalle alueelle ennen sen huomaamista. Esimerkiksi uusi NFPA 101 [1999] edellyttää piilotilojen tarkastelemista erikseen.

Norjalaisessa SINTEFin kehittämässä rakennusten paloriskianalyysimenetelmässä on [Hokstad et al. 1998] lueteltu tarkasteltavaksi edellytettäviä palotilanteita seuraavasti:

Tilanne 1: Palo tilassa, jossa palokuorma on suurin.

Tilanne 2: Palo tilassa, jossa on herkimmin palavaa materiaalia.

Tilanne 3: Palo tilassa, joka sulkee poistumisreitit.

Tilanne 4: Palo tilassa, jossa henkilömäärä on suuri.

Tilanne 5: Palo tilassa, jossa taulukkovaatimukset eivät joltain kohdin täyty.

Tilanteet 6 - 8: Palo tiloissa, jotka edustavat rakennuksen tyypillisiä tiloja (ylin kerros, keskivaiheilla oleva kerros, alin kerros).

Jokaisessa tilanteessa tulee lisäksi tarkastella erikseen yö- ja päiväaikaan sattuvia paloja.

4.2.2.2 Mitoituspalon matemaattinen esitys

Palon kasvunopeus ilmaistaan yleensä palotehon avulla. Koska palavan aineen määrä ja laatu vaihtelevat rakennuksen elinkaaren aikana, on usein epäkäytännöllistä yrittää ennustaa palon kehittymistä tarkasti fysikaaliseen mallintamiseen perustuen. Suunnittelu-tarkoituksia varten käytetään usein joko eksponentiaalista tai potenssimuotoista palotehon kasvunopeutta. Tämän mallin oletetaan edustavan riittävästi kaikkia mahdollisia mitoittavia palonkehittymistapoja kyseisessä tilanteessa.

Mitoituspaloon liittyy olennaisesti myös sen paikka. Eri kohdissa tilaa syttynyt palo saattaa kehittyä eri tavoin. Lähellä uloskäytävää tai uloskäytävälle johtavaa kulkureittiä oleva palo saattaa estää kyseisen käytävän käyttämisen poistumiseen.

Ohjeita mitoituspalojen kvantitatiiviseksi määrittämiseksi on julkaistu [NKB 1994, Lehtimäki 1997]. TOPA-projektissa ollaan laatimassa erillistä ohjetta suomalaisia olosuhteita varten.

4.2.3 Uhkakuvatarkastelun työkalut

4.2.3.1 Yleistä

Uhkakuvatarkastelua käyttävän paloteknisen suunnittelun perustyökaluja ovat erilaisia palotilanteita kuvaavat analyttiset ja numeeriset mallit. Lämmölle altistetun kohteen syttymiseen kuluvaa aikaa, palavasta kohteesta syntyvien liekkien kokoa, liekin yläpuolella olevan palopatsaan lämpötiloja, palosta ympäröiviin rakenteisiin kohdistuvaa lämpövirrantiheyttä, lieskahduksen aiheuttavan palon suuruutta ym. voidaan tarkastella hyödyntäen fysikaalisiin malleihin ja koetuloksiin perustuvia analyttisiä korrelaatiolausekkeita. Monet näistä soveltuvat käytettäväksi taskulaskimella tehtäviin tarkasteluihin, mutkikkaimpia voidaan hyödyntää taulukkolaskennassa.

Tietokoneohjelmia oletetun palonkehityksen mukaiseen suunnitteluun löytyy maailmasta kymmenittäin. Yleisesti käytetään ohjelmia, joilla voidaan arvioida lämpöilmainten tai ensimmäisen sprinklerin laukeamiseen kuluva aikaa. Palon kehittymistä kuvataan yleisemmin vyöhykemalleilla, mutta vaativimmissa kohteissa voidaan käyttää myös parempaan paikkaresoluutioon kykeneviä kenttämalleja. Seuraavassa on tarkasteltu näitä malleja ja niiden käyttöön liittyviä erityispiirteitä.

4.2.3.2 Paloilmainsimuloinnit

Lämpöilmainsimulointien ja sprinklereiden toimivuuden arviointiin käytetään yleisesti ohjelmia, jotka perustuvat jo 1970-luvun alussa kehitettyihin savupatsaan ja savupatsaasta katon alle syntyvän kuuman kattosuihkun lämpötila- ja virtausnopeuskorrelaatioihin. Esimerkiksi Yhdysvalloissa NISTissä 1980-luvun puolivälissä laadittu ohjelma DETACT [Evans & Stroup 1986] eri versioineen perustuu näihin korrelaatioihin. Ohjelma on edelleen saatavissa ilmaiseksi NIST:stä (<http://www.bfrl.nist.gov>).

Society of Fire Protection Engineers (SFPE) on perustanut työryhmän arvioimaan tätä ohjelmaa. Alustavat tulokset näyttävät viittaavan siihen, että ohjelma ennustaa liian matalia lämpötiloja savupatsaassa ja kattosuihkussa [Sheppard 1998]. Se ei myöskään ota huomioon sprinklerin tuntoelimen etäisyyttä katosta, vaan olettaa sen aina olevan etäisyydellä, jossa lämpötila on korkeimmillaan ja virtausnopeus suurimmillaan. Mikäli tilan katto on tasainen, ilmaisinten toiminta-aikaennusteet ovat turvallisella puolella, mutta kaltevien tai muutoin virtausten suuntaan vaikuttavien kattorakenteiden tapauksessa sen tarkkuudesta ei ole tietoa. Ohjelman soveltaminen katon rakenteiden lämpenemisen arviointiin ei ole myöskään suositeltavaa, koska käytetyt lämpötila- ja virtausnopeuskorrelaatiot pätevät vain liekin yläpuoliselle palopatsaan osalle.

VTT:ssä laadittu PALDET 2.1T perustuu samaan fysikaaliseen malliin kuin DETACT, mutta siihen on lisätty lämpötilan ja virtausnopeuden riippuvuus ilmaisimen ja katon välisestä etäisyydestä [Baroudi et al. 1998]. Ohjelman käytön rajoitukset ovat muilta osin jokseenkin samat kuin DETACTin. SFPEssä käynnissä olevan DETACTia koskevan työn johtopäätökset voidaan tarvittaessa ottaa huomioon tämänkin ohjelman kehittämisessä.

PALDET 2.1T tai DETACT soveltuvat lähinnä erilaisten vaihtoehtojen vertailuun ilmaisimen toiminta-ajan suuruusluokan arviointiin. Todellisessa kohteessa katon rakenteelliset yksityiskohdat saattavat aiheuttaa huomattavia poikkeamia laskettuun tulokseen.

Savuilmainsimulointien toiminnan simulointi on toistaiseksi vielä varsin karkealla tasolla. Käyttökelpoisin menettely on perustaa arvio ennustettuihin lämpötiloihin käyttäen hyödyksi erilaisille palotilanteille tyypillisiä savutiheyden ja lämpötilannousun suhteita.

Tavanomaisten savuilmasisinten vastetta voidaan kuvata diffuusiomallilla, jossa tarvittavan aikavakion määrittää kullekin ilmaisimelle ominainen suure, ns. karakteristinen pituus. TOPA-projektin osana on VTT:ssä kehitetty edellä mainittuja malleja soveltava ohjelma PALDET 2.1S [Baroudi et al. 1999], joka rakenteeltaan vastaa lämpöilmaisimille tarkoitettua ohjelmaa PALDET 2.1T.

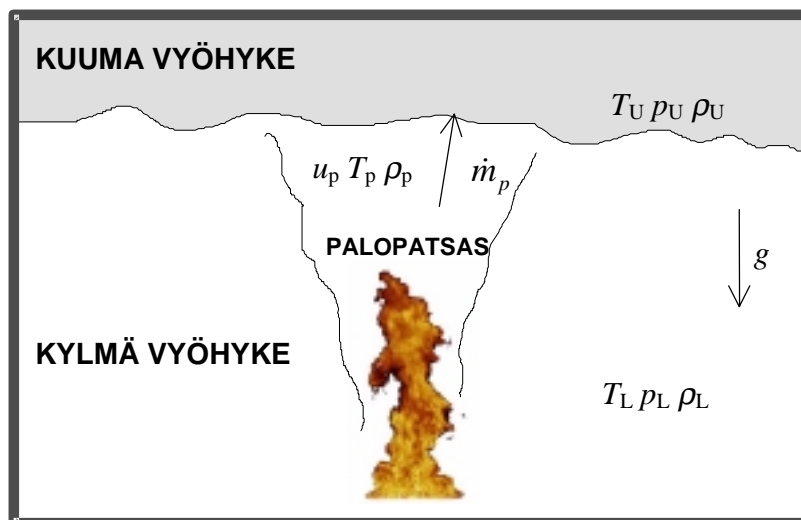
4.2.3.3 Vyöhykemallit

Tulipalossa lämpötilojen ja palamistuotteiden kertymisen kuvaamiseen käytettävistä malleista tällä hetkellä yleisin on kaksivyöhykemalli. Malli olettaa, että paikallinen palo kehittää tilan yläosaan lämpimän jokseenkin tasalämpöisen vyöhykkeen ja alaosaan viileän, myös kaikkialla samassa lämpötilassa olevan vyöhykkeen (ks. kuva 7). Oletus pätee hyvin erityisesti silloin, kun huoneessa on riittävän suuret aukot, kun paloteho muuttuu vain hitaasti ja kun tilassa ei ole liiaksi sekoittavia virtauksia.

Vyöhykemallin "sydämen" muodostaa palopatsas, joka syöttää kuumaan kerrokseen sekä massaa että energiaa. Mallin kelpoisuus riippuukin merkittävästi siitä, miten hyvin palopatsaan massavirtaa eri korkeuksilla pystytään kuvaamaan. Energiavirraksi oletetaan yleensä vakio osuus lähteen palotehosta; loppu energiavirta on säteilyä liekistä ympäristöön.

Vyöhykemallit tarvitsevat lähtötietoina

- kuvauksen rakennuksen geometriasta (pinta-ala, korkeus, tilavuus, aukkojen koko ja paikka suhteessa muihin tiloihin)



Kuva 7. Kaksivyöhykemallin periaate. Palavasta kohteesta nouseva palopatsas muodostaa katonrajaan kuuman homogeenisen kerroksen.

- rajoittavien pintojen ominaisuudet (lämmönjohtavuus, ominaislämpökapasiteetti, tiheys, mahdolliset konvektiiviseen lämmönsiirtoon vaikuttajat tekijät, emissiviteetti)
- mitoituspalo palotehona tai massanmuutosnopeutena sekä mitoituspalon paikka rakennuksessa.

Vyöhykemallin tulosteita ovat esim.

- kylmän ja kuuman kerroksen rajapinnan korkeus ajan funktiona
- keskimääräinen kuuman kerroksen lämpötila ajan funktiona
- massa ja energiavirrat aukoista.

Kaksivyöhykemallit ovat parhaimmillaan arvioitaessa tilojen täyttymistä savulla ja arvioitaessa kaasujen lämpenemistä ennen lieskahdusta. Näin ollen niiden avulla voidaan arvioida esim. aikaa, joka kuluu jonkin tilan muuttumiseksi ihmiselle vaaralliseksi. Tuloksia voidaan soveltaa myös ilmaisimien tai sprinklereiden toimintahetken arviointiin, mutta tällöin tuloksiin liittyy aina huomattava epävarmuus.

Laskettuja lämpötiloja voidaan joissakin tapauksissa soveltaa myös rakenteisiin kohdistuvan lämpövirrantiheyden laskentaan, mutta tällöin on otettava huomioon, että laskettu kuuman kerroksen lämpötila on keskiarvo koko huoneen pinta-alan alueella ja että paikallisesti rakenteiden läheisyydessä saattaa esiintyä huomattavasti korkeampia lämpötiloja.

Vyöhykemalleja on käsitelty muualla yksityiskohtaisemmin [Cox 1995, Keski-Rahkonen 1987]. Ylivoimaisesti yleisimmin käytetty vyöhykemalliohjelma on amerikkalainen CFAST [Peacock et al. 1993], joka sisältyy mm. FASTLITE ja HAZARD I ohjelmapaketteihin. CFAST on saatavissa veloitusetta sen kehittäjiltä National Institute of Standards & Technology USA:sta.

TOPA-projektissa on arvioitu CFASTin kelpoisuutta referoiduissa tieteellisissä lehdissä julkaistujen vertailulaskelmien perusteella [Hietaniemi et al. 2000]. Tulokset osoittavat, että CFAST soveltuu hyvin kuuman kerroksen ennustamiseen ja savukerroksen laskeutumisaajan arviointiin. Esimerkiksi kuuman kerroksen lämpötila on koetulosten kanssa yhtäpitävä siten, että 90 %:n varmuusväli on ± 150 °C ja savukerroksen laskeutumiseen korkeudelle 1,5 m kuluvan ajan 90 %:n varmuusväli noin ± 40 s. Pitkän ajan kuluttua savukerros voi kuitenkin painua alemmaksi kuin ohjelma ennustaa. Kaasupitoisuuksien arvioinnissa laskettujen ja kokeellisten tulosten välillä oli sen sijaan huomattavaa hajontaa.

Edellä olevissa tarkasteluissa on kuitenkin otettava huomioon, että huomattava osa koe- ja laskentatulosten poikkeamista johtuu kokeisiin liittyvistä epävarmuuksista. Kun koetilanne on huonosti kuvattu tai mittauksissa on systemaattisia virheitä (kuten usein lämpötilamittauksissa), täydellinenkin malli ei kykenisi toistamaan koetuksia. Vertailuaineistoon ei kuulunut riittävästi suurissa tiloissa tehtyjä kokeita, joten soveltuvuutta esim. atriumtilojen tarkasteluun ei siten voitu arvioida. Aineistossa ei ollut myöskään kokeita, jossa palo olisi johtanut lieskahdukseen.

Periaatteessa samanlaisia vyöhykemalliohjelmaa on laadittu maailmassa kymmenittäin [Friedman 1992]. Edellä mainitun CFASTin lisäksi käytetään mm. japanilaista BRI2:ta ja tanskalaista ARGOS-ohjelmaa. Edellinen on saatavissa ilmeisesti vain tutkimusyhteistyön kautta ja siitä ei ole täydellistä dokumentointia kuin japaniksi. Jälkimmäinen on ostettavissa Danmarks Brann tekniske Institutesta, mutta ohjelman dokumentointi on puutteellisempi kuin kahden muun mainitun ohjelman. Sen dokumentointi on myös näiltä osin puutteellinen. Näistä ohjelmista ei ole saatavissa yhtä laajasti riippumattomia arvioita kuin CFASTista, mutta tämä ei suinkaan tarkoita, että ne olisivat epäkelvoja. Esimerkiksi BRI2:n on VTT:n omassa käytössä todettu olevan vakaampi ja ennustuskyvyltään vähintään yhtä hyvä kuin CFAST.

4.2.3.4 Kenttämallit

Numeerista virtauslaskentaa hyödyntävissä kenttämalleissa ratkotaan massan, energia ja liikemäärän säilymisen perusyhtälöt (Cox 1995). Tarvittavat approksimaatiot vyöhykemalleihin verrattuna ovat hyvin vähäisiä. Perusyhtälöiden ratkaisemista varten tila jaetaan lukuisiin soluihin, jotka määrittävät paikkaresoluution, jolla palon aiheuttamia olosuhteita tarkastellaan. Solujen lukumäärää rajoittaa käytännössä ainoastaan käytettävissä oleva laskentakapasiteetti- ja aika. Tyypillisesti pystytään suuruusluokaltaan kymmenien senttimetrien erotuskykyyn.

Kenttämallien merkittävin oletus tehdään kuvattaessa virtauksessa esiintyvää turbulenssia. Rakennusten suunnitteluun käytettäessä paloa kuvataan yleensä oletetun kokoisella alueella tapahtuvana energialähteenä. Tarkemmissa palamisen kuvauksissa käytetään yleensä yksinkertaistettua reaktiomallia. Myös säteilyn ja savun tuoton kuvaamiseen käytettävillä menetelmillä on vaikutusta laskentatuloksiin.

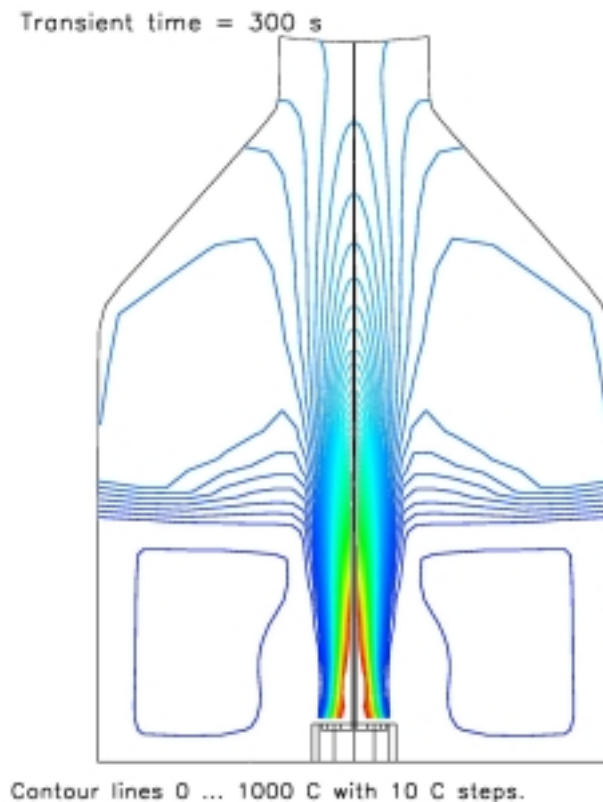
Kenttämallien tärkein tuloste ovat lämpötilat, virtausnopeudet ja massapitoisuudet jokaisessa solussa (ks. kuva 8). Myös virtaukset aukkojen läpi sekä pintoihin kohdistuvat säteily ja kuljettumislämpövirta voidaan tarvittaessa tulostaa.

Kenttämalleja käytettäessä on tärkeätä varmistaa, että laskenta on edennyt oikein. Virheellisetkin laskentatulokset saattavat näyttää uskottavilta. Massan ja energian säilymi-

nen tulee tarkastaa. Tulostuksissa havaitut selittämättömät epäsymmetriat ja värähtelyt ovat yleensä osoitus ratkaisualgoritmin aiheuttamista virheistä.

Kenttämallit soveltuvat erityisesti sellaisten kohteiden tarkasteluun, jossa kohteessa on poikkeuksellisia geometrisia ratkaisuja tai jossa vyöhykemallit eivät tilan suuruuden vuoksi ole luotettavia. On kuitenkin huomattava, että turbulenssimallin puutteiden vuoksi kenttämalli saattaa aliarvioida savupatsaan kaappaaman ilman määrää ja johtaa siten pienempään massavirtaan mutta korkeampaan lämpötilaan palopatsaan akselilla.

Kaupalliset kenttämallit soveltuvat yleensä savun liikkeen tarkasteluun, mutta eivät välttämättä tilanteisiin, joissa palo on suuri tarkasteltavaan tilaan verrattuna. Erityisesti paloteknisiä sovelluksia varten on kehitetty Englannissa JASMINE-ohjelma, joka perustuu aiempaan PHOENICS-ohjelmistoon. Englantilais-ruotsalais-suomalaisena yhteistyönä on muutaman vuoden ajan kehitetty SOFIE-ohjelmaa, johon on vähitellen sisällytetty tulipalon kuvaamiseen parhaiten soveltuvat fysikaaliset mallit.



Kuva 8. Esimerkki kenttämallin tulosteesta: lämpötilan tasa-arvokäyrät 17 m korkeassa hallissa, kun hallin lattialla palaa nesteallas.

4.2.3.5 Evakuointimallit

Ihmisten poistumista voidaan kuvata useilla erilaisilla malleilla. Yksinkertaiset empiiriset käsinlaskentakaavat tuottavat monissa tapauksissa varsin hyviä tuloksia. Laajimmassa malleissa voidaan seurata jokaista ihmistä erikseen ja ottaa huomioon yksilölliset ominaisuudet. Tulosteena saadaan joko viimeisen henkilön poistumiseen käyttämä aika tai kunakin aikana poistuneiden ja rakennuksessa vielä olevien henkilöiden lukumäärät ajan funktiona.

Koska evakuointimallit perustuvat yleensä empiirisiin ihmisten käyttäytymistä kuvaaviin sääntöihin, ne toimivat monissa tapauksissa varsin hyvin. Poistumisen onnistumisen kannalta on kuitenkin paljon merkittävämpää ajankohta, jolloin poistuminen alkaa. Aika ennen varsinaista poistumista saattaa useissa tapauksissa olla moninkertainen itse poistumiseen kuluvaan aikaan verrattuna. Joissakin tapauksissa voidaan strategiaksi valita ihmisten suojaaminen paikallaan, ts. ei yritetäkään siirtää henkilöitä ennen kuin palo on sammutettu. Tutkimus poistumista edeltävän vaiheen aikojen kvantifioimiseksi on käynnissä useissa maissa [Shields 1998].

Yksilöitä kuvaavilla simulointimalleilla voidaan havainnollistaa uloskäytävien kapeikkojen, portaiden tai muiden hidasteiden vaikutusta poistumisnopeuteen. Usein voidaan voidaan jo kvalitatiivisen tiedon perusteella tehdä merkittäviä parannuksia poistumisjärjestelyihin.

Evakuointimalleja on TOPA-projektin puitteissa tarkasteltu erikseen [Weckman 1997]. Käsinlaskentamenetelmien lisäksi käytetään yleisesti amerikkalaista EVACNET+-ohjelmaa, joka on saatavissa WWW:n kautta ilmaiseksi. Laajempia simulointimalleja ovat mm. englantilainen EXODUS, skotlantilainen SIMULEX ja saksalainen ASERI. Kaikki nämä on ostettavissa ohjelmien laatijoilta, hinta riippuu valitusta laajuudesta.

4.2.3.6 Rakennusosien palonkestävyyden arviointi

Rakennusosien palonkestävyyden arviointi perustuu yleensä laboratorioissa tehtäviin standardikokeisiin, joiden tuloksena on palonkestävyysaika standardeissa määritetyillä kriteereillä. Todellisessa palotilanteessa kyseinen rakennusosa voi kestää palon aiheuttamista rasituksista riippuen joko lyhyemmän tai pidemmän ajan. Rasituksen, ts. rakennusosaan kohdistuvan lämpövirrantiheyden määrittäminen, onkin rakenteiden uhkakuvamalliin perustuvan mitoituksen kriittinen vaihe.

Rakennusosien lämpenemistä mielivaltaisen lämmityksen aikana kuvataan yleensä johtumismalleihin perustuvilla ohjelmilla. Koska johtuminen on usein karkea yksinkertaistus todellisuudessa esiintyviin lämmönsiirtomekanismeihin verrattuna, lopputuloksen luotettavuus riippuu hyvin paljon siitä, mitä lähtötietoja käytetään. Esimerkiksi

vakiolämpötilaerolla määritetyt lämmönjohtavuudet saattavat johtaa väärään tulokseen, jos rakennusosassa on kosteutta tai se on huokoinen. Lähtötietojen määrittäminen tulipalo-olosuhteita vastaavilla dynaamisilla kokeilla onkin välttämätöntä.

Mikäli rakenteen lämpeneminen ja sen ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa ovat tunnettuja, voidaan rakenteen tai rakennesysteemin mekaanista käyttäytymistä arvioida periaatteessa samoilla ohjelmistoilla kuin normaalilämpötiloissakin. Epävarmuuden aiheuttaa tässäkin tapauksessa lähinnä epävarmuus materiaaliominaisuuksista ja erityisesti nopeasti muuttuvien korkeiden lämpötilojen vaikutus niihin. Epähomogeeninen lämpötila rakenteissa saattaa kuitenkin aiheuttaa erityisiä ongelmia. Koko rakennuksen paloturvallisuuden arvioinnin asettamat vaatimukset laskennan tarkkuudelle ovat kuitenkin vähäisemmät kuin standardikoetta simuloitaessa, sillä itse rasiituksen määrittämiseen liittyy jo huomattavasti epävarmuutta.

Rakenteiden lämpenemisen laskentaan käytettäviä ohjelmia ovat esimerkiksi TASEF [Stern & Wickström 1990] ja TEMPCALC [Anderberg 1991]. Vastaaviin tuloksiin voidaan kuitenkin päästä myös useilla yleiskäyttöisillä rakenneanalyysiohjelmilla, kuten ANSYS ja ABAQUS. Jälkimmäisiin sisältyy myös mahdollisuus tarkastella rakenteiden mekaanista toimintaa palotilanteessa, edellyttäen, että soveltuvat materiaalmallit ovat olemassa.

4.2.3.7 Kokeet

Paloturvallisuussuunnittelussa voidaan hyödyntää kokeita vastaavaan tapaan kuin laskentamenetelmiä. Näin voidaan tehdä erityisesti silloin, kun uhkakuvamallia käyttäen arvioidaan jonkin osasyntemien toimivuutta. Koetta tehtäessä pätevät samat periaatteet kuin laskennassakin. Mitoituspalo tulee valita samalla tavalla; jos näin ei voida tehdä, kokeen todistusarvo on kyseenalainen. On myös huomattava, että täysimittaisien kokeiden uusittavuus ei ole yleensä kovin hyvä. Yhden kokeen tulokseen tulee suhtautua periaatteessa yhtä suurella varauksella kuin yhden numeerisen simuloinnin tulokseen. Jos mahdollista, kokeita on toistettava ja/tai on tehtävä herkkyytstarkasteluja, joissa lähtöoletuksia muutetaan. Jos toistokokeet eivät ole mahdollisia, tulosten mahdollista herkkyyttä lähtötietojen muutokselle on arvioitava muulla tavalla.

Tällä hetkellä on olemassa jokseenkin vakiintuneita tapoja arvioida täysimittaisilla kokeilla savunpoiston toimivuutta [AS/NZS 4391: 1996] sekä julkisivujen ja julkisivurakenteiden toimivuutta [Hakkarainen et al. 1997, Myllymäki et al. 2000]. Kokeet soveltuvat yleensä juuri sellaisiin tapauksiin, joissa tutkittava tilanne on geometrialtaan monimutkainen tai jos tarkasteltavien materiaalien ja rakenteiden kuvaamiseen ei ole olemassa kelpoisia malleja. Kokeita voidaan käyttää myös lisäämään laskentamallien tulosten uskottavuutta. Kokeiden avulla voidaan hakea tarkasteltavana olevaan tilanteeseen soveltuvia lähtötietoja tai reunaehtoja.

4.2.3.8 Yhteenveto

Uhkakuvatarkasteluun soveltuvia laskennallisia menetelmiä on lukuisia ja monet niistä ovat helposti ja jopa ilmaiseksi saatavissa. Ohjelmia käytettäessä on kuitenkin otettava huomioon, että niiden antamat lopputulokset riippuvat merkittävästi annetuista lähtöarvoista. Käyttäjiltä edellytetäänkin kykyä arvioida, mikä tekijä missäkin tilanteessa on merkittävä ja mitä lähtötietoja tulisi käyttää.

Tietokoneohjelmien tulosten järkevyyden pyrittävä tarkastamaan mahdollisuuksien mukaan esim. jollakin muulla menettelyllä. Kirjallisuudessa esiintyvät kokeisiin perustuvat analyttiset korrelaatiolausekkeet ovat usein hyödyllisiä arvioitaessa odotettavissa olevien tulosten suuruusluokkaa.

4.2.4 Hyväksymisperusteet uhkakuvatarkastelua käytettäessä

Yleisimmin uhkakuvatarkastelun tavoitteena on arvioida, onko poistumiseen käytettävissä oleva aika suurempi kuin poistumiseen kuluva aika. Matemaattisesti ehto voidaan esittää muodossa

$$t_{crit} / \gamma_{crit} > \gamma_{evac} t_{evac}, \quad (4a)$$

missä t_{crit} ja γ_{crit} ovat kriittisten olosuhteiden muodostumiseen kuluva aika ja siihen liittyvää varmuuskerroin, t_{evac} ja γ_{evac} poistumiseen kuluva aika ja siihen liittyvä varmuuskerroin tai vaihtoehtoisesti

$$t_{crit} / \gamma_{crit} > \gamma_a t_a + \gamma_b t_b + \gamma_m t_m, \quad (4b)$$

missä oikean puolen termit kuvaavat viiveaikaa (t_a) syttymisestä siihen, kunnes tulipalosta on saatu tieto, tiedonsaannin ja poistumisen käynnistymisen välistä reagointiaikaa (t_b) sekä itse poistumiseen kuluva aika (t_m) soveltuvine osavarmuuskertoimineen.

Osavarmuuskertoimet voidaan periaatteessa määrittää tunnettuja menetelmiä käyttäen laskentamenetelmien epävarmuustietojen ja lähtötietojen epävarmuus- ja vaihtelutietojen avulla asettamalla ensin sallittu epäonnistumistodennäköisyys [ENV 1991-1: 1994, Magnusson et al. 1996, Schneider 1997]. Käytännössä joudutaan kuitenkin toistaiseksi turvautumaan asiantuntija-arvioihin, joita voidaan sitten tiedon lisääntyessä tarkistaa.

Kriteerit, joiden perusteella olosuhteet katsotaan kriittisiksi, riippuvat osittain käytetyistä menetelmistä. Esimerkiksi vyöhykemalleja käytettäessä voidaan asettaa kriittinen kylmän ja kuumen kerroksen välisen rajan korkeus, mutta kenttämallien tuloksista ei täl-

laista tulosta saada. Kriteerit eivät ole yleensä absoluuttisia vaan oikeansuuntaisia taval-
la tai toisella sovittuja arvoja, joita voidaan käyttää suunnittelutarkoituksissa.

SPEKin julkaisussa [Lehtimäki 1997] on annettu asiantuntija-arviointeihin perustuvia lukuarvoja varmuuskertoimille käytettäessä poistumisen arviointiin käsinlaskentaa ja palon kehittymisen laskentaan vyöhykemalleja käyttäen. Ne olettavat mitoituspalon tule-
van valituksi oikein. Mitoituspalon valintaan liittyvä epävarmuus saattaa olla käytännös-
sä jopa suurempi kokonaisuvarmuuden osa, sillä kvantitatiivista ja tilastoihin perustu-
vaa tietoa palon kehittymisestä on rajallisesti. Vanhoihin kohteisiin perustuvan tiedon
soveltaminen uudessa kohteessa aiheuttaa aina lisäepävarmuutta, sillä ei ole taetta, että
olemassa olevat tilastotiedot soveltuisivat myös näille.

4.3 Vastaavuuden arviointi

Yleisesti oletetaan taulukoituihin vaatimuksiin perustuvien ratkaisujen täyttävän yhteis-
kunnan asettamat paloturvallisuusvaatimukset. Juridisesti näin onkin, vaikka kyseisten
vaatimusten tasapuolisuutta riskeihin nähden ei yleensä olisi osoitettukaan.

Rakennussuunnittelussa esiintyy usein tilanne, että kustannusten säästämiseksi tai raken-
nuksen käytön joustavoittamiseksi halutaan poiketa taulukoiden mukaisesta ratkaisusta
joidenkin osien suhteen. Tiukan aikataulun tai suunnitteluun käytettävissä olevan budje-
tin rajoitusten vuoksi laaja paloturvallisuustarkastelu ei kuitenkaan ole mahdollista.
Paloturvallisuusasiantuntijan vastattavaksi saattaa tulla kysymyksiä, kuten

1. Onko rakennus yhtä turvallinen, jos taulukko vaatimusten mukainen R60 rakenne korvataan R30 rakenteella?
2. Onko rakennus yhtä turvallinen, jos käytetään suunniteltua erikoisrakennetta paikassa, jossa vaaditaan EI30 palonkestävyyttä?
3. Onko rakennus yhtä turvallinen, jos käytetään vähemmän savunpoisto-
luukkuja kuin prosenttimitoituksen perusteella edellytettäisiin?
4. Onko rakennus yhtä turvallinen, jos poistumisreitit ovat taulukko vaatimuksia
pidemmät, mutta rakennukseen asennetaan vapaaehtoisesti automaattinen
sammutuslaitteisto?
5. Onko rakennus yhtä turvallinen, jos suurennettua osastokoa kompensoidaan
paloilmoittimella?

Kuhunkin kysymykseen voidaan hakea vastausta soveltamalla riskianalyysin periaatteita ja/tai valisemalla uhkakuvamalli edellisessä luvussa esitetyllä tavalla. Kysymyksen 1 tapauksessa voidaan ehkä osoittaa, että odotettavissa oleva palon aiheuttama rasitus on sellainen, että rakenteiden palonkestävyydellä ei ole merkitystä vahinkojen odotusarvon kannalta. Voidaan myös tarkastella mahdollisuutta, että odotettavissa oleva palon aiheuttama rasitus olisi siinä määrin lievempi kuin tavanomaisissa kyseisen käyttökohteen tiloissa, että lievennystä voitaisiin sen vuoksi perustella.

Kysymysten 2 - 5 tapauksessa valitaan uhkakuvamalli(t) edellisessä luvussa esitettyjen periaatteiden mukaisesti ja vertaillaan ehdotettuja ja taulukkovaatimusten mukaisia ratkaisuja sovittujen mitoituspalojen tapauksessa. On huomattava, että tässäkin tapauksessa toiminnallinen lähestymistapa edellyttää riskien arviointia, mutta nyt vain suhteessa hyväksytyyn perusratkaisuun. Tämä tekee tarkastelun helpommaksi, sillä menettely sallii lähtötiedoissa olevat puutteet tai approksimaatiot paremmin kuin esim. uhkakuvamalliin perustuva paloturvallisuuden arviointi.

Jos vaatimus on esitetty rakennusosan luokkavaatimuksena, tarkastelu on tehtävä simuloimalla vaihtoehtoisen ratkaisun käyttäytymistä ko. luokituksen määrittelevässä standardikokeessa. Esimerkiksi, jos osastoivan rakennusosan palonkestävyydelle on esitetty vaatimus palonkestävyysluokkina (esim. EI30), tarkastelu on tehtävä simuloimalla ehdotetun rakennusosan tai muun ratkaisun toimintaa standardikokeen olosuhteissa ottaen huomioon kaikki kokeen reunaehdot eikä pelkästään lämpötilaa. Useimpien rakennustuotteiden kohdalla standardikokeiden simulointi on kuitenkin vaikeata tai lähes mahdotonta, koska soveltuvia laskentamenetelmiä ei ole. Vaikka luokituksiinkin liittyy usein huomattavasti epävarmuutta, erityisesti jos tarvitaan vain yksi koe, tulosten pitää olla riittävän varmalla puolella. Menetelmien kelpoisuuden osoittamiseksi tarvitaan yleensä standardikokeiden tuloksia hyvin samankaltaisille tuotteille.

5. Yhteenveto

Paloturvallisuussuunnittelu on vasta hakemassa omaa paikkaansa tunnustettuna osana rakennusten suunnittelua. Tässä julkaisussa on kuvattu paloturvallisuussuunnittelun periaatteita. Kvantitatiiviset tiedot suunnittelun lähtöarvoista tai hyväksymiskriteereistä on jätetty tässä julkaisussa pois, koska ne riippuvat sekä käytettävistä menetelmistä että tavoiteltavasta turvallisuustasosta.

Paloturvallisuussuunnittelu poikkeaa useimmista muista rakennussuunnittelun tehtävistä siten, että rakennukseen kohdistuva kuorma riippuu olennaisesti siitä, miten rakennus on suunniteltu. Suunnittelua ei voida ohjeistaa niin yksityiskohtaisesti, etteikö useimmissa tapauksissa jouduttaisi käyttämään harkintaa laskentamenetelmiä ja niiden lähtötietoja valittaessa.

Paloturvallisuussuunnittelussa on kyse ennen kaikkea kyvystä soveltaa tulipalon syttymistä, kehittymistä ja sen seurauksia koskevia tietoja turvallisten rakennusten aikaansaamiseksi. Suunnittelijalta edellytetään monipuolista pätevyyttä, mutta ennen kaikkea kykyä ymmärtää, mitä palotilanteessa voi sattua ja millä toimenpiteillä palon aiheuttamat vahingot voidaan minimoida ottaen huomioon paloturvallisuustoimenpiteiden aiheuttamat kustannukset.

Liitteessä C on tarkasteltu ulkomaisten esimerkkien avulla vastuullisen paloturvallisuussuunnittelijan pätevyysvaatimuksia. Suomessa tällaisen pätevyyden hankkimisen mahdollistavaa koulutusta ei ole tarjolla. Onkin tarkoin harkittava, millä tavoin paloturvallisuussuunnittelun laatuvaatimukset voidaan pitää riittävän korkealla, kun perusedellytys eli koulutus puuttuu. Koulutuksen puuttumisen takia myös suunnittelun ohjeistus kärsii resurssipulasta.

Paloturvallisuussuunnittelu on kuitenkin jo monissa maissa hankkinut vakaan aseman. Suuria liikerakennuksia, kokoontumistiloja tai muita julkisia rakennuksia ei juurikaan enää suunnitella ilman, että niiden paloturvallisuuden arviointiin käytettäisiin palon kehittymisen simuloinnin laskentaohjelmia. Saavutettavat edut ovat niin suuret, että paluuta aiempaan ei enää ole. Myös Suomessa muutama insinööritoimisto on 1990-luvun puolivälin jälkeen erikoistunut menetelmien käyttöön.

Mitä enemmän paloturvallisuussuunnittelua tehdään, sitä enemmän hyväksyntätilanteissa keskustelu siirtyy luokkavaatimusten tai mittojen tarkastamisesta varsinaisten paloturvallisuusongelmien tarkastelemiseen. Paloturvallisuussuunnittelun hyödyt ovat niin ilmeiset, että voidaan ennustaa tulevaisuudessa laskennallisten paloturvallisuusanalyysien tekemistä jopa vaadittavan aina, kun rakennetaan esim. kokoontumistiloja tai muita sellaisia kohteita, joissa kokoontuu suuria henkilömääriä.

Lähdeluettelo

Anderberg, Y. 1991. SUPER-TEPCALC. A commercial and userfriendly computer program with automatic FEM-generation for temperature analysis of structures exposed to heat. Fire Safety Design. Lund. Sweden.

AS/NZS 4391: 1996. Smoke management system–Hot smoke test. Homebush: Standards Australia & Wellington: Standards New Zealand. 32 s.

Baroudi, D., Kokkala, M. & Weckman, H. 1998. Lämpöilmäsimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.0T. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 34 s. + liitt. 19 s. (VTT Tiedotteita–Meddelanden–Research Notes 1922.) ISBN 951–38–5328–4. ISSN 1235–0605.

Baroudi, D., Kokkala, M. & Weckman, H. 1999. Savuilmaisimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.1S. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 37 s. + liitt. 1 s. (VTT Tiedotteita–Meddelanden–Research Notes 2005). ISBN 951–5620–8. ISSN 1235–0605.

Beck, V. CESARE-RISK: A tool for performance-based fire engineering design. Teoksessa: Proceedings–1998 Pacific Rim Conference and Second International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods. 3–9 May 1998, Maui, Hawaii. Intl. Code Council & Society of Fire Protection Engineers. s. 441–452.

Buchanan, A. H. (ed.). 1994. Fire Engineering Design Guide. Centre of Advanced Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. 203 s.

CIB. 1983. A conceptual approach towards a probability based design guide on structural fire safety. Workshop Report. CIB W14 Workshop ”Structural Fire Safety” January 1983. M. Kersken-Bradley et al. (eds.). Fire Safety Journal, vol. 6, s. 1–79.

CIB. 1986. Design Guide Structural Fire Safety. M. Kersken-Bradley et al. (eds.). Fire Safety Journal, vol. 10, no. 2, s. 76–137.

Cox, G. 1995. Compartment fire modelling. Teoksessa: Cox, G. (toim.) Combustion Fundamentals of Fire, Academic Press, London, UK. S. 329–404.

DD 240: Part 1: 1997. Fire safety engineering in buildings. Part 1. Guide to the application of fire safety engineering principles. BSI, London, UK. 102 s.

DD 240: Part 2: 1997. Fire Safety Engineering in buildings. Part 2. Commentary on the equations given in Part 1. BSI, London, UK. 14 s.

De Vos, P. 1999. Draft Firecode. Fire Safety Design Code for Buildings in South Africa. CSIR. Pretoria, South Africa. 251 s. + liitteet.

ENV 1991-1: 1994 E. Eurocode 1–Basis of design and actions on structures–Part 1: Basis of design. CEN–European Committee for Standardization, Brussels, 1994. Annex A, s. 55–65.

Evans, D. D. & Stroup, D. W. 1986. Methods to calculate the response time of heat and smoke detectors installed below large unobstructed ceilings. *Fire Technology*, Vol. 22, No. 1, s. 54–65.

FCRC. 1996. Fire Engineering Guidelines. Fire Code Reform Centre Limited. Sydney, Australia, ISBN 0 7337 0454 9. 215 s. + liitteet.

Fitzgerald, R. 1986. Risk analysis using engineering method for building fire safety. Teoksessa: Grant, C.E. & Pagni, P.J. (toim.) *Fire Safety Science–Proceedings of the First International Symposium*, Gaithersburg, MD, USA, 7–11 October 1985, Hemisphere, Washington DC, USA. S. 993–1002.

Fraser–Mitchell, J.N. 1994. An object–oriented simulation (CRISP II) for fire risk assessment. Teoksessa: Kashiwagi, T. (toim.) *Fire Safety Science–Proceedings of the Fourth International Symposium*, Ottawa, Canada, 13–17 June 1994. International Association of Fire Safety Science. S. 793–804.

Friedman, R. 1992. An international survey of computer models for fire and smoke. *Journal of Fire Protection Engineering*. Vol. 4, s. 81–92.

Hakkarainen, T., Oksanen, T. & Mikkola, E. 1997. Fire behaviour of facades in multi–storey wood–framed houses. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 42 s. + liitt. 16 s. (VTT Tiedotteita–Meddelanden–Research Notes 1823.)

Hietaniemi, J., Hostikka, S., Lindberg, L. & Kokkala, M. 2000. Vyöhykemalliohjelman CFAST–kelpoisuuden arviointi. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. (VTT Tiedotteita–Meddelanden–Research Notes 2027.), 54 s. + liitt. 11 s.

Hokstad, P., Mostue, B. A., Opstad, K. & Paulsen, T. 1998. Metode for å beregne personsikkerheten mht brann i bygninger. Rapport STF38 A97421. SINTEF, Trondheim, Norge. 123 s.

ISO/TR 13387–1:1999 (E). Fire safety engineering–The application of fire performance concepts to design objectives. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization. 52 s.

ISO/TR 13387-2: 1999 (E). Fire safety engineering-Design fire scenarios and design fires. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization. 17 s.

ISO/TR 13387-3: 1999 (E). Fire safety engineering-Assessment and verification of mathematical fire models. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization. 22 s.

ISO/TR 13387-4: 1999 (E). Fire safety engineering-Initiation and development of fire and generation of fire effluent. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization. 35 s.

ISO/TR 13387-5: 1999 (E). Fire safety engineering-Movement of fire effluent. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization. 21 s.

ISO/TR 13387-6: 1999 (E). Fire safety engineering-Structural response and fire spread beyond the enclosure of origin. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization. 17 s.

ISO/TR 13387-7: 1999 (E). Fire safety engineering-Detection, activation and suppression. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization. 36 s.

ISO/TR 13387-8: 1999 (E). Fire safety engineering-Life safety: occupant behaviour, location and condition. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization. 36 s.

Kamppinen, M., Raivola, P., Jokinen, P. & Karlsson, H. 1995. Riskit yhteiskunnassa – maallikot ja asiantuntijat päätösten tekijöinä. Gaudeamus, Helsinki, 201 s.

Karlsson, B., Magnusson, S.E. & Frantzich, H. 1996. Brandteknisk dimensionering utifrån funktionsbaserade regler. Helsingfors: Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB Brandutskottet. Monila Oy, 1996. 50 s. (NKB Utskotts- och arbetsrapporter 1996:05.)

Keski-Rahkonen, O. 1987. Tulipalojen numeerinen simulointi I. Palontorjuntatekniikka. no. 4. S. 134-136.

Kruppa, J. (toim.). 2000. Rational fire safety engineering approach to fire resistance performance of buildings. CIB W14. (julkaisematon työryhmädokumentti).

Law, M. & Beever, P. Magic numbers and golden rules. Teoksessa: Kashiwagi, T. (toim.) Fire Safety Science-Proceedings of the Fourth International Symposium,

Ottawa, Canada, 13–17 June 1994. International Association of Fire Safety Science. S. 79–84.

Lehtimäki, S. (toim.). 1997. Palotekninen erityissuunnittelu vyöhykemalleja käyttäen. Helsinki: Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö. 58 s. (Tekniikka opastaa 12.)

Magnusson, S.-E., Risk analysis. Teoksessa: Hasemi, Y. (toim.). Fire Safety Science–Proc. of the Fifth International Symposium. Melbourne, Australia, 3–7 March 1997. International Association of Fire Safety Science. S. 41–58.

Magnusson, S.-E., Frantzych, H. & Harada, K. 1996. Fire safety design based on calculations: uncertainty analysis and safety verification. Fire Safety Journal. Vol 27. S. 305–334.

Myllymäki, J., Oksanen, T., Baroudi, D. & Ala-Outinen, T. 2000. Real scale fire experiments of lightweight steel balconies. Teoksessa: Kesti, J. & Mäkeläinen, P. (toim.) Viidennet teräsrakenteiden tutkimus ja kehityspäivät, Espoo, 18–19.1.2000. Espoo: Teknillinen korkeakoulu (TKK–TER–13). S. 138–145.

Nakaya, I. & Hirano, Y. 1996. Japan's approach toward the building code and standards of a new generation. Teoksessa: Lund, D.P. (toim.) Proceedings–1996 International Conference on Performance–Based Codes and Fire Safety Design Methods. 24–26 September 1996, Ottawa, Ontario, Canada. Boston, MA, USA: Society of Fire Protection Engineers. S. 151–158.

NFPA 101–F99 ROC. 1999. Draft for Chapter 3: Performance Based Option of NFPA 101. National Fire Protection Association, Quincy, MD, USA. 10 s. (julkaisematon).

NKB. 1978. Strukturering av byggregler. Helsingfors: Nordiska kommittén för byggbestämmelser. 38 s. (NKB rapport 34.)

NKB 1980. Structural Fire Protection in Buildings. NKB–rapport nr. 38, Helsingfors: Nordiska kommittén för byggbestämmelser. (NKB rapport nr 38).

NKB 1994. Funktionsbestemte brandkrav og teknisk vejledning for beregningsmæssig eftervisning. Helsingfors: Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB Brandutskottet, Monila Oy. 80 s. (NKB Utskotts- och arbetsrapporter 1994:07.)

NKB 1999. Dimensionering utifrån funktionsbaserade regler. Supplement til NKB utskotts- och arbetsrapport 1994:07. Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB Brandutskottet, Monila Oy. 80 s. (NKB Utskotts- och arbetsrapporter 1999:02.)

Opstad, K. & Stensaas, J.P., Håndbok I Branntekniske Analyser og Beregninger. Trondheim, Norge: SINTEF Bygg og Miljøteknikk–Norges branntekniske laboratorium. 84 s. (ks. <http://www.sintef.no/units/civil/nbl/handbok/frmain.htm>).

Peacock, R.D., Forney, G.P., Reneke, P., Portier, R. & Jones, W.W. 1993. CFAST, The consolidated model of fire growth and smoke transport. Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology. 246 s. (Technical Note 1299).

Rasbash, D. J. Criteria acceptability for use with quantitative approaches in fire safety. Fire Safety Journal, Vol. 8, 1984/85, s. 141–157.

Richardson, J. K. 1994. The practice of fire protection engineering in a performancebased regulatory environment. J.K. Richardson (toim.). Selected Readings in Performance–Based Fire Safety Engineering. Society of Fire Protection Engineers. Boston, MA, USA. S. iii–vii.

Schneider, J. 1997. Introduction to Safety and Reliability of Structures. Zurich, Switzerland: International Association for Bridge and Structural Engineering. 138 s. (Structural Engineering Documents No. 5.)

SFPE. 1998. The SFPE Engineering Guide to Performance–Based Fire Protection Analysis and Design. Draft for Comments. Society of Fire Protection Engineers & National Fire Protection Association. USA. 133 s. (ks. <http://www.sfpe.org>).

Sheppard. D. 1998. Keskustelut kirjoittajan kanssa.

Shields, T.J. (toim.) 1998. Human Behaviour in Fire: Proceedings of the First International Symposium. Belfast, Northern Ireland, 31 August–2 September 1998.

Sterner, E. & Wickström, U. 1990. TASEF–Temperature analysis of structures exposed to fire–User’s Manual.. Borås, Sweden: Swedish National Testing Institute, (SP Report 1990:5)

Tanhuanpää, V. & Lahdenperä, P. 1996. Rakentamisprosessin malli. Toteutumatiiedot toimistorakennushankkeesta. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 294 s. + liitt. 7 s. (VTT Tiedotteita–Meddelanden–Research Notes 1768.)

Weckman, H. 1997. Rakennuksista poistumisen laskennallinen arviointi. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 50 s. + liitt. 11 s. (VTT Tiedotteita–Meddelanden–Research Notes 1846.)

Ympäristöministeriö 1997. Suomen rakentamismääräyskokoelma, E1 Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet. Helsinki 1997. 30 s.

Ympäristöministeriö 1999. Maankäyttö ja rakennuslaki. 132/1999. Helsinki. (<http://www.vyh.fi/aluekayt/raklaki/index.htm>.)

Yung, D., Hadjisophocleous, G.V. & Proulx, G. 1997. The use of FiRECAM to identify cost-effective fire safety design options for a large 4-storey office building. Teoksessa: Lund, P.E. (toim.) 1996 International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods-Proceedings, Ottawa, Canada, 24-26 September 1996. Society of Fire Protection Engineers. S. 269-280.

Liite A: Toiminnalliset vaatimukset säädöksissä

Seuraavassa on esitetty otteita maankäyttö- ja rakennuslaista ja -asetuksesta sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta E1. Sivujen alareunan huomautukset ovat kirjoittajan kommentteja.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999 §117)

Rakennuksen tulee sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla täyttää ...paloturvallisuuden ... perusvaatimukset (olennaiset tekniset vaatimukset).

Rakennuksen tulee olla ... korjattavissa, huollettavissa ja muunneltavissa sekä, sen mukaan kuin rakennuksen käyttö edellyttää, soveltua myös sellaisten henkilöiden käyttöön, joiden kyky liikkua tai toimia on rajoittunut.

Korjaus- ja muutostyössä tulee ottaa huomioon ... Muutosten johdosta rakennuksen käyttäjien turvallisuus ei saa vaarantua ...

Maankäyttö- ja rakennusasetus (895/1999 §50)

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sen olennaiset tekniset vaatimukset täytetään ja voidaan tavanomaisella kunnossapidolla säilyttää rakennuksen suunnitellun käyttöajan ajan.

Rakennusta koskevat olennaiset tekniset vaatimukset ovat seuraavat:

...

2) Paloturvallisuus. Rakennuksen kantavien rakenteiden tulee palon sattuessa kestää niille asetetun vähimmäisajan. Palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa tulee olla rajoitettua. Myös palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin tulee rajoittaa. Rakennuksessa olevien henkilöiden on voitava palon sattuessa päästä poistumaan rakennuksesta tai heidät on voitava pelastaa muulla tavoin. Myös pelastushenkilöstön turvallisuus on rakentamisessa otettava huomioon.

E1 Rakennusten paloturvallisuus - määräykset ja ohjeet 1997

1 YLEISTÄ

1.2.1 ... Paloturvallisuuden kannalta tämä tarkoittaa ..., että

- rakennuksen kantavien rakenteiden tulee palon sattuessa oletettavasti kestää tietyn vähimmäisajan;
- palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa tulee olla rajoitettu;
- palon leviämisen viereisiin rakennuksiin tulee olla rajoitettu;
- henkilöiden tulee palon sattuessa voida poistua rakennuksesta tai heidät on voitava pelastaa muilla keinoilla;
- pelastushenkilöstön turvallisuus tulee ottaa huomioon.³

1.3.1 Paloturvallisuusvaatimuksen katsotaan riittävässä määrin täyttyvän, mikäli ... vaatimuksen täyttyminen todennetaan ... luotettavaksi osoitetulla tavalla ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö.

Ohje

... suunnittelu perustuu oletettuun palonkehitykseen, jonka tulee kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiin tulevat tilanteet.

Suunnittelussa käytetään menetelmiä, joiden kelpoisuus on osoitettu. Eurooppalaisten (EN) ja kansainvälisten (ISO) standardien mukaisten koe- ja laskentamenetelmien voidaan olettaa täyttävän kelpoisuusvaatimukset, mikäli sovellus on ko. menetelmän pätevyysalueella.

Menetelmien käytön perusteet ja saadut tulokset tulee esittää; asiakirjoista on tällöin ilmevä ainakin seuraavat seikat:

- rakennuksen ja siinä olevien paloturvallisuuslaitteiden kuvaus
- rakennuksen käytöstä koko sen elinkaaren aikana tehdyt oletukset
- palokunnan toimintamahdollisuuksista tehdyt oletukset
- perusteet tarkastelun kohteiksi valituille palotilanteille
- rakennuksen käytön aikana edellytettävät huolto- ja kunnossapitotoimet
- käytettyjen menetelmien kuvaus, joka sisältää laskenta- ja koemenetelmien soveltuvuuden rajoituksineen sekä lähtötiedot ja tehdyt oletukset perusteluineen
- saadut tulokset herkkyyksianalyysineen (sen selvittämiseksi, aiheuttaako pieni muutos tehdyissä oletuksissa merkittävän muutoksen paloturvallisuudessa)
- hyväksymiskriteerit ja saatujen tulosten vertailun niihin.

³ Huom! Kolme ensimmäistä vaatimusta liittyvät omaisuuden turvaamiseen. Toisaalta ne ovat keinoja kahden jälkimmäisen vaatimuksen toteuttamiseksi, eivätkä siinä mielessä tasavertaisia näiden kanssa.

4 SYTTYMISEN ESTÄMINEN

4.1.1 Rakennus on suunniteltava, rakennettava ja varustettava niin, että palon syttymisen vaara on mahdollisimman pieni.

4.1.2 Tekniset asennukset on tehtävä siten, että palon syttymisen sekä palon ja savun leviämisen vaara rakennuksessa ei olennaisesti niiden johdosta kasva.

4.1.3 Tulisija, savuhormi ja lämmityslaite on sijoitettava ja rakennettava tai asennettava niin, ettei niiden käytöstä aiheudu palo- ja räjähdysvaaraa.

5 PALON RAJOITTAMINEN PALO-OSASTOON

5.1.1 Rakennus tulee yleensä jakaa palo-osastoihin palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi, poistumisen turvaamiseksi, pelastus- ja sammutustoimien helpottamiseksi sekä omaisuusvahinkojen rajoittamiseksi.

6 RAKENTEIDEN KANTAVUUDEN SÄILYTTÄMINEN

6.1.1 Rakennus ja sen rakennusosat eivät palon vaikutuksesta saa sortumalla aiheuttaa vaaraa määrätynä aikana⁴ palon alkamisesta. Mikäli henkilöturvallisuuden takia tai vahinkojen suuruuteen nähden on tarpeellista, rakennuksen on kestettävä sortumatta koko palokuorman palaminen ja jäähtyminen.

6.1.3 Kantavan rakenteen mitoitus voi perustua ... oletetun palonkehityksen mukaisiin rasiin.

6.3.1 Kun kantavien rakenteiden mitoitus perustuu oletettuun palonkehitykseen, rakennusta pidetään riittävän paloturvallisena kantavien rakenteiden osalta, mikäli:

- yli kaksikerroksinen rakennus ei yleensä sorru palon eikä jäähtymisvaiheen aikana tai
- enintään kaksikerroksinen rakennus ei sorru poistumisen turvaamiseen, pelastustoimintaan ja palon hallintaan saattamiseen tarvittavana aikana.

Palorasituksena käytetään oletetun palon kehityksen mukaisia olosuhteita siten, että palorasitus todennäköisesti kattaa kyseisessä rakennuksessa esiintyvät tilanteet.

⁴ Termi “määrätyn ajan” tulee ymmärtää viittaukseksi kohdassa 6.3.1 esitettyyn tapaan esittää aika-vaatimus.

7 PALON LEVIÄMISEN ESTÄMINEN OSASTOSTA

7.1.1 Osastoivat rakennusosat niihin liittyvine laitteineen ja varusteineen tulee tehdä siten, että palon leviäminen osastosta toiseen estyy määrätyn⁵ ajan.

7.4.1 Osastoivan rakennusosan läpi saa johtaa tarpeelliset putket, roilot, kanavat, johdot ja hormit edellyttäen, ettei olennaisesti heikennetä rakennusosan osastoivuutta.

7.6.1 Ullakot ja ontelot on tehtävä siten, ettei palon syttymisen eikä palon ja savun leviämisen vaara rakennuksessa olennaisesti kasva niiden johdosta.

7.6.2 Ulkoseinät ja parvekkeet on rakennettava niin, että palo ei leviä niiden kautta vaaraa aiheuttavalla tavalla.

Ohje

Ulkoseinärakenteiden suunnittelussa otetaan huomioon palon leviämiskaava ulkoseinän ulkopintaa pitkin, ulkoseinärakenteen sisällä sekä ulkoseinän ja osastoivan rakennusosan liitoksen kautta.

Ikkunoiden suunnittelussa otetaan huomioon palon leviämiskaava osastosta toiseen vastakkaisissa tai nurkikkaisissa ulkoseinissä olevien ikkunoiden kautta.

8 PALON KEHITTÄMISEN RAJOITTAMINEN

8.1.1 Rakennuksessa on käytettävä rakennustarvikkeita, jotka eivät myötävaikuta palon kehittämiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla.

Ohje

Käytettäviin rakennustarvikkeisiin ei saa sisältyä ainetta, joka palaa ilman ilmasta saatavaa happea. Käytettäviin tarvikkeisiin ei myöskään saa sisältyä aineita, jotka palaessaan tuottavat poikkeuksellisella tavalla myrkyllisiä kaasuja tai ympäristölle haitallisia jätteitä.

Rakentamisessa ei tule käyttää rakenteita tai tarvikkeita, jotka vähäisessä paloaltistuksessa vaaraa aiheuttavalla tavalla sulavat, pisaroituvat, muuttavat muotoaan tai putoavat.

⁵ Tässä vaaditun "määrätyn ajan" asettamiselle ei ole annettu toiminnallista ohjetta. Osastointi sinänsä on eräs tosin lähes poikkeuksetta käytetty strategia paloturvallisuuden takaamiseksi. Se ei ole samanarvoinen vaatimus kohtien 4 ja 6 vaatimuksille.

8.2.1 Sisäseinien ja -kattojen sekä lattioiden paloteknisiä ominaisuuksia arvioitaessa otetaan huomioon lieskahduksen alkamiseen kuluva aika, lämmön vapautuminen ja savun muodostuminen.

9 PALON LEVIÄMISEN ESTÄMINEN NAAPURIRAKENNUKSIIN

9.1.1 Palon leviäminen rakennuksesta toiseen ei saa vaarantaa henkilöturvallisuutta eikä aiheuttaa kohtuuttomana pidettäviä taloudellisia eikä yhteiskunnallisia menetyksiä.

9.1.2 Rakennuksen välisen etäisyyden tulee olla sellainen, että palo ei leviä helposti naapurirakennuksiin ja aluepalon vaara jää vähäiseksi.

9.1.3 Vesikaterakenteen tulee olla sellainen, että se ei syty helposti naapurirakennuksen palosta.

10 POISTUMINEN PALON SATTUESSA

10.1.1 Rakennuksesta tulee voida turvallisesti poistua tulipalossa tai muussa hätätilanteessa. Rakennuksessa tulee olla riittävästi sopivasti sijoitettuja, tarpeeksi väljiä ja helppokulkuisia uloskäytäviä niin, että poistumisaika rakennuksessa ei ole vaaraa aiheuttavan pitkä.

Ohje

Jokaiselta poistumisalueelta on oltava mahdollista kuljettaa uloskäytävän kautta liikuntakyvytön henkilö paareilla.

Poistumisalueella olevan kulkureitin, joka johtaa uloskäytävään, tulee olla riittävän väljä ja helppokulkuinen.

10.3.1 Rakennuksen jokaiselta poistumisalueelta, jossa muutoin kuin tilapäisesti oleskelee tai työskentelee henkilöitä, tulee yleensä olla vähintään kaksi erillistä, tarkoituksenmukaisesti sijoitettua uloskäytävää.

10.4.1 Uloskäytävän vähimmäisleveys lasketaan⁶ uloskäytävän kautta poistuvien henkilöiden lukumäärän perusteella. Poistumisalueen henkilömäärä saadaan jakaa eri uloskäytävien osalle ja uloskäytävien leveydet lasketaan yhteen.

⁶ Uloskäytävän mitoittamiseen voidaan käyttää myös menetelmiä, jotka eivät käsittele pelkästään uloskäytävän leveyttä vaan poistumiseen kuluva aika kokonaisuudessaan.

Henkilöiden määränä on ensisijaisesti käytettävä suurinta poistumisalueelle aiottua henkilömäärää. Jos samaan uloskäytävään liittyy useita poistumisalueita, leveys mitoitetaan henkilömäärältään suurimman poistumisalueen mukaan.

10.4.2 Uloskäytävän leveyden tulee yleensä olla vähintään ...⁷

Ohje

Kun palo-osasto muodostuu useasta avoyhteyksisin toisiinsa liittyvästä kerroksesta, jotka ovat omia poistumisalueitaan, henkilöt joutuvat poistumaan samanaikaisesti eri kerroksista samojen uloskäytävien kautta. Tällöin uloskäytävien riittävyys arvioidaan myös kaikkien poistuvien henkilöiden poistumisaikalaskelman perusteella.

10.4.4 Uloskäytävään johtavien ja huoneista sisäiseen käytävään johtavien ovien määrän ja leveyden tulee olla niitä käytävään henkilömäärään nähden riittäviä.

10.6.3 Uloskäytävien ja niihin johtavien tilojen ovien tulee olla hätätilanteessa helposti avattavissa.

11 SAMMUTUS- JA PELASTUSTEHTÄVIEN JÄRJESTELY

11.1.1 Palon sammuttamisen ja henkilöiden pelastamisen edellytykset rakennuksessa ja sen läheisyydessä tulee turvata.

11.1.2 Mikäli rakennuksen sijainti, suuri koko tai poikkeukselliset olosuhteet erityisesti vaarantavat henkilö- tai paloturvallisuutta, ... voidaan vaatia, että rakennus varustetaan paloturvallisuutta parantavilla laitteilla ja järjestelyillä.

11.1.3 Paloturvallisuutta parantavia laitteita valittaessa on huolehdittava siitä, että niiden toimintatapa ja ominaisuudet soveltuvat kohteeseen.

11.1.4 Asennusten, joiden edellytetään toimivan palon aikana, tulee olla tehty siten, että niiden toimintakyky säilyy tarvittavan ajan.

⁷ Tämä ei ole toiminnallinen vaatimus, mutta sen sijaan ohjeen teksti on esitetty toiminnallisesti.

11.1.5 Rakennuksen omistajan ja haltijan tulee huolehtia paloturvallisuutta palvelevien laitteiden toimintakunnosta.

11.2.1 Palo- ja pelastuskalustolle tulee suunnitella mahdollisuus päästä riittävän lähelle rakennusta ja alueella olevia sammutusveden ottopaikkoja (pelastustie).

11.3.1 Seuraaviin tiloihin tulee asentaa sähköverkkoon kytkettävät palovaroittimet⁸:...

Ohje

Laitteiston toiminta suunnitellaan siten, että se antaa hälytyksen henkilökunnalle tai vaarassa oleville niin nopeasti, että pelastautumiseen rakennuksen vaaranalaisesta osasta jää riittävästi aikaa.

11.4.1 Rakennukseen tulee suunnitella ja rakentaa eri eri tiloihin soveltuva riittävä mahdollisuus savunpoistoon

Ohje

Savunpoiston järjestäminen ei edellytä erityistoimia, mikäli tilojen ikkuna- tai oviaukkoja voidaan käyttää savunpoistoon tai savu voidaan poistaa palokunnan toimin.

11.5.1 Rakennus tulee tarvittaessa varustaa tarkoituksenmukaisilla alkusammutusvälineillä siten, että rakennuksessa olevat voivat käynnistää sammutustoimet palon alkuvaiheessa.

⁸ Tämä ei ole toiminnallinen vaatimus, mutta sen sijaan ohjeen teksti on esitetty toiminnallisesti.

Liite B: Määritelmiä

Annettu suunnitteluparametri (*prescribed design parameter*)

Rakennussuunnitelman mukainen lähtötieto (esim. huonekorkeus, ikkunoiden koko, sijainti ja lukumäärä, vaadittu vähimmäishenkilömäärä ko. tilassa).

Arvioitu suunnitteluparametri (*estimated design parameter*)

Suunnittelijan rakennuksen käyttötarkoitustiedoista, rakennuspiirustuksista yksinkertaistamalla jne. muokkaama käytettävästä menetelmästä riippuva kvantitatiivisen paloturvallisuusarvioinnin lähtötieto (esim. palokuorman tiheys tietyssä käyttökohteessa, oviaukon efektiivinen leveys poistumistarkasteluissa, seinien termiset ominaisuudet).

Asiantuntija-arvio (*engineering judgement*)

Koulutuksen tai kokemuksen kautta pätevoityneen ja taidoiltaan tunnustetun asiantuntijan arvio, jolla täydennetään kvantitatiivista analyysiä sekä hyväksytään tai hylätään analyysin tulokset.

Deterministinen tarkastelu (*deterministic study*)

Tieteellisiin teorioihin ja empiirisiin havaintoihin perustuviin fysikaalisiin riippuvuuksiin pohjautuva menetelmä, joka samoilla lähtötiedoilla antaa aina saman lopputuloksen.

Dokumentointi (*documentation*)

Paloturvallisuussuunnitelman ja siinä käytettävien menetelmien kirjaaminen muita rakennussuunnittelijoita, hyväksyviä viranomaisia ja rakennuksen käyttäjiä varten.

Epävarmuus (*uncertainty*)

Havaitun tai lasketun suureen poikkeama todellisesta suureen arvosta.

Hyväksyttävä menetelmä (*acceptable method*)

Paloturvallisuuden arviointiin käytettävä menetelmä (standardi, suunnitteluohje, laskentamenetelmä), joka on käynyt läpi riippumattoman tieteellisen tunnustettujen asiantuntijoiden arvioinnin tai joka on kehitetty asiantuntijoiden ryhmätyönä ja joka on saanut positiivisen arvioinnin julkisessa lausunkäsittelyssä. Menetelmällä edellytetään saavutettavan sen dokumentoinnissa mainitut tulokset, kun sitä käytetään asiantuntevasti dokumentoinnissa esitetyn

rajoituksin. Viranomaiset saattavat asettaa menetelmän hyväksyttävyydelle lisävaatimuksia. (Suomessa ei menetelmien hyväksymismenettelystä ole säädöksiä.)

Hyväksyttävä paloriski (*acceptable fire risk*)

Palovahinkojen odotusarvo (todennäköisyys x seuraukset), jota yhteiskunta pitää yleisesti hyväksyttynä. Hyväksyttävä riski saattaa riippua seurausten suuruudesta ja laadusta. Samaan tarkoitukseen käytetään myös termiä *siedettävä paloriski*.

Hyväksyttävä ratkaisu (*acceptable solution*)

Rakenteiden, rakennusosien ja muiden rakennustuotteiden sekä rakennuksen tilajärjestelyjen ja muiden paloturvallisuuteen vaikuttavien tekijöiden yhdistelmä, jonka katsotaan täyttävän toimivuusvaatimukset. Esimerkiksi E1:n taulukko vaatimusten mukaisesti tehty rakennus on hyväksyttävä rakennus.

Järjestelmä (*system*)

Rakennuksessa jotakin toimintaa varten olevien laitteistojen, rakennusosien ja tilajärjestelyjen yhdistelmä, joka muodostaa paloturvallisuuden kannalta yhteisen kokonaisuuden. Osajärjestelmä on em. yhdistelmän riippumattomasti vaihdettavissa oleva osa.

Kelpoisuuden osoittaminen (*validation*)

Mallin tai ohjelman käyttökelpoisuuden arviointi esim. vertaamalla koetuloksiin.

Komponentti (*component*)

Rakennustuote tai laitteisto, jolle voidaan asettaa sovelluskohteesta riippuvia teknisiä vaatimuksia.

Luotettavuus (*reliability*)

Todennäköisyys, että laitteisto, rakennusosa, rakenne tai järjestelmä täyttää sille suunnitellun tehtävän. Todennäköisyys ilmaistaan joko aikayksikköä tai toiminnan aktivoivien tapahtumien lukumäärää kohti.

Mallintaminen (*modelling*)

Kohteen, tapahtuman tms. kuvaaminen yksinkertaistettuna analysointia varten.

Mitoittava palotilanne (*design fire scenario*)

Mitoituspalotilanne on rakennuksen, rakennusosan, sisustuksen, prosessien ym. paloturvallisuuden arvioinnissa käytettävä palotilanne. Mitoituspalotilanteen kuvaus sisältää mm. syttymislähteen koon ja sijainnin, palavan aineen laadun, sijoittelun ja määrän, palotilan mitat ja muodon sekä yhteydet muuhun rakennukseen, palonkehittymiseen vaikuttavat laitteistot sekä ympäristöolosuhteet. Mitoituspalotilanne kattaa riittävällä varmuudella seurauksiltaan pahimmat palotilanteet. Mitoittavia palotilanteita valittaessa on tarkasteltava myös mahdollisia vikaantumistilanteita.

Mitoituspalo (*design fire*)

Mitoituspalo on rakennuksen, rakennusosan, sisustuksen, prosessien ym. paloturvallisuuden arviointiin käytettävä, kohteen käyttötarkoituksesta, palokuorman laadusta, määrästä ja laadusta ja sijainnista riippuva kvantitatiivisesti kuvattu palo syttymisestä tulipalon vaikutusten päättymiseen asti. Mitoituspalo kattaa riittävällä varmuudella seurauksiltaan pahimmat palotilanteet siten, että varmuuskertoimien huomioon ottamisen jälkeen vahinkojen odotusarvo on riittävän pieni. Mitoituspalo esitetään yleensä palotehona ajan funktiona, mutta siihen voi liittyä kvantitatiivista tietoa myös palavan alueen koosta sekä savun ja haitallisten kaasujen tuotosta.

Paloriski (*fire risk*)

Palovahinkojen odotusarvo tarkasteltavana aikajaksona, esitetään yleensä esiintymistodennäköisyyden ja seurausten tulona.

Paloturvallisuusanalyysi (*fire safety analysis*)

Suunnitelmaehdotuksen tai olemassa olevan rakennuksen paloturvallisuuden analysointi hyödyntäen kokeita ja laskentaa. Paloturvallisuusanalyysi edellyttää mahdollisten palotilanteiden (*fire scenario*) todennäköisyyspohjaista ja determinististä tarkastelua.

Paloturvallisuuslaitteisto (*fire safety installation*)

Laitteisto, jonka tarkoituksena on hidastaa tai estää palon kehittyminen tai leviäminen tai antaa palohälytys. Usein käytetään myös termiä *aktiivinen paloturvallisuuslaitteisto* osoittamaan, että laitteisto toimii tehtävässään vasta palotilanteessa.

Paloturvallisuusraportti

Rakennusviranomaisia varten laadittu yhteenveto suunnitelmasta ja sitä koskevista paloturvallisuusanalyyseistä laadittu raportti, jonka perusteella paloturvallisuussuunnittelija pitää rakennuksen paloturvallisuustasoa vaatimusten mukaisena.

Paloturvallisuusstrategia (*fire safety strategy*)

Menettely, jolla tavoiteltava paloturvallisuus saavutetaan. Strategia voi perustua esim. syttymisten vähentämiseen, syttyneen palon nopeaan sammuttamiseen, ihmisten poistumiseen tai suojaamiseen paikallaan tai palon rajaamiseen ennalta määrättyyn tilaan.

Paloturvallisuussuunnittelija (*fire safety engineer*)

Palotekniikan alalla muodollisesti päteväytynyt tai kokemuksen kautta riittävän pätevyyden hankkinut insinööri.

Paloturvallisuussuunnittelu (*fire safety design*)

Rakennuksen tai sen osan suunnittelu hyödyntäen kokeita ja laskentaa siten, että tarkastellaan koko rakennuksen tai suunniteltavana olevan osan kokonaispaloturvallisuutta. Paloturvallisuussuunnittelu edellyttää mahdollisten palotilanteiden (*fire scenario*) todennäköisyyspohjaista ja determinististä tarkastelua ja mitoittavien palotilanteiden valintaa.

Paloturvallisuustekniikka (*fire safety engineering*)

Paloilmiöiden, palon seurausten, ihmisten reaktioiden ja käyttäytymisen tieteelliseen ymmärrykseen perustuvien insinöörیتieteiden periaatteiden, sääntöjen ja asiantuntija-arvioiden soveltamista

- ihmishengen pelastamiseen, omaisuuden suojaamiseen sekä ympäristön ja ihmiskunnan perinnön suojaamiseen
- palon ja sen seurausten vaarojen ja riskien kvantifiointiin
- sellaisten suojaus- ja torjuntatoimenpiteiden analyttiseen tarkasteluun, joiden avulla rajoitetaan palon seuraukset riittävässä määrin.

Paloturvallisuuden käytönaikainen hallinta (*fire safety management*)

Käytönaikainen paloturvallisuuden ylläpito.

Palouhka/Palovaara (*fire hazard*)

Mahdolliseen palotilanteeseen liittyvä ennakoitu tapahtumasarja seurauksineen.

Rajatila (*limit state*)

Olosuhteet, jonka ylittyessä/alittuessa laitteiston, rakennusosan, rakenteen tai järjestelmän katsotaan olevan turvallisuuden kannalta ei-toivotussa tilassa.

Siedettävä paloriski (*tolerable fire risk*)

Ks. hyväksyttävä paloriski.

Todentaminen (*verification*)

Laskentaohjelman ratkaisualgoritmin oikeellisuuden tarkistaminen.

Todennäköisyyspohjainen tarkastelu (*probabilistic study*)

Menetelmä, jossa tilastollisesti määritetään tapahtumaketjujen yleisyys ja tapahtumaketjujen seurausten todennäköisyydet.

Toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu (*performance based fire safety design*)

Ks. paloturvallisuussuunnittelu.

Toimivuuskriteeri / Paloturvallisuuskriteeri (*performance criterion*)

Kvantitatiivinen vaatimustaso, joka rakenteiden, rakennusosien ja muiden rakennustuotteiden sekä rakennuksen tilajärjestelyjen ja muiden paloturvallisuuteen vaikuttavien tekijöiden tulee täyttää, jotta paloturvallisuusvaatimukset täyttyisivät. Kriteerit (rajatilat) riippuvat osittain paloturvallisuuden arviointiin käytettävistä menetelmistä.

Toimivuusvaatimus / Paloturvallisuusvaatimus (*performance requirement*)

Vaatimus, joka rakenteiden, rakennusosien ja muiden rakennustuotteiden sekä rakennuksen tilajärjestelyjen ja muiden paloturvallisuuteen vaikuttavien tekijöiden tulee täyttää täyttää, jotta turvallisuustavoitteet saavutettaisiin (esim. "rakennuksessa tulee olla riittävästi sopivasti sijoitettuja, tarpeeksi väljiä ja helppokulkuisia uloskäytäviä niin, että poistumisaika rakennuksessa ei ole vaa-
raa aiheuttavan pitkä").

Turvallisuustavoite / Paloturvallisuustavoite (*functional objective*)

Yhteiskunnan tai kyseessä olevan hankkeen osapuolten asettama kvalitatiivinen turvallisuustasoa koskeva tavoite rakennuksen tai sen osan toimivuudelle palotilanteessa (esim. "rakennuksesta tulee voida turvallisesti poistua tulipalossa tai muussa hätätilanteessa").

Uhkakuva (*fire threat, fire hazard*)

Malli mahdollisen tulipalon ennakoidusta kulusta ja sen seurauksista syttymisestä tulipalon vaikutusten päättymiseen saakka.

Varmuuskerroin (*safety factor*)

Tekijä, jolla laskennan lähtöarvo tai lopputulos kerrotaan lopputuloksen riittävän varmuuden saavuttamiseksi. Varmuuskerroin riippuu valituista mitoitusarvoista, lähtötietojen epävarmuudesta (hajonnasta) sekä menetelmien epävarmuudesta.

Varmuusmarginaali (*safety margin*)

Laskennan lopputulokseen tehtävä lisäys tai vähennys riittävän varmuuden saavuttamiseksi. Varmuusmarginaali riippuu valituista mitoitusarvoista, lähtötietojen epävarmuudesta (hajonnasta) sekä menetelmien epävarmuudesta.

Liite C: Paloturvallisuussuunnittelijan pätevyysvaatimuksista

Paloturvallisuussuunnittelijalta edellytetään monipuolisia tietoja ennen kaikkea tulipaloon liittyvästä aineen ja lämmönsiirrosta, kemiallisista reaktioista, materiaalien käyttäytymisestä korkeissa lämpötiloissa jne. Suomessa alan koulutus on toistaiseksi hyvin puutteellista, joten pätevyysvaatimusten asettaminenkin on toistaiseksi vaikeata.

Viranomaisten suunnittelijan pätevyydelle asettamat vaatimukset vaihtelevat huomattavasti eri maissa pätevyksiä säätelevän lainsäädännön eroavuuksista johtuen. Esimerkiksi Yhdysvalloissa NFPA 101:n uudessa versiossa todetaan vain, että suunnitelman yhteydessä hyväksyville viranomaisille on toimitettava todisteet suunnittelutiimin kokeuksesta koskien suunnittelussa käytettyjä menetelmiä ja tietokantoja. Muutoin vaatimukset riippuvat paikallisista viranomaisista. Paloinsinöörien yhdistyksen SFPE:n eettisissä säännöissä (<http://www.sfpe.org/whatissfpe/canon.html>) todetaan, että paloinsinöörit saavat tarjota palveluksiaan ainoastaan omalla pätevyysalueellaan ja että tästä pätevyydestä pitää olla todisteet ("Fire protection engineers shall perform professional services only in the areas of their competence and after full disclosure of their pertinent qualifications").

Ruotsissa toimii aktiivisesti paloinsinööriyhdistyksen SFPE:n alaosasto Förening för Brandteknisk Ingenjörsvetenskap. Tämä alaosasto antaa vastaavan paloturvallisuussuunnittelijan (brandskyddsprojektör) pätevyyttä osoittavia sertifikaatteja. Sertifikaatin saamiseksi henkilöllä tulee olla osoitettua kokemusta paloteknisestä suunnittelusta vähintään kolmen vuoden ajalta sekä kokeessa osoitetut tiedot ja taidot

- palotekniikasta vastaten 100 opintoviikon paloteknisiä opintoja teknillisessä korkeakoulussa
- yleisesti tekniikasta (esim. 100 opintoviikon paloinsinööriopinnot tai 80 opintoviikon muun tekniikan alan opinnot korkeakoulussa tai nelivuotiset tekniikan opinnot opistossa)
- laatu järjestelmistä ja laadunvarmistuksesta, sekä
- rakennuslainsäädännöstä.

Palotekniikan tietotasovaatimuksena on, että henkilö tuntee ja kykenee käsittelemään palotekniikan termejä ja käsitteitä asianmukaisesti, ymmärtää ja hallitsee tulipalon kemiallisia ja fysikaalisia ilmiöitä, kykenee mallintamaan monimutkaisia tilanteita niin, että pystyy tekemään asianmukaisia laskelmia, hallitsee riskianalyysin ja tulipalon ja sen vaikutusten kuvaamiseen käytettäviä laskentaohjelmia, tuntee aktiivisten ja passiivisten

paloturvallisuuslaitteiden ja tuotteiden toimintaperiaatteet sekä erilaisten materiaalien käyttäytymisen palotilanteessa, omaa tiedot ihmisen käyttäytymisestä palotilanteessa sekä hallitsee poistumisen laskentaan käytettävät numeeriset ja analyttiset menetelmät. Lisäksi on hallittava erilaisten paloturvallisuuslaitteistojen kustannusten arviointi sekä tunnettava paloturvallisuutta säätelevä lainsäädäntö.

Sertifikaatti edellyttää jokavuotista osallistumista täydentävään koulutukseen. Sertifikaatti on voimassa viisi vuotta, jolloin sitä on haettava uudelleen. Tällöin ei kuitenkaan yleensä edellytetä osallistumista kokeeseen. Sertifikaatin hinta on tällä hetkellä 10 000 kruunua. Tarkempia tietoja edellä olevasta sertifioinnista saa yhdistyksen kotisivuilta. (<http://www.brand.lth.se/sfpe>).

Myös muualla paloinsinööreille saatetaan asettaa vaatimukseksi korkeakoulutasoinen tutkinto alalta. Esimerkiksi Viktorian osavaltiossa Australiassa edellytetään vastuulliselta paloturvallisuussuunnittelijalta paloinsinööritutkintoa yliopistosta (degree in fire safety engineering from a university within the meaning of the Tertiary Education Act 1993) sekä kolmen vuoden käytännön kokemusta. Yleisten pätevyysvaatimusten mukaan paloinsinööriltä edellytetään

- kykyä arvioida tulipalon ja palamistuotteiden vaikutuksia
- kykyä arvioida, miten palo syttyy, leviää rakennuksen sisällä ja sen ulkopuolella sekä pystyy antamaan suosituksia soveltuvien paloilmoinnien ja/tai sammutuslaitteistojen asentamisesta
- kykyä käyttää asianmukaisia malleja ja laskentamenetelmiä tuntien niiden oletukset, rajoitukset ja tulosten epävarmuudet
- käytönaikaisen paloturvallisuuden hallinnan tuntemusta, mukaan lukien mahdollisiin muutos- ja asennustöihin liittyvät paloturvallisuusongelmat
- kykyä valita kuhunkin tilanteeseen soveltuvat paloturvallisuustoimenpiteet ja kykyä arvioida eri toimenpiteiden välisiä tehokkuuseroja.

Rekisteröidyn paloturvallisuussuunnittelijan pätevyyttä hakiessaan insinöörin on osoitettava hallitsevansa oleelliset samat asiat kuin edellä ruotsalaisen järjestelmän kohdalla on mainittu. Rekisteröinnin myöntää Building Practitioners Board.



Tekijä(t) Kokkala, Matti			
Nimeke Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu Toiminnallinen lähestymistapa			
Tiivistelmä Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu on 1990-luvun aikana kokenut merkittävän muutoksen. Tulipalon numeerista simulointia ja muita laskentamenetelmiä on alettu käyttää enenevässä määrin rakennuksen paloturvallisuuden osoittamiseen. Monissa teollisuusmaissa on uudistettu säädöksiä niin, että aiemmin ainoana mahdollisuutena ollut tuoteluokitukseen perustuva rakennuksen paloturvallisuuden osoittaminen on nyt vain yksi mahdollisuus muiden menetelmien joukossa. Suomen rakentamismääräyskokoelman rakennusten paloturvallisuutta koskevissa säädöksissä tämä lähestymistapa otettiin käyttöön v. 1997. Paloturvallisuussuunnittelusta onkin tullut yleistä käytäntöä suunniteltaessa ostoskeskuksia, kokoontumishuoneistoja ja muita suuria rakennuksia. Julkaisussa kuvataan systemaattinen menettelytapa suunniteltaessa rakennusten paloturvallisuus laskentamenetelmien käyttöön perustuvaa ns. toiminnallista lähestymistapaa käyttäen. Julkaisussa selostetaan, mitä ns. toiminnallisilla palosäädöksillä tarkoitetaan ja miten niissä vaatimuksia esitetään. Suomen oloihin sopeutettu kansainvälisten mallien mukainen paloturvallisuussuunnittelun prosessi suunnittelutehtävän asettamisesta sen dokumentointiin kuvataan yksityiskohtaisesti. Paloturvallisuussuunnittelun menetelmistä tehdään yhteenveto ja eri menetelmien soveltuvuutta erilaisiin suunnittelutilanteisiin arvioidaan. Varsinaisia suunnittelu-menetelmiä julkaisussa ei anneta.			
Avainsanat fire safety, buildings, fire prevention, numerical analysis, simulation, calculations, design, regulations, building code, construction products, fire propagation			
Toimintayksikkö VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5662-3 (nid.) 951-38-5663-1 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinumero ROSU00112	
Julkaisuaika Toukokuu 2000	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 63 s. + liitt.15 s.	Hinta B
Projektin nimi TOPA		Toimeksiantaja(t) Palotutkimusraati ry, Palosuojelurahasto, ympäristöministeriö (YM), Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto, Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Suomen Puututkimus Oy, Teräsrakenneyhdistys TRY ry, Suomen Muoviteollisuusliitto ry, VTT Rakennustekniikka	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 9 4561
Fax +358 9 456 4374

Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2028
VTT-TIED-2028

Author(s) Kokkila, Matti			
Title Fire safety design of buildings Performance-based approach			
Abstract <p>The fire safety design of buildings has been in transition during the 1990's. Numerical simulation of fire and other calculation methods have become a common practice. Many industrial countries have introduced regulations, which adopt the performance-based fire safety design based on application of calculation methods on an equal level to the approach based on fire classification of construction products. In Finnish fire regulations this approach was introduced in 1997. Fire safety design based on "assumed fire development" is now a common practice when designing large shopping centres, assembly buildings, etc.</p> <p>This publication describes a systematic approach for applying calculation methods in fire safety design of buildings. A typical structure and contents of performance-based fire safety regulations is reviewed. Based on international models, a design process proposed to be used in Finland is described. Interpretations are made to take into account the Finnish legal and professional infrastructure. A summary of available calculation tools is presented, but no specific design methods are given.</p>			
Keywords fire safety, buildings, fire prevention, numerical analysis, simulation, calculations, design, regulations, building code, construction products, fire propagation			
Activity unit VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology, Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5662-3 (nid.) 951-38-5663-1 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number R0SU00112	
Date May 2000	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 63 p. + app. 15 p.	Price B
Name of project TOPA		Commissioned by Palotutkimusraati ry, Palosuojelurahasto, Ministry of the Environment (YM), Federation of Finnish Insurance Companies, Finnish Association of Construction Products Industries (RTT), Finnish Wood Research Ltd., Finnish Constructional Steelwork Association (FCSA), Finnish Plastic Industries Federation, VTT Building Technology	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	