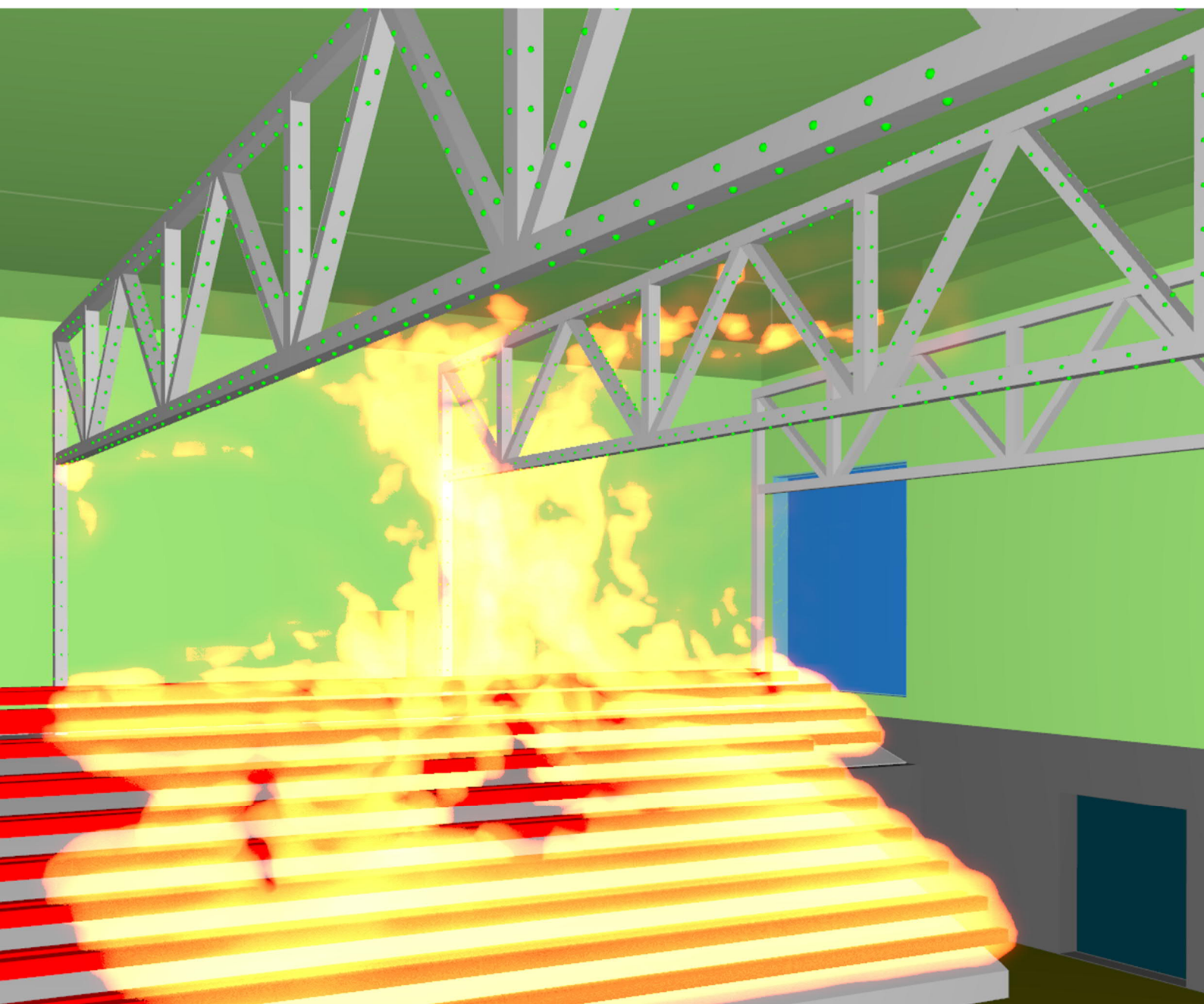


Mikko Malaska, Mika Alanen & Mikko Salminen

# P0-PALOLUOKAN RAKENNUSTEN PALOTEKNINEN SUUNNITTELU



Tampereen yliopisto  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Metalli- ja kevytrakenteiden tutkimusryhmä

Palosuojelurahaston, Talonrakennusteollisuus ry:n ja Tampereen yliopiston rahoittaman tutkimus- ja kehittämishankkeen ”P0-paloluokan rakennusten paloteknisen suunnittelun yhtenäistäminen” loppuraportti. (SMDno-2019-2397)

ISBN 978-952-03-2342-4 (verkkojulkaisu)

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2342-4>

Kannen kuva: Mikko Salminen

Tampere 2022

# ESIPUHE

Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten paloturvallisuudesta (YMa 848/2017 3 §) mukaan paloturvallisuudelle asetettujen olennaisten teknisten vaatimusten täytyminen voidaan osoittaa joko suunnittelemalla ja rakentamalla rakennus noudattaen asetuksessa esitettyjä luokkia ja lukuarvoja, tai vaihtoehtoisesti suunnittelemalla ja rakentamalla rakennus perustuen oletettuun palonkehitykseen. Rakennus, joka suunnitellaan paloturvallisuuden kannalta oleellisilta osin tai kokonaan käyttäen oletettuun palonkehitykseen perustuvaa menettelyä, kuuluu asetuksen mukaan paloluokkaan P0. Vaikka paloluokan P0 rakennusten suunnitteluun ja toteutukseen on olemassa kansainvälistä ja kansallista ohjeistusta, on hankkeiden käytännön suunnittelussa, toteutuksessa, hyväksyttämässä sekä käytön aikaisissa toiminnoissa ilmennyt edelleen haasteita ja kehitystarpeita.

Vuonna 2020 käynnistettiin Palosuojelurahaston, Talonrakennusteollisuus ry:n ja Tampereen yliopiston rahoittama tutkimushanke ”P0-paloluokan rakennusten paloteknisen suunnittelun yhtenäistäminen”, jonka tavoitteena oli selvittää Suomessa sovellettavia oletettuun palonkehitykseen perustuvia suunnittelumenetelmiä ja -käytäntöjä, tunnistaa ohjeistukseen ja suunnittelutoimintaan liittyviä keskeisiä haasteita ja tietotarpeita sekä koota yhteen olemassa olevaan kansainväliseen ja kansalliseen kirjallisuuteen perustuen suunnittelua edistävä ja toimialan käytäntöjä yhtenäistävä ohje. Ohjeistuksen tavoitteena oli selkeyttää ja tehostaa rakennushankkeen eri osapuolten toimintaa sekä tukea ja helpottaa suunnittelu- ja toteutusprosessiin liittyvää viranomaistyötä. Pyrkimyksenä oli kuvata oletettuun palonkehitykseen perustuvan suunnittelun prosessi ja perusteet rakennushankkeiden kaikille osapuolille selkeässä muodossa niin, että materiaali tukisi eri osapuolten välistä keskustelua sekä muodostaisi pohjan suunnitteluun liittyvien käytänteiden, menetelmien ja suunnitteluperusteiden yhdenmukaistamiselle. Tämä raportti sisältää tutkimushankkeessa kootun ohjeistuksen.

Hankkeen tavoitteena oli yhtenäistää kansallisia suunnittelukäytäntöjä. Ohjeeseen valittu keskeinen sisältö perustuu suomalaiseseen lähdekirjallisuuteen sekä hankkeen yhteydessä toteutettujen asiantuntijahaastatteluiden ja kehitystyöpajan avulla saatuun näemykseen eri toimijoiden soveltamista menetelmistä ja esille tuomista tietotarpeista. Sisältöä täydennettiin kansainvälisistä määräyksistä, standardeista ja ohjeista kerätyllä soveltuvaksi katsotulla aineistolla. Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli myös selvittää eri menettelyiden ja oletusten tieteellisiä perusteita, mitä ei aineiston laajuuden sekä puutteellisen tausta-aineiston vuoksi ollut mahdollista kaikilta osin arvioida. Tutkimuksessa pyrittiin kuitenkin käyttämään ainoastaan luotettavaksi katsottuja lähteitä.

Oletettuun palonkehitykseen perustuvassa suunnittelussa on mahdollista käyttää erilaisia menetelmiä, kun vain niiden ja menetelmiin liittyvien lähtöoletusten ja hyväksymiskriteereiden kelpoisuus on osoitettu. Tämän ohjeen tarkoituksena ei ole rajoittaa suunnittelua tai käytettyjä menetelmiä, vaan koota yhteen keskeistä tietoa P0-paloluokan rakennusten suunnittelusta, oletettuun palonkehitykseen perustuvan suunnittelun soveltamisesta sekä yleisimmin käytetyistä suunnittelumenetelmistä. Luotettavaksi katsotuissa lähteissä on esitetty myös keskenään ristiriitaisia tarkastelutapoja ja ratkaisuja. Näiden menetelmien tieteellisten perusteiden selvittäminen ja arviointi ei tämän hankkeen puitteissa ollut mahdollista ja, keskustelu menetelmien mahdollisesta rajaamisesta kuuluu ohjeistuksen jatkokehitykseen.

Hankkeen yhteydessä toteutetut asiantuntijahaastattelut, työpaja sekä lausuntokierros autoivat muodostamaan mielikuvaa Suomessa sovellettavista käytänteistä ja menetelmistä. Eri sidosryhmiltä ja asiantuntijoilta saatu kommentointi ja palaute on pyritty ottamaan huomioon ohjeen sisällössä mahdollisimman kattavasti. Tutkimuksen aikana kävi myös selvästi ilmi, että sovelletuissa käytänteissä on eroavaisuuksia ja menetelmiin liittyy myös näkemuseroja. Yhteisesti hyväksytyn ohjeistuksen muodostaminen edellyttää siis vielä alan asiantuntijoiden ja eri sidosryhmien välistä keskustelua sekä ohjeistuksen jatkokehitystä. Kansallisesti yhtenäisten käytäntöjen ja yleisten hyvän käytännön mukaisten toimintatapojen toteutumista suunnittelussa, suunnitelmien arvioinnissa sekä hyväksyttämässä voidaan edistää myös koulutuksen avulla. Hankkeessa tuotettu ohje tukee toivottavasti kaikkien näiden jatkotoimenpiteiden suunnittelua ja toteutusta.

Tutkimuksen toteutti Tampereen yliopiston Metall- ja kevytrakenteiden tutkimusryhmä. Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Jorma Jantunen (Ympäristöministeriö), Jani Kempainen (Talonrakennusteollisuus ry.), Juha-Pekka Laaksonen (varah., L2 Paloturvallisuus Oy), Esko Mikkola (KK-Palokonsultti Oy), Kati Tillander (Keski-Uudenmaan pelastuslaitos) ja Linus Östman (Pohjanmaan pelastuslaitos). Hankkeen yhteydessä toteutettiin asiantuntijahaastatteluihin ja työpajaan osallistui 34 henkilöä 10 yrityksestä ja tutkimuslaitoksesta, rakennusteollisuudesta sekä neljästä rakennusvalvonnan ja kahdeksasta pelastuslaitoksen yksiköstä. Lausuntopyyntöön vastasi seitsemän eri tahoa. Kiihtämme kaikkia hankkeeseen osallistuneita henkilöitä ja tahoja heidän asiantuntevasta ohjauksesta ja kommentoinnista.

**Mikko Malaska**

# SISÄLLYSLUETTELO

1.TOIMINNALLINEN PALOTURVALLISUUSUUNNITTELU .....	1
1.1 Suunnittelun lähtökohdat .....	1
1.2 Suunnittelulle asetetut vaatimukset ja tavoitteet .....	4
1.2.1 Paloturvallisuusvaatimukset .....	4
1.2.2 Turvallisuustavoitteet .....	5
1.2.3 Hyväksymiskriteerit .....	5
1.2.4 Siedettävissä olevan riskin taso .....	7
1.3 Suunnittelun toteutus.....	10
1.3.1 Suunnittelun vaiheet .....	10
1.3.2 Suunnittelijan pätevyys .....	11
1.3.3 Ulkopuolinen tarkastus.....	12
1.4 Suunnittelun dokumentointi .....	13
1.4.1 Esitietodokumentti.....	13
1.4.2 Rakennuslupa-asiakirjat.....	14
2.ARVIINTIMENETELMÄT .....	18
2.1 Kvalitatiivinen, laadullinen tarkastelu .....	19
2.2 Kvantitatiivinen, määrällinen tarkastelu.....	19
2.3 Absoluuttisiin arvoihin perustuva tarkastelu.....	20
2.4 Vertaileva tarkastelu.....	20
2.5 Deterministinen tarkastelu .....	20
2.6 Todennäköisyyspohjainen tarkastelu.....	21
2.6.1 Kvalitatiivinen riskiarviointi .....	22
2.6.2 Kvantitatiivinen riskiarviointi .....	23
2.7 Epävarmuuksien hallinta ja herkkyystarkastelut .....	27
3.PALOSKENAARIOT .....	29
3.1 Uhkakuvat ja paloskenaariot .....	29
3.2 Mitoituspaloskenaariot.....	32
4.MITOITUSPALOT .....	35
4.1 Mitoituspalokäyrän mallintaminen.....	36
4.2 Sammutusjärjestelmän vaikutus palotehoon.....	37
4.3 Automaattisen sammutuslaitteiston aktivoituminen.....	40
4.4 Automaattisen sammutuslaitteiston luotettavuus .....	40
4.4.1 Systemipohjainen luotettavuusanalyysi.....	41
4.4.2 Komponenttipohjainen luotettavuusanalyysi.....	43
4.4.3 Ylläpidon vaikutus sprinklerilaitteiston toimintavarmuuteen .....	46

4.5 Pelastuslaitoksen sammutustoiminnan vaikutus.....	46
4.6 Paikallinen palo .....	47
5.VAATIMUSTEN TÄYTTÄMISEN OSOITTAMINEN .....	49
5.1 Rakenteiden kantavuus.....	49
5.1.1 Palotilan ja rakenteen lämpötilat .....	51
5.1.2 Kantavien rakenteiden palomitoitus.....	52
5.2 Palon rajoittaminen palo-osastoon .....	54
5.3 Palon kehittymisen rajoittaminen .....	54
5.4 Palon leviämisen estäminen naapurirakennukseen .....	55
5.5 Poistuminen palon sattuessa.....	56
5.5.1 Poistumistarkasteluihin liittyviä paloskenaarioita .....	58
5.5.2 Henkilöturvallisuuden kriittiset olosuhteet.....	60
5.5.3 Poistumistarkastelujen lähtötietoja .....	61
LÄHTEET .....	63

# 1. TOIMINNALLINEN PALOTURVALLISUUSSUUNNITTELU

## 1.1 Suunnittelun lähtökohdat

Oletettuun palonkehitykseen ja toiminnallisuuteen perustuva palotekninen suunnittelu on otettu käyttöön ympäri maailmaa keinona parantaa ja kehittää rakennusten paloturvallisuutta. Tavoitetta on tuettu lisäämällä lainsäädäntöön mahdollisuus soveltaa toiminnallisuuteen perustuvia toimintamalleja ja menetelmiä. Toiminnallisuuteen ja ratkaisujen suoritustasoon perustuvassa toteutusmallissa lainsäädäntö sallii turvallisuustavoitteiden ja toiminnallisten vaatimusten toteuttamisen monin eri tavoin edellyttäen kuitenkin, että yhteiskunnan asettaman turvallisuustason toteutuminen voidaan osoittaa. Toiminnallisuuteen perustuvien vaatimusten etu on joustavuus, joka mahdollistaa suunnittelun, teknologian ja järjestelmien kehittymisen, sekä muodostaa ympäristön, joka tukee uusien innovaatioiden syntymistä. Toiminnallisella suunnittelulla tuotettu kuva kohteen paloturvallisuudesta on usein realistisempi kuin luokkiin ja arvoihin perustuvalla taulukkomitoituksella voidaan saavuttaa. Kohteen paloturvallisuuden parempi ymmärtäminen mahdollistaa myös resurssien kohdistamisen oikeisiin asioihin ja toimenpiteisiin. Toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu perustuu seuraaville lähtökohdille:

- Sovitut paloturvallisuuteen liittyvät tavoitteet ja turvallisuustasot;
- Hankekohtainen tarkastelu, joka ottaa huomioon rakennuksen ominaisuudet, käyttäjien edellytykset ja tarpeet sekä erilaiset mahdolliset tulipalotilanteet;
- Paloskenaarioiden deterministinen ja/tai todennäköisyyspohjainen analyysi;
- Suunnitteluratkaisujen arviointi paloturvallisuuteen liittyvien tavoitteiden suhteen käyttäen hyväksytyjä suunnittelutyökaluja, menetelmiä sekä hyväksymiskriteereitä.

Suomessa paloturvallisuussuunnittelua ohjaavat lainsäädännöllisesti maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL 132/1999), pelastuslaki (379/2011) sekä laki pelastuslain muuttamisesta (1353/2018), jotka edellyttävät, että rakennus on käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla paloturvallinen. Lakien tavoitteena on henkilöturvallisuuden varmistaminen, omaisuuden suojaaminen, ympäristövahinkojen estäminen sekä kulttuurihistoriallisten arvojen ja muiden yhteiskunnan tärkeiden arvojen turvaaminen. Pelastuslaki (379/2011 14 §) velvoittaa lisäksi omatoimiseen varautumiseen, mihin kuuluu tulipalojen syttymisen ja muiden vaaratilanteiden synty-

misen ehkäisy, varautuminen kohteessa olevien henkilöiden, omaisuuden ja ympäristön suojaamiseen vaaratilanteissa sekä ryhtyminen mahdollisiin sammutustoimenpiteisiin palon niin vaatiessa. Ympäristöministeriön asetukset rakennusten paloturvallisuudesta (YMa 848/2017; YMa 927/2020) antavat Maankäyttö- ja rakennuslakia tarkentavia säännöksiä.

Ympäristöministeriön asetusten (YMa 848/2017; YMa 927/2020) mukaan yhteiskunnan asettaman rakenteellisen paloturvallisuuden tason toteutuminen voidaan osoittaa kahdella vaihtoehtoisella tavalla tai soveltamalla näitä molempia menetelmiä rinnan. Vaatimusten katsotaan täyttyvän, jos rakennus suunnitellaan ja rakennetaan noudattaen asetuksessa esitettyjen luokkien ja lukuarvojen mukaisia vähimmäisvaatimuksia. Tämä taulukkomitoitustyypinen suunnittelu ei ota huomioon kohdekohtaisia erityispiirteitä eikä paloturvallisuusvaatimusten täyttymistä tarvitse erikseen osoittaa. Paloteknisen suunnittelun lähtötiedot saadaan suoraan asetuksesta perustuen rakennuksen ominaisuuksiin (RIL 195-1-2018, s. 22). Vaihtoehtoisesti vaatimusten katsotaan täyttyvän, jos rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Oletettuun palonkehitykseen perustuvassa, toiminnallisessa tarkastelutavassa, vaatimusten täytyminen ja vaaditun turvallisuustason saavuttaminen todennetaan tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö sekä eri palontorjuntalaitteiden vaikutus. Suunnittelussa tulee arvioida käytön aikaisia mahdollisia muutostarpeita. Käytön aikaisten muutoslupaprosessien yhteydessä joudutaan arvioimaan, ovatko toiminnallisen mitoituksen lähtöarvot ja tulokset edelleen valideja, vai täytyykö niitä muutostöiden suunnittelun yhteydessä päivittää. Oletettuun palonkehitykseen perustuvilla menetelmillä voidaan arvioida tuotteen, osajärjestelmän tai koko rakennuksen toimintaa tietyssä uhkatilanteessa. Tarkastelu voi koskea yhtä tai useampaa tai kaikkia paloturvallisuuden olennaisia vaatimuksia. Silloin, kun luokkiin ja lukuarvoihin ja oletettuun palonkehitykseen perustuvia menetelmiä käytetään rinnan, on huolehdittava siitä, että myös sovellusalueiden muodostama kokonaisuus täyttää turvallisuudelle asetetut vaatimukset (Kokkala 2000; RIL 221-2003, s. 35).

Oletettuun palonkehitykseen perustuvalla suunnittelulla voidaan varmistua siitä, että rakennus on paloturvallinen, vaikka sen suunnittelu perustuen Ympäristöministeriön asetusten (YMa 848/2017; YMa 927/2020) määrittelemiin luokkiin ja lukuarvoihin ei jostain syystä ole ollut mahdollista tai tarkoituksenmukaista (RIL 195-1-2018, s. 22). Erityisesti suurissa, korkeissa ja monimutkaisissa rakennuksissa ja vaikeasti rajattavien ongelmien tarkastelussa luokkiin ja lukuarvoihin perustuvia määräyksiä voi olla vaikea soveltaa eikä suunnittelu välttämättä johda käyttötarkoitukseen optimaalisiin ja taloudellisesti järkeviin ratkaisuihin. Toiminnallinen tarkastelutapa tarjoaa myös helpomman tavan vertailla erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja keskenään. Oletettuun palonkehitykseen perustuvaa suunnittelua sovelletaan tyypillisesti tapauksissa, joissa (RIL 221-2003, kohta A.1.1; RIL 195-1-2018, s. 22):



- Suunniteltu toiminta edellyttää poikkeamista Ympäristöministeriön asetuksissa (YMa 848/2017; YMa 927/2020) annetuista paloluokista ja lukuarvoista;
- Asetuksissa (YMa 848/2017; YMa 927/2020) ei ole esitetty suunniteltuun toimintaan, rakenne- tai tilaratkaisuun soveltuvia hyväksymiskriteereitä;
- Kiinteistön omistaja, käyttäjä tai joku muu taho haluaa asetuksia (YMa 848/2017; YMa 927/2020) paremman kokonaisturvallisuustason tai pienentää paloriskiä tietyiltä osialueilta;
- Halutaan arvioida valitun suunnitteluratkaisun paloturvallisuusriskin tasoa;
- Viranomaisen edellyttää kohteen suunnittelua oletettuun palonkehitykseen perustuen esim. suuren henkilöturvallisuuteen liittyvän riskin takia;
- Henkilöturvallisuus perustuu automaattiseen savunhallintaan;
- Rakenteiden palonkestävyys osoitetaan taulukkomitoitukseen nähden vaihtoehtoisella tavalla.

Kun rakennus suunnitellaan kokonaan tai paloturvallisuuden kannalta merkittävältä osin oletettuun palonkehitykseen perustuen, se kuuluu paloluokkaan P0 (YMa 848/2017, 4 §). Määritelmää "paloturvallisuuden kannalta merkittävältä osin" voidaan arvioida taulukkomitoitusten helpotusten ja vähäisen poikkeamisen perusteella (MRL 132/1999, 175 §; YMa 848/2017, 4 §; RIL 195-1-2018, s. 11&27). Alla on lueteltu esimerkkejä suunnitteluratkaisuista, joiden tuottaminen on edellyttänyt oletettuun palonkehitykseen perustuvaa suunnittelua:

- Rakenteiden kantavuustarkastelut esim. suurissa kokoontumistiloissa;
- Osastokoon merkittävä ylitys (vaikuttaa mm. kantavuus-, poistumis- sekä pelastustoimen toimintaedellytyksiin liittyviin tarkasteluihin);
- Asetuksen raja-arvoja korkeampi rakennus;
- Rakennusten välillä asetuksen raja-arvoja pienempi etäisyys;
- Asetuksen pintaluokkavaatimuksesta poikkeava ratkaisu;
- Käyttötarkoituusrajoitusten merkittävät ylitykset;
- Puuverhoilun käyttö julkisivussa;
- Savunpoiston suunnittelu;
- Tilat, joissa paikallisen palon mallien käyttö on perusteltua (pieni palokuorma, sammuuslaitteiston rajoittama palo).

## 1.2 Suunnittelulle asetetut vaatimukset ja tavoitteet

### 1.2.1 Paloturvallisuusvaatimukset

Rakentamiselle asetetut paloturvallisuusvaatimukset voivat olla yhteiskunnan tai hankkeen intressitahojen määrittelemiä (SFPE 2007, s. 35).

Maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL 132/1999, 117 b §) määrittelee rakentamiselle asetetut yleiset vaatimukset, aineelliset tekniset vaatimukset, rakennuslupamenettelyn sekä rakennusvalvontaviranomaisten roolin. Laki edellyttää, että rakennushankkeeseen ryhtyvä huolehtii siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla paloturvalliseksi. Pelastuslaki (379/2011, 9 §) edellyttää lisäksi, että rakennuksen omistajan ja haltijan sekä toiminnanharjoittajan on osaltaan huolehdittava siitä, että rakennus ja sen ympäristö pidetään sellaisessa kunnossa, että paloturvallisuus toteutuu myös rakennuksen käytön aikana. Laeissa esitetyt yhteiskunnalliset paloturvallisuusvaatimukset sisältävät:

- Palon syttymisen vaaraa on rajoitettava;
- Rakennuksen kantavien rakenteiden on oltava sellaiset, että ne palon sattuessa kestävät vähimmäisajan ottaen huomioon rakennuksen sortuminen, poistumisen turvaaminen, pelastustoiminta ja palon hallintaan saaminen. Tällä pyritään varmistamaan ihmisten turvallinen poistuminen rakennuksesta sekä pelastus- ja sammutustoiminnan turvallinen toteutus tietyn ajan palon alkamisesta. Vaatimuksilla pyritään myös rajoittamaan palon aiheuttamat mahdolliset vahingot hyväksyttävälle tasolle;
- Palon ja savun kehittymistä ja leviämistä rakennuksessa sekä palon leviämistä lähitöllä oleviin rakennuksiin on pystyttävä rajoittamaan;
- Rakennuksen rakentamisessa on käytettävä paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennustuotteita ja teknisiä laitteistoja;
- Rakennuksessa olevat ihmiset voivat palon sattuessa pelastautua tai heidät voidaan pelastaa;
- Rakentamisessa on otettava huomioon pelastushenkilöstön turvallisuus.

Paloturvallisuusvaatimuksia voivat esittää myös muut sidosryhmät ja intressitahot kuten esimerkiksi viranomaiset, tilaaja, rakennuksen käyttäjä, vakuutusyhtiöt ja rahoittajat. Nämä voivat olla esimerkiksi omaisuuden suojaamiseen, tuotantoprosessin toimintojen jatkumiseen sekä yrityskuvaan liittyviä määräyksiä korkeatasoisempia vaateita. Rakennuksen omistajan, haltijan ja käyttäjän asettamista yleisistä toiminnallisista ja taloudellisista paloturvallisuuteen liittyvistä ja turvallisuuteen vaikuttavista tavoitteista tulisi keskustella ja sopia hankesuunnitteluvaiheessa. Keskusteluissa ja vaatimusten määrittelyssä tulee ottaa huomioon myös projektin

budjetti sekä aikataulu. (IFEG 2005, s. 1.2-7-1.2-8; SFPE 2007, s. 35-39; Hurley 2016, s. 1237-1239; Mikkola 2017, s. 4)

Paloturvallisuusvaatimukset voidaan jakaa neljään arviointiperusteiltaan ja turvallisuusratkaisujen hyväksymisperusteiltaan toisistaan poikkeavaan kategoriaan. Henkilöturvallisuuden alueella vaatimukset kiinnittävät huomiota ihmisten terveyden ja hengen turvaamiseen. Omaisuuden suojaamisella pyritään rajoittamaan kiinteistön, sen ympärillä olevien rakennusten tai kulttuuriympäristön vaurioitumista. Vaatimuksilla voidaan pyrkiä myös varmistamaan toiminnan jatkuvuus ja rajoittamaan tuotannon keskeytyksiä ja niistä aiheutuvia menetyksiä. Vaatimukset voivat kohdistua myös ympäristön suojeluun pyrkien luonnonolosuhteiden ja kulttuuriympäristön säilyttämiseen sekä yhteiskunnan tärkeiden toimintojen turvaamiseen ja tietoliikenteen, liikenneyhteyksien sekä hallintoelinten toiminnan varmistamiseen. (SFPE 2006, s. 17-21; SFPE 2007, s. 36-37; RIL 221-2003, s. 12)

### **1.2.2 Turvallisuustavoitteet**

Paloturvallisuustavoite on turvallisuusvaatimuksen täyttävä taso (NFPA 101 2012). Tavoitteet perustuvat yhteiskunnan ja muiden sidosryhmien asettamiin turvallisuusvaatimuksiin sekä tilaajan, yrityksen tai muun rakennuksen haltijan asettamaan yleiseen turvallisuustasoon. Suunnittelija muuntaa asetetut vaatimukset turvallisuustavoitteiksi sekä niitä vastaaviksi hyväksymiskriteereiksi. Tavoitteet ovat yksityiskohtaisempia kuin vaatimukset ja mitattavissa. Turvallisuuteen liittyvät tavoitteet on esitetty usein laadullisin keinoin ja suunnittelija muuttaa ne suunnitteluun soveltuvaan muotoon hyväksyttäväksi tappioiksi tai sallituiksi riskitasoiksi. Samoin kuin turvallisuusvaatimukset, turvallisuustavoitteet on hyvä sopia projektin alkuvaiheessa yhdessä tilaajan, toimivaltaisen viranomaisen sekä muiden asianosaisten kanssa. (SFPE 2007, s. 41-43, 159-162; Kokkala 2000, s. 19) Taulukoissa 7-9 on esitetty erilaisiin uhkakuviin liittyviä turvallisuustavoitteita.

### **1.2.3 Hyväksymiskriteerit**

Hyväksymiskriteerit ovat paloturvallisuustavoitteiden kvantitatiivisia kuvauksia ja ne toimivat vahinkojen mittarina määrittäen hyväksyttävät fysikaaliset raja-arvot erityyppisille vahingoille. (SFPE 2007, s. 45; Hurley 2016, s. 1239-1240) Hyväksymiskriteerit on tarpeen sopia viranomaisten kanssa samanaikaisesti turvallisuustavoitteiden kanssa.

Paloturvallisuustavoitteille asetetut hyväksymiskriteerit voivat olla esimerkiksi henkilö- ja materiaalivahingoille asetettuja hyväksyttäviä fysikaalisia raja-arvoja, arvovälejä tai todennäköisyysjakaumien fraktiileja. Kriteerit tulee valita perustellusti luotettavista lähteistä ja niiden yhteydessä tulee käydä ilmi myös mittaustapa. Kriteeri voidaan määritellä myös siten, että

suunnitteluratkaisulta edellytetään vähintään samaa turvallisuustasoa kuin vastaavassa vertailurakennuksessa, jonka ratkaisut perustuvat asetuksissa (YMa 848/2017; YMa 927/2020) esitettyihin luokkiin ja arvoihin. Riskianalyttisten hyväksymiskriteereiden avulla voidaan tarkastella epätoivottavien tapahtumien todennäköisyyksien lisäksi tapahtumien aiheuttamien seurausten vakavuutta. (SFPE 2006, s. 22-23; SFPE 2007, s. 45-49, 163-164; Hurley 2016, s. 1239-1240, 1256; INSTA 950 2014, s. 14; INSTA 951 2019, s. 14-20)

Vaihtoehtoisten suunnitteluratkaisujen kelpoisuuden arviointi voidaan toteuttaa esimerkiksi deterministisesti tai riskianalyttisesti. Mikkolan (2017, s. 7) mukaan deterministiset ja riskianalyttiset hyväksymiskriteerit voidaan jakaa edelleen kahteen luokkaan sen perusteella, onko kyseessä absoluuttinen vai vertaileva kriteeri. Taulukossa 1 on esitetty esimerkkejä näiden neljän arviointikriteerin määrittelyistä.

**Taulukko 1** Esimerkki hyväksymiskriteereiden määrittelystä kriteerin luonteen ja tarkastelutavan perusteella (Mikkola 2017, s. 7; Nystedt 2011, s. 30).

		Kriteerin luonne	
		Absoluuttinen	Vertaileva
Analyysin tarkastelutapa	Deterministinen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pienin sallittu marginaali poistumisajan ja tilojen savullatäytymisajan välillä</li> <li>Maksimiarvo savupatjan pak-suudelle, ettei savu laskeudu poistumisteille</li> <li>Korkein kantavalle rakenteelle sallittu lämpötila</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakenteen lämpötila alhaisempi kuin luokkiin ja lukuarvoihin perustuvan vertailuratkaisun</li> </ul>
	Riskiperusteinen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poistumisen vaarantumisen todennäköisyys</li> <li>Korkein tietyn uhrimäärän toistumistaajuus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riskitason vertaileminen</li> </ul>

Deterministisiä kriteereitä ovat esimerkiksi: tarvittavan ja käytettävissä olevan poistumisajan välinen marginaali, rakenteen korkein lämpötila sekä rakenteiden odotettavissa oleva sortumisaika. (Mikkola 2017, s. 7; Nystedt 2011, s. 31) Deterministisessä analyysissä ratkaisua arvioidaan vertaamalla suunnittelun tuloksia absoluuttiseen, yksittäiseen, numeroarvoon tai luokkiin ja lukuarvoihin perustuvan taulukkomitoituksen mukaiseen referenssirakennukseen. Suunnittelu- ja mitoitustarkasteluihin liittyvien herkkyysanalyysien tulosten on myös täytettävä hyväksymiskriteerit. Determinististä analyysiä käytettäessä haasteeksi voi muodostua hyväksyttävän turvamarginaalin arvioiminen vaaralliseksi luokiteltuun tilanteeseen (Hietaniemi 2007c, s.51). Suunnittelijan on arvioitava ja perusteltava hyväksyttävä marginaali tapauskohtaisesti ja hyväksyttävä tämä sidosryhmillä.

Aina ei ole mahdollista määritellä deterministisiä kriteereitä ja laajemmissa hankkeissa lähtötietojen ja reunaehtojen vaihtelu voi aiheuttaa huomattavaa vaihtelua analyysien tuloksissa. Tällöin hyväksymiskriteerit on parempi määritellä riskiperusteisina eli todennäköisyyspohjaisesti. Hyväksymiskriteereinä voidaan käyttää absoluuttista hyväksyttävää riskiä, jos sellainen pystytään määrittelemään, tai vertailuperiaatetta, jossa analysoidun ratkaisun tuottamia vahinkoja tai uhkia verrataan vastaavan käyttötavan rakennukseen, jonka paloturvallisuus on suunniteltu asetusten (YMa 848/2017; YMa 927/2020) mukaisia luokkia ja lukuarvoja noudattaen. (Mikkola 2017, s. 7; Nystedt 2011, s. 30)

#### 1.2.4 Siedettävissä olevan riskin taso

Toiminnallisten palosäädösten lähtökohtana on, että suunnitelman hyväksyttävyyys (siedettävyyys) perustuu vain odotettavissa olevaan turvallisuusriskiin (Kokkala 2000). Siedettävissä oleva riskitaso kuvaa yhteiskunnan sietämää korkeinta riskiä, joka tulipalo-onnettomuuksissa voidaan sallia. Moniuhriset palot ovat tyypillisesti vähemmän siedettyjä kuin palot, joissa uhrien lukumäärä rajoittuu yhteen (Hietaniemi & Rinne 2007).

Siedettävissä oleva riski voidaan määritellä esimerkiksi eurokoodin mukaisen luotettavuusindeksin  $\beta$ , asetusten (YMa 848/2017; YMa 927/2020) mukaisen luokkiin ja lukuarvoihin perustuvan vertailuratkaisun, palotilastoihin perustuvien F-N-käyrien tai ALARP riskinarviointimenetelmän avulla. Seuraavassa on esitetty lyhyt kuvaus näistä neljästä periaatteesta.

Kantavien rakenteiden suunnittelua koskeva Eurokoodi (SFS-EN 1990, opastava Liite B) määrittelee sallitun riskitason luotettavuusindeksin  $\beta$  avulla. Luotettavuusindeksi on määritelty standardoidun normaalijakauman kertymäfunktion käänteisfunktiona,  $\beta = -\Phi^{-1}(f)$ , jossa  $f$  on tarkasteltavan tilanteen esiintymistajuus. Näin ollen esiintymistajuus voidaan määrittää, kun luotettavuusindeksin arvo tiedetään. Indeksien arvon määrittämistä varten rakennukset ja rakenteet jaetaan kolmeen luotettavuuden eri tasoluokkaan (RC1, RC2 ja RC3), joiden perustana ovat vaurion otaksutut seuraukset ja rakennuskohteen riskialttius. Taulukossa 2 on esitetty eurokoodin eri luotettavuusluokille annetut rakennuksen elinkaarta ja 50 vuoden tarkastelujaksoa, vastaavat indeksin vähimmäisarvot sekä arvoja vastaavat tapahtuman esiintymistajuudet (vikaantumistodennäköisyys  $p_f$ ). Luotettavuusindeksin arvo ei ole riippuvainen rakennososan vaurioitumisen syystä ja se soveltuu suunnittelun lähtökohdaksi myös palotilanteissa (Science Technical Research Institute of Sweden 2010).

Rakenteiden hyväksyttävyyys voidaan osoittaa myös vertaamalla suunnitteluratkaisun vaurioitumistodennäköisyyttä asetusten (YMa 848/2017; YMa 927/2020) paloluokkien ja lukuarvojen mukaisen ratkaisun vaurioitumistodennäköisyyteen. Esitetty suunnitteluratkaisu on hyväksyttävä, jos sille määritetty todennäköisyys on pienempi kuin vertailurakenteelle määritetty hy-

väksyttävän riskin tasoa edustava todennäköisyys. Vertailurakenteen tulee olla mahdollisimman pitkälle suunnitteluratkaisua vastaava täyttäen kuitenkin luokkiin ja lukuarvoihin perustuvan ratkaisun vaatimukset. (INSTA 951 2019, s. 15) Kun rakenneosan hyväksyttävyyys osoitetaan vertailulla, tulee myös vaikutukset muihin rakenneseisiin ottaa huomioon. Tällainen vaikutus on esimerkiksi suojaamattomasta puupinnasta syntyvän palokuorman lisäyksen vaikutus muihin rakenneseisiin ja niiden suojauksiin. (Finnish wood research 2015, s. 35)

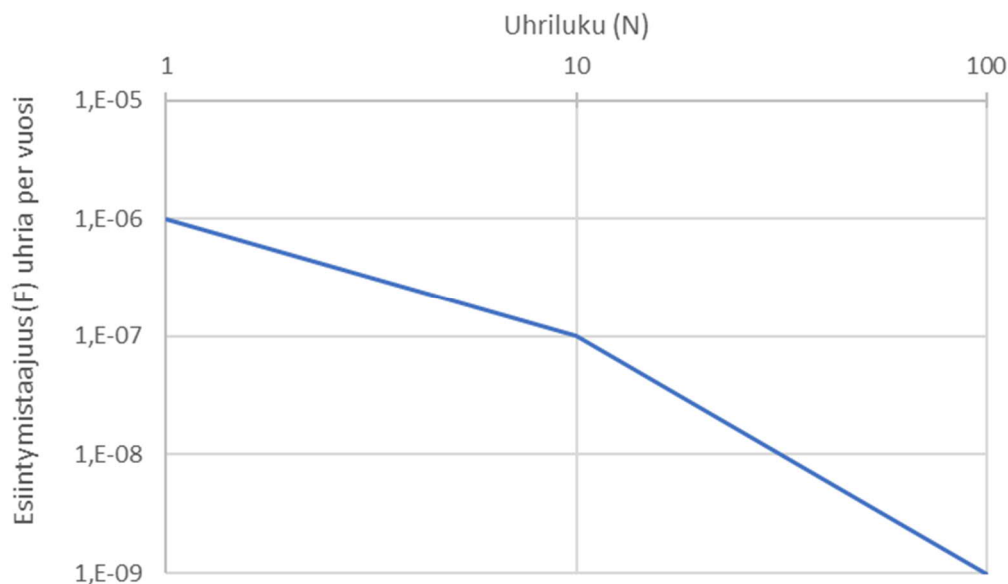
**Taulukko 2** Standardin SFS-EN 1990 mukaiset 1 ja 50 vuoden tarkastelujaksoa vastaavat luotettavuusindeksin vähimmäisarvot ja niitä vastaavat vaurioitumistodennäköisyydet.

Luotettavuusluokka	Luotettavuusindeksi $\beta$ (minimi-arvot)		Vikaantumistodennäköisyys $p_f$ (maksimi-arvot)	
	1 vuoden tark.jakso	50 vuoden tark.jakso	1 vuoden tark.jakso	50 vuoden tark.jakso
RC3	5,2	4,3	$9,96 \times 10^{-8}$	$8,54 \times 10^{-6}$
RC2	4,7	3,8	$1,30 \times 10^{-6}$	$7,23 \times 10^{-5}$
RC1	4,2	3,3	$1,33 \times 10^{-5}$	$4,83 \times 10^{-4}$

Tulipalojen henkilöriskien siedettävää tasoa voidaan arvioida palotilastoihin perustuvilla F-N-käyrillä, jotka esittävät onnettomuuksien esiintymistäajuuden riippuvuuden uhrien lukumäärästä. Käyrät on laadittu usein niin, että moniuhristen onnettomuuksien taajuus on monta kertaluokkaa pienempi kuin keskimäärin yhden tai vähemmän uhreja vaativien onnettomuuksien. Käyrät esitetään tästä syystä yleensä logaritmisella asteikolla. Esimerkiksi INSTA 951 (2019, s.16-17) kuvaa esiintymistäajuuden riippuvuutta kahdella uhrilukuun suhteutetulla suoralla, jotka kuvaavat taajuutta 1-10 uhrin ja 10-100 uhrin tapauksissa (vertaa kuva 1). Suunnitelma voidaan hyväksyä, jos kaikille palon aikana oletetuille olosuhteille ja uhkakuville määritetyt henkilöriskit asettuvat tilastollisesti tuotettujen F-N-käyrien määrittelemän siedettyä riskitasoa kuvaavan käyrän alapuolelle. Sellaisissa tapauksissa, joissa uhriluku voi olla yli 100, yhteiskunnallisen riskin sallitut kriteerit ja rajat joudutaan analysoimaan ja määrittelemään tapauskohtaisesti esimerkiksi ALARP riskinarviointimenetelmällä. (RIL 221-2003, s. 68-74; Korhonen et al. 2005; Mikkola et al. 2010b, s. 24; Mohan et al. 2021, s. 2236-2254)

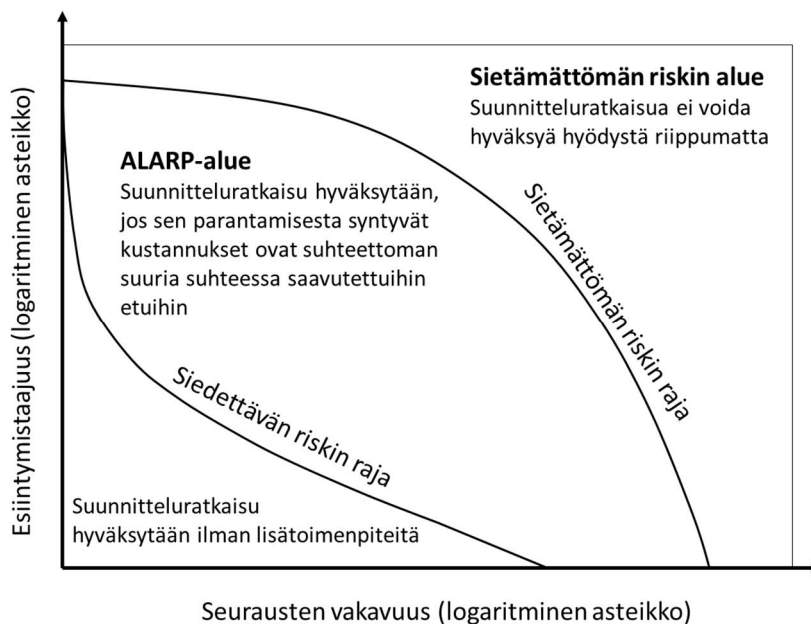
F-N-käyrä voi perustua johonkin tutkimukseen tai suunnitteluohjeeseen, tai se voidaan määrittää tietylle rakennukselle hankekohtaisesti. F-N -käyrän laskennassa voidaan käyttää esimerkiksi stokastista mallintamista ja Monte Carlo laskentatekniikkaa (Hietaniemi et al. 2005). Eri maiden palotilastojen perusteella määritetyt käyrät poikkeavat toisistaan, mikä tulee ottaa tarkasteluissa huomioon. Kuvan 1 mukainen INSTA 951 (2019) -käyrä esittää yhtä uhria koskevaksi hyväksyttäväksi esiintymistäajuudeksi  $10^{-6}$  (uhria per vuosi). RIL 221-2003 (s. 69) esittää Suomen palotilastoihin ja palokuolemien esiintymistäajuuksiin perustuvan esimerkin F-N-

käyrästä, jossa yhtä uhria vastaava hyväksyttävän taajuuden taso on  $10^{-5}$ . Luku poikkeaa selvästi INSTA 951 (2019) tasosta. Raja-arvokäyrä ja sen hyväksyttävät esiintymistaajuudet laaditaan kohdekohtaisesti suunnitteluun vaikuttavien intressitahojen yhteistyönä.



**Kuva 1** INSTA 951 (2019) määrittelemä F-N -käyrä.

ALARP-menetelmä (As Low As Reasonably Practicable) on riskinhallinnan periaate, johon liittyy myös kustannus-hyöty-analyysi. Menetelmä tarkastelee ratkaisujen hyväksyttävyyttä paloturvallisuuteen liittyvien riskien sekä kustannusten näkökulmasta. onnettomuuksien esiintymistaajuuteen ja uhrien lukumäärään perustuen kuvassa 2 esitetyt siedettävää ja sietämättömää riskitasoa kuvaavat alueet. ALARP-menetelmän periaatteiden mukaisesti suunnitteluratkaisu voidaan hyväksyä ilman lisätoimenpiteitä, jos kaikki palon aikana oletetuille olosuhteille ja uhkakuville määritetyt ratkaisuun liittyvät henkilöriskit asettuvat menetelmän määrittelemän siedettyä riskitasoa kuvaavan käyrän alapuolelle. Jos osa tai kaikki lasketuista riskitasoista asettuvat siedetyn ja sietämättömän riskitason rajakäyrien väliin, ALARP-alue, tulee vielä hakea mahdollisuuksia suunnitelman ja ratkaisun parantamiseksi. (Mohan et al. 2021; PD 7974-7 2019) Menetelmän periaatteen mukaan riskinvähentämistoimenpide toteutetaan, ellei voida osoittaa, että kustannukset ovat suhteettoman suuria suhteessa saavutettuihin etuihin (Kling 2017, s. 76).



**Kuva 2** Periaatekuva ALARP-periaatteen mukaisesta siedetyn ja sietämättömän riskitason raja-arvoista sekä niiden väliin jäävästä ALARP-alueesta (Mohan et al. 2021, s. 2242).

F-N-käyrien sekä ALARP-menetelmän soveltaminen edellyttää, että suunnittelijalla on käytävissä ajan tasalla oleva tieto, jonka pohjalta siedettävän ja sietämättömän riskin taso voidaan määrittää. Tätä tietoa ei ole välttämättä saatavilla. Menetelmän edellyttämä kustannus-hyöty-analyysi on myös nähty kiistanalaiseksi, koska ihmiselämän menetyksen hintaa on vaikea arvioida. (Korhonen et al. 2005; Kling 2017).

## 1.3 Suunnittelun toteutus

### 1.3.1 Suunnittelun vaiheet

Oletettuun palonkehitykseen ja toiminnallisuuteen perustuva suunnittelu jaetaan tyypillisesti seuraaviin päävaiheisiin (IFEG 2005, s. 1.2-3; SFPE 2007, s. 21-25; Hurley & Rosenbaum 2015; ISO 16733-1:2015, s. 3; Hurley 2016, kappale 37):

- 1) Lainsäädäntö ja hankkeen eri sidosryhmät asettavat rakennushankkeen paloturvallisuusvaatimukset, jotka suunnittelija muuntaa turvallisuustavoitteiksi sekä niitä vastaaviksi hyväksymiskriteereiksi (tai vaurioitumiskriteereiksi).
- 2) Sidosryhmät sopivat tämän jälkeen uhkakuvista ja paloskenaarioista, jotka vaihtoehtoisten suunnitteluratkaisujen arvioinnissa tulee ottaa huomioon. Jos tiedetään jo tässä vaiheessa, että suunnittelutyölle tarvitaan kolmannen osapuolen tarkastus, niin tarkastaja on hyvä valita ja ottaa mukaan prosessiin jo tässä vaiheessa. Rakennushankkeeseen ryhtyvä voi tehdä tämän omatoimisesti tai päätös tarvittavasta tarkastuksesta voi tulla rakennusvalvontaviranomaiselta. (kohta 3.1)



- 3) Mitoittavien palotapahtumien (mitoituspaloskenaarioiden) määrittäminen ja valinta. (kohta 3.2)
- 4) Mitoituspalojen määrittäminen: sijainti, palotehokäyrä, muut mitoitukseen ja palotehoon vaikuttavat parametrit. (kappale 4)
- 5) Lähtötietojen dokumentointi esitietoasiakirjaan ja asiakirjan hyväksyttäminen tilaajalla ja toimivaltaisilla viranomaisilla. Tarvittaessa kolmannen osapuolen tarkastus.
- 6) Suunnitteluratkaisujen kehittäminen.
- 7) Suunnitteluratkaisujen toimivuuden arviointi mitoituspалotapahtumiksi valituissa paloskenaarioissa vertaamalla analyysin tuloksia valittuihin suoritustasokriteereihin. Jokaisen skenaarion osalta tulee osoittaa riittävän suurella varmuudella, että suunnitteluratkaisun vahinkojen laajuus ei ylitä hyväksyttävän vahingon maksimitasoa. Kelpoisuuden arvioinnin tulee ottaa huomioon ratkaisun käyttökelpoisuus, oletuksiin ja valintoihin liittyvät epävarmuudet, tarkastelussa käytettyjen parametrien herkkyytstarkastelut, kustannusvaikutukset, elinkaaritarkastelut sekä inhimillisen tekijän vaikutukset.
- 8) Prosessin, lähtötietojen ja tulosten dokumentointi palotekniseen suunnitelmaan ja sen liitteisiin. Tyypillisesti palotekniseen suunnitelmaan kirjoitetaan tiivis kuvaus ja yhteenveto ja varsinaisen toiminnallisen mitoituksen raportit on esitetty liitteissä.
- 9) Suunnitelmat hyväksytetään sidosryhmillä. Tarvittaessa kolmannen osapuolen tarkastus.

### 1.3.2 Suunnittelijan pätevyys

Paloturvallisuussuunnittelijalla tulee olla ymmärrys tai kyky tulkita hankkeeseen liittyvien määräysten ja standardien mukainen turvallisuustaso sekä kyky osoittaa ja dokumentoida hyväksyttävän suojaustason toteutuminen. Hänellä tulee myös olla riittävästi asiaankuuluvaa tietämystä siitä, mitä lähestymistapoja tehtävien suorittamiseen voidaan käyttää ja, mitkä ovat suunnitteluun valittujen menetelmien soveltuvuusalueet ja menetelmien käyttöön liittyvät rajoitukset. (SFPE 2007, kappale 3.2.4)

Suomessa paloturvallisuussuunnittelijan pätevyysvaatimukset on esitetty maankäyttö- ja rakennuslain sekä sitä täydentävien asetusten ja Ympäristöministeriön ohjeiden periaatteiden mukaisesti alan tarvelähtöisenä pätevyytinä. Laki ei suoraan esitä paloturvallisuuden erityisalaa, mutta lain erityismenettelyä koskevassa kohdassa se mainitaan (MRL 132/1999, 150 d §). Rakennusvalvonta arvioi soveltuvuuden tehtävään suunnittelijan esittämien osoitusten perusteella.

Suunnittelijan pätevyyttä ja soveltuvuutta tehtävään voidaan perustella hänen koulutustaus-talla ja paloturvallisuussuunnitteluun liittyvän työkokemuksen sekä kokemukseen sisältynei-den referenssien avulla. Toinen Suomessa käytetty reitti on hakea pätevyyden arviointia ja pätevyyttä Rakennus-, LVI- ja kiinteistöalan henkilöpätevydet FISE Oy:ltä (fise.fi). Näitä pä-tevyyksiä ylläpidetään FISE Oy:n pätevyysrekisterissä. Paloturvallisuuden osalta pätevyys edellyttää, että hakija kykenee osoittamaan hallitsevansa palo- ja turvallisuustekniikkaa, tuli-palon dynamiikkaa, oletettuun palonkehitykseen perustuvia periaatteita ja menetelmiä, ris-kienhallintaa sekä taloteknisiä järjestelmiä haetulle pätevyysluokalle edellytetyssä laajuus-nessa.

### 1.3.3 Ulkopuolinen tarkastus

Rakennusvalvontaviranomaisella on mahdollisuus vaatia lupahakemusta käsitellessään tai rakennustyön aikana rakennushankkeeseen ryhtyvältä riippumattoman ja pätevän asiantunti-jan lausunnon siitä, täyttääkö suunniteltu ratkaisu tai rakentaminen sille säädetyt vaatimukset. Lausuntoa voidaan vaatia silloin, kun rakentamisessa käytetään sellaisia rakennuksen palo-turvallisuuteen merkittävästi vaikuttavia suunnittelu- ja toteutusmenetelmiä tai tuotteita, joiden toimivuudesta ei ole yleisesti varmuutta tai aikaisempaa kokemusta. (MRL 132/1999, 150 c §) Erityismenettelyä ja siihen liittyvää ulkopuolista tarkastusta edellytetään, kun hanke on erittäin vaativa ja siihen sisältyy erityisiä rakenteellista turvallisuutta tai paloturvallisuutta koskevia ris-kejä. Tarkastusmenettelyllä pyritään varmistamaan, että rakennushankkeeseen ryhtyvä ja suunnittelijat ovat tunnistaneet hankkeen olennaiset riskit ja ryhtyneet toimiin niiden toteutu-misen ehkäisemiseksi ja, että suunniteltu ratkaisu täyttää sille säädetyt vaatimukset. (RT 10-11222, 2016)

Tarkastusmenettelyn tarpeen, laajuuden ja kohdistuksen määrää rakennusvalvontaviran-omainen. Tässä yhteydessä määritellään, mitä osa-aluetta tarkastus koskee. Se voi koskea koko paloturvallisuussuunnittelua, vain oletettuun palonkehitykseen perustuvan paloturvalli-suussuunnittelun kokonaisuutta tai vain jonkin paloturvallisuussuunnittelun osa-aluetta. Ulko-puolinen, kolmannen osapuolen, tarkastaja hyväksytetään viranomaisella.

Kantavien rakenteiden suunnittelua koskevan standardin SFS-EN 1990 (2002) Liitteessä B esitetään suunnittelun ja toteutuksen aikaisen valvonnan kolmitasoinen järjestelmä ja ehdote-taan luotettavuusluokkiin liittyviä suunnittelun valvonta- ja tarkastustasoja. Standardin taulu-kossa B4 esitetään suositettuna vähimmäisvaatimuksena kolmannen osapuolen suorittamaa tarkastusta silloin, kun suunnittelun valvontataso on DSL3 ja tasoon liittyvä luotettavuusluokka RC3. Luotettavuusluokkaa RC3 vastaavaan seuraamusluokkaan CC3 luokitellaan rakennuk-set, joihin liittyy suuret seuraamukset hengenmenetysten tai hyvin suurten taloudellisten, so-siaalisten tai ympäristövahinkojen takia.

Hankkeen toteutuksen kannalta olisi edullista, jos ulkopuolinen tarkastaja on mukana jo hankkeen ja suunnittelun alkuvaiheessa. Tarkastusprosessia on hyvä viedä eteenpäin vuorovaihteisesti varsinaisen suunnittelun rinnalla. (RT 10-11222, 2016) Tällöin suunnittelun lähtötiedot ja -oletukset voidaan tarkastaa jo ennen suunnittelun alkua.

Tarkastajan tulee perustella kommentit ja kritiikki viittaamalla julkaistuihin teknisiin asiakirjoihin. Tarkastuksen lausunnossa tulee ottaa huomioon tarkoituksenmukaisessa laajuudessa mm. seuraavat osa-alueet: (SFPE 2020)

- Paloturvallisuusvaatimukset ja -tavoitteet;
- Lainsäädäntö, standardit ja ohjeet;
- Suunnitteluun liittyvät oletukset (hyväksymiskriteerit, paloskenaariot, materiaaliominaisuudet ja muut lähtötiedot jne.);
- Suunnitteluratkaisu ja ratkaisun perusperiaatteet;
- Suunnitteluongelman ratkaisemiseen käytettyjen mallien ja menetelmien soveltuvuus;
- Suunnittelun, mallien ja menetelmien lähtötiedot;
- Tulosten asianmukaisuus;
- Ehdotusten ja yhteenvetojen asianmukaisuus;
- Suunnittelun virheettömyys;
- Suunnitteluratkaisun toteutettavuus ja laadunhallinta.

## 1.4 Suunnittelun dokumentointi

### 1.4.1 Esitietodokumentti

Esitietodokumenttiin kootaan suunnittelua olennaisesti koskevat päätökset ja lähtötiedot sisältäen asetetut turvallisuustavoitteet, palon uhkakuvat ja sijainnit, mitoituspaloskenaariot, hyväksymiskriteerit, arviointimenetelmät sekä lähtötiedot ja merkittävät oletukset. Tehtyjen valintojen tulee olla perusteltuja ja pohjautua yleisesti hyväksytyyn kirjallisuuteen. Esitietodokumentissa annetaan lyhyt selostus, joka voi sisältää (Teräsrakenneyhdistys 2019b, s. 19):

- Tarkastettava rakennuskohde: pääkäyttötarkoitus, kerroksisuus, paloluokka ja suojaustaso;
- Käyttötarkoitukseltaan poikkeavat tilat;
- Palonkestävyysvaatimukset;
- Savunpoistojärjestelyt ja -taso, toimintavarmuusluokka ja korvausilman saanti;

- Paloilmaisin- ja automaattiset sammutusjärjestelmät;
- Mitoituspalot ja niiden sijainnit;
- Palomallit, niiden perustelut sekä niihin liittyvät mahdolliset oletukset;
- Menetelmät, normit ja hyväksymiskriteerit;
- Ohjelmistot ja niiden laskentatarkkuus;
- Pelastuslaitoksen toimintavalmiusaika.

Esitietodokumentti hyväksytetään tilaajalla ja toimivaltaisilla viranomaisilla ennen suunnitteluratkaisujen arviointia. Se voidaan myös määrätä kolmannen osapuolen tarkastettavaksi. Suunnitteluratkaisujen kehittäminen ja toimivuuden arviointi voidaan aloittaa, kun kaikki osapuolet ovat hyväksyneet esitietodokumentin. Jos tietoihin tehdään muutoksia suunnittelun edetessä, tulee ne päivittää esitietodokumenttiin ja hyväksyttää. (Teräsrakenneyhdistys 2019b, s. 19)

#### **1.4.2 Rakennuslupa-asiakirjat**

Suunnittelija tuottaa ratkaisun teknisen dokumentaation sekä käytön ja ylläpidon ohjeistuksen. Dokumentointia tarvitaan rakennuslupakäsittelyä sekä rakennustyön toteutusta varten. Rakennuksen tulevat käyttäjät tarvitsevat paloteknisen suunnittelun asiakirjoja rakennuksen käytön aikaisen paloturvallisuuden ylläpitämistä varten. Dokumentointi auttaa myös omistajaa, haltijaa ja käyttäjää ymmärtämään millaisia rajoituksia suunnitteluvaiheessa tehdyt ratkaisut asettavat rakennuksen tai tilan käytölle, tai mahdollisille myöhemmin tehtäville käytön muutoksille.

Rakennuksen paloturvallisuutta koskeva selvitys esittää toimenpiteet, joilla lopputulos on osoitettu turvallisiksi. Siinä tulee myös esittää, mitkä rakennuksen osat on suunniteltu perustuen oletettuun palonkehitykseen ja, minkä paloluokan kriteereihin arviointi perustuu (Teräsrakenneyhdistys 2020, s.4 & 6). Dokumentointiin kuuluvat myös mm. suunnittelun perusteet, käytetyt mallit ja saadut tulokset esitettynä sellaisessa muodossa, että muut projektin osapuolet, erityisesti toimivaltaiset viranomaiset, voivat niitä ymmärrettävästi tarkastella. Toiminnallisen tarkastelun dokumentointi on pakollinen osa rakennuslupamenettelyä ja rakennuslupa-asiakirjoihin liitettävistä dokumenteista tulee käydä ilmi ainakin seuraavat seikat (YMa 848/2017 perustelumuistio):

- 1) Rakennuksen ja siinä olevien paloturvallisuuslaitteiden kuvaus;
- 2) Rakennuksen käytöstä koko sen elinkaaren aikana tehdyt oletukset;
- 3) Palokunnan toimintamahdollisuuksista tehdyt oletukset;

- 4) Perusteet tarkastelun kohteiksi valituille palotilanteille;
- 5) Vikaantumistarkastelu tarvittavassa laajuudessa perusteluineen;
- 6) Rakennuksen käytön aikana edellytettävät huolto- ja kunnossapitotoimet;
- 7) Käytettyjen menetelmien kuvaus, joka sisältää laskenta- ja koemenetelmien soveltuvuuden rajoituksineen sekä lähtötiedot ja tehdyt oletukset perusteluineen;
- 8) Saadut tulokset herkkyysanalyysineen (sen selvittämiseksi, aiheuttaako pieni muutos tehdyissä oletuksissa merkittävän muutoksen paloturvallisuudessa);
- 9) Hyväksymiskriteerit ja saatujen tulosten vertailu niihin;
- 10) Sovellusalueiden yksilöinti ja rajaus, mikäli suunnittelussa ja vaatimusten täyttymisen osoittamisessa on käytetty sekä luokkiin ja lukuarvoihin että oletettuun palonkehitykseen perustuvia menetelmiä.

Suomessa rakennusala on sopinut yhteisistä käytännöistä, minkä pohjalta on tuotettu rakentamisen yhteiset Topten-käytännöt (<https://www.toptenrava.fi/asp2/default.aspx>) sekä suunnittelua ja toteutusta tukevat malliasiakirjat. Rakentamisen paloturvallisuudelle asetettavat vaatimukset on esitetty dokumentissa nro 117-04, joka sisältää kaksi lomakemallia:

- Paloturvallisuuden suunnittelun ja toteutuksen perusteet
- Paloturvallisuussuunnitelma

Asiakirjat esitetään rakennushankkeen lupahakemuksen yhteydessä. Paloturvallisuussuunnitelmaa edellytetään, kun perusteet -asiakirja on hanketta varten liian suppea. Rakennushankkeen toteuttaminen voi edellyttää myös muita paloturvallisuuteen liittyviä erityissuunnitelmia. Paloturvallisuussuunnittelussa käytetyt suunnitteluperusteet sekä paloturvallisuussuunnitelmassa rakennuksen käytölle, kunnossapidolle ja huollolle asetetut tehtävät tulee ottaa huomioon ja esittää myös kiinteistön pelastussuunnitelmassa. Kohteissa, joissa paloturvallisuussuunnittelu perustuu oletettuun palonkehitykseen, pelastussuunnitelmassa edellytetyt toimenpiteet tulee sisällyttää myös käyttö- ja huolto-ohjeeseen (MRL 132/1999, 120 c §). Ohjeet tulee tarkistaa aina, kun kohteessa tehdään muutoksia, joilla on vaikutusta paloturvallisuuteen.

Kaikissa kohteissa ei edellytetä saman tasoista dokumentointia ja dokumentoinnin laajuus on hyvä sopia suunnitteluprosessin alkuvaiheessa. Taulukkoihin 3-6 on koottu esimerkkejä Topten-asiakirjojen ohjeistusta täydentävästä ja tarkentavasta suunnitelmavaiheen paloturvallisuusasiakirjojen sisällöstä. Myös standardin INSTA 952 (2019) taulukossa B.1 on esitetty tarkastuslista rakennuksen paloturvallisuutta koskevien selvitysten sisällöstä. Suunnitteluratkaisu, käytetyt menetelmät sekä suunnittelun oletukset ja lähtötiedot tulee dokumentoida sillä tarkkuudella, että suunnittelu on toistettavissa jonkun toisen toimesta.

**Taulukko 3** Esimerkkejä suunnitelmavaiheen paloturvallisuusasiakirjojen sisällöstä – rakennuksen käyttö, uhkat, oletukset ja menetelmät (Teräsrakenneyhdistys 2008; RIL 233-2007).

Rakennuksen elinkaaren-aikaista käyttöä koskevat oletukset perusteluineen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kohteelle ja sen paloturvallisuusjärjestelyille esitettyihin perusoletuksiin liittyvät mahdolliset muutokset ja niiden seuraamukset elinkaaren aikana</li> <li>• Kohteessa oleskelevien ihmisten ominaisuudet ja oletetut toimintakyvyn rajoitukset</li> <li>• Paloturvallisuusjärjestelmien vikaantumistarkastelu tarvittavassa laajuudessa perusteluineen</li> </ul>
Perusteet valituille palotilanteille	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uhkakuvat</li> <li>• Syttymistodennäköisyydet</li> <li>• Palokuormajakaumat</li> <li>• Vikaantumistarkastelut</li> <li>• Tarkasteltavien palotilanteiden valinta ja perustelut niiden valinnalle ja kattavuudelle</li> </ul>
Palokunnan toimintamahdollisuuksista tehdyt oletukset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etäisyys kohteesta, toimintavalmiusaika</li> <li>• Sammutusreitit</li> </ul>
Hyväksymiskriteerit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyväksymiskriteerien asetus ja perustelut</li> </ul>
Käytettyjen menetelmien kuvaus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käytetyn paloriskianalyysin kuvaus ja referenssit (aiemmin julkaistut analyysit ja koetulokset sekä niiden soveltuvuus ja mahdolliset rajoitukset)</li> <li>• Laskenta- ja koemenetelmien soveltuvuusarvio rajoituksineen</li> </ul>
Sovellusalueiden yksilöinti ja rajaus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silloin, kun suunnittelussa on käytetty rinnan paloluokkiin ja lukuarvoihin sekä oletettuun palonkehitykseen perustuvia tarkasteluja</li> </ul>

**Taulukko 4** Esimerkkejä suunnitelmavaiheen paloturvallisuusasiakirjojen sisällöstä – palon mallinnus (Teräsrakenneyhdistys 2008; RIL 233-2007).

Palokuorma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tyyppi, määrä ja sijainti</li> </ul>
Rakennuksen aktiivisten palontorjunnan välineiden huomioon ottaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Palohälyttimet, alkusammutuskalusto, sprinklerit jne.</li> <li>• Palokunnan toiminta</li> </ul>
Ilmanvaihtojärjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sijainti, toiminta ja vaikutus paloon</li> </ul>
Palotilanteiden mallinnus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käytetyt mallit</li> <li>• Kaasun lämpötilat ja lämpövirtaukset ajan ja paikan funktiona (myös hiipumisvaihe)</li> <li>• Savupatjan korkeus palon eri vaiheissa</li> <li>• Laskennassa toteutunut paloteho tulosten tarkistamista varten</li> </ul>

**Taulukko 5** Esimerkkejä suunnitelmavaiheen paloturvallisuusasiakirjojen sisällöstä – rakenneanalyysi (Teräsrakenneyhdistys 2008; RIL 233-2007).

Palonkestovaatimukset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakenteiden vaadittu palonkesto aika</li> <li>• Rakenteiden käytölle asetetut reunaehdot</li> </ul>
Normijärjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitoitusmenetelmien ja -normien määrittely</li> <li>• Menetelmien soveltavuuden ja luotettavuuden osoittaminen ja perustelu</li> </ul>
Terminen analyysi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakennemateriaalien ja passiivisten palosuojausten lämmönsiirto-ominaisuudet lämpötilan funktiona</li> <li>• Lämmönjohtavuus, ominaislämpökapasiteetti, tiheys, materiaalin pinnan emissiivisyys ja pinnan lämmönsiirtokerroin (konvektio)</li> <li>• Passiivisten ja aktiivisten palontorjuntakeinojen soveltaminen</li> </ul>
Rakennemallin määrittäminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakenteiden liittyminen toisiinsa ja reunaehdot</li> <li>• Onko rakenteita tarkasteltu erillisinä rakenneosina vai osista muodostuvana suurempana kokonaisuutena</li> </ul>
Eri palotilanteiden kriittiset rakenneosat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitoituspalotilanteille määritetyt kriittiset rakenneosat</li> </ul>
Rakenteiden kuormitukset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakenteiden kuormat ja kuormitusyhdistelmät palotilanteessa</li> <li>• Pakkovoimat</li> </ul>
Analyysin tulokset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eri rakenneosien lämpötilakehitys koko palon aikana</li> <li>• Mikäli tehdään rakenneosakohtainen tarkastelu, rakenneosien käyttästeet koko palon aikana</li> <li>• Rakennuksen ja sen osien stabiliteetilaskelmat</li> <li>• Mitoitus onnettomuusrajatilassa (tulipalo)</li> <li>• Muodonmuutokset</li> <li>• Paikalliset stabiiliustarkastelut</li> <li>• Liitosten mitoitus</li> </ul>

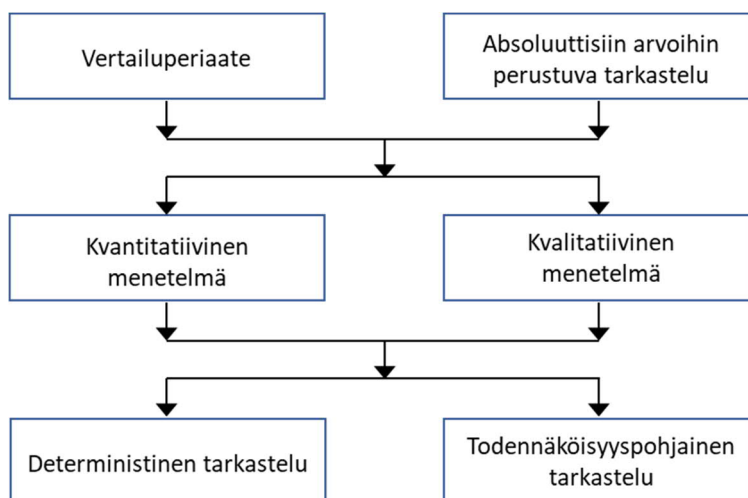
**Taulukko 6** Esimerkkejä suunnitelmavaiheen paloturvallisuusasiakirjojen sisällöstä – analyysin ja suunnittelun tulokset (Teräsrakenneyhdistys 2008; RIL 233-2007).

Analyyseiden tulokset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Palon kehittyminen ja leviäminen</li> <li>• Lämpötilat ja savun liikkeet</li> <li>• Rakenneanalyysi ja -laskelmat: mitoitus, stabiliteetti, liitokset, muodonmuutokset, koko rungon toiminta</li> <li>• Poistuminen</li> <li>• Riskianalyysit</li> <li>• Tulosten dokumentointi ja tulkinnat</li> <li>• Herkkyysanalyysien tulokset, perustelut herkkyydestä ja johtopäätökset</li> </ul>
Kohteen käytön aikana edellytettävät huolto- ja kunnossapitotoimet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paloturvallisuuslaitteet</li> <li>• Poistumisreitit</li> <li>• Osastointi</li> </ul>
Tulosten yhteenveto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tulosten vertailu hyväksymiskriteereihin</li> <li>• Johtopäätökset ja perustelut herkkyydestä</li> </ul>

## 2. ARVIOINTIMENETELMÄT

Oletettuun palonkehitykseen perustuva toiminnallinen palotekninen suunnittelu on käytännössä suurelta osin erilaisten turvallisuuden arviointimenetelmien käyttöä. Määräysten mukaan suunnittelussa tulee käyttää menetelmiä, joiden kelpoisuus on osoitettu. Menetelmiä ei ole määräyksissä kuitenkaan rajattu ja suunnitteluratkaisujen paloturvallisuuden varmentamisessa ja arvioinnissa voidaan suunnittelun eri vaiheissa soveltaa useita eri tarkastelutapoja ja menetelmiä.

Arviointi voidaan tehdä käyttäen esimerkiksi absoluuttista tai vertailevaa tarkastelutapaa. Absoluuttinen tapa on mahdollinen ainoastaan silloin, kun on olemassa tai tapauskohtaisesti määritetään määrällisesti ilmaistavissa olevat hyväksymiskriteerit. Absoluuttinen ja vertaileva tarkastelu voidaan toteuttaa soveltaen kvantitatiivisia tai kvalitatiivisia menetelmiä. Kvalitatiivinen tarkastelu soveltuu yksinkertaisiin tapauksiin, joissa suunnitteluratkaisun vaikutus paloturvallisuuteen ja ratkaisuun liittyvät epävarmuudet ovat vähäisiä. (INSTA 950 2014) Kuvaan 3 on koottu paloteknisessä suunnittelussa käytettyjä tyypillisiä tarkastelutapoja ja menetelmiä.



**Kuva 3** Paloteknisessä suunnittelussa käytetyt tyypilliset menetelmät ja tarkastelutavat.

Seuraavassa on esitetty tarkemmin eri tarkastelutapoihin liittyviä periaatteita, tyypillisiä sovelusalueita sekä tarkasteluissa käytettyjä arviointimenetelmiä.



## 2.1 Kvalitatiivinen, laadullinen tarkastelu

Kvalitatiivisella tarkastelulla pyritään ymmärtämään arvioinnin kohteen laatua, ominaisuuksia ja merkitystä kokonaisvaltaisesti. Laadullinen tarkastelu on yksinkertaisin tapa osoittaa suunnitelman toimivuus ja se soveltuu tapauksiin, jotka liittyvät yksittäiseen poikkeamaan tai useampaan vähäiseen poikkeamaan, jotka ovat luokkiin ja arvoihin perustuvaan suunnitteluun verrattuna pieniä ja suunnitteluratkaisuun liittyvät epävarmuudet eivät ole merkittäviä. Käytetty perustelu pitää dokumentoida riittävin viittauksin. Myös asiantuntijoiden yhtenevät lausunnot voidaan katsoa riittäväksi perusteluksi ("Delphi" approach). (IFEG 2005, kohta 1.2.9.2; INSTA 950 2014, kohta 4.7.1)

Suunnitteluratkaisun hyväksyttävyyys voidaan osoittaa loogisella päättelyllä tai perustuen muuhun näyttöön kuten esimerkiksi tilastoihin, testituloksiin tai dokumentaatioon, joka osoittaa pidemmältä aikajaksolta, että ratkaisu on osoittautunut toimivaksi vastaavissa palo-olosuhteissa. (Nystedt 2011, s. 23; INSTA 950 2014, kohta 4.7.1)

Kvalitatiivisen tarkastelun avulla voidaan pyrkiä tunnistamaan esimerkiksi mahdolliset uhkat, joista pahimmat uskottavat tapaukset arvioidaan. Uhkien alustava arviointi voi jo osoittaa, että suunnitteluratkaisulla saavutetaan luokkiin ja arvoihin perustuvaa tarkastelua vastaava suoritustaso eikä tarkempaa tarkastelua tarvitse tehdä. Kaikkien arviointimenetelmien yhteydessä olisi hyvä tehdä heti alussa lyhyt laadullinen tarkastelu, jonka perusteella arvioidaan tarvittavan arviointityön laajuutta. (INSTA 950 2014, kohdat 4.7.1 & 4.8.2)

## 2.2 Kvantitatiivinen, määrällinen tarkastelu

Kvantitatiivinen tarkastelu perustuu syy- ja seuraussuhteiden kuvaamiseen ja tulkitsemiseen sekä ilmiöiden selittämiseen erilaisten laskennallisten ja tilastollisten analyysimenetelmien avulla. Paloturvallisuussuunnittelussa tarkasteltavien tavoitteiden ja esitettyjen poikkeamien monimuotoisuus vaatii usein kvantitatiivisen tarkastelutavan käyttöä. Tarkastelussa voidaan soveltaa yhtä tai useampaa analyysimenetelmää (laskenta, tilastot, testaustulokset, simuloinnit). Kvantitatiivisella tarkastelulla tuotettuja tuloksia ja perusteluja tuetaan usein täydentävillä laadullisilla perusteluilla (IFEG 2005, kohta 1.2.9.2). Esimerkiksi kvantitatiivisessa riskianalyysissä paloskenaarioihin liittyvien uhkakuvien todennäköisyydet ja seuraamukset voidaan laskea. Kehittyneillä malleilla voidaan ottaa huomioon myös lähtötietojen ja muuttujien todennäköisyysjakaumat (INSTA 950 2014, kohta 3.15).

## 2.3 Absoluuttisiin arvoihin perustuva tarkastelu

Absoluuttisessa tarkastelussa suunnitteluratkaisun toimivuutta arvioidaan vertaamalla analyysituloksia valittuihin hyväksymiskriteereihin ja raja-arvoihin (IFEG 2005, kohta 1.2.9.1). Suunnitteluratkaisuiden arviointi absoluuttisella tarkastelulla on mahdollista vain, jos toiminnallisiin vaatimuksiin voidaan liittää määrällisesti ilmaistavat hyväksymiskriteerit. Muussa tapauksessa vertaileva tarkastelu on ainoa mahdollinen tarkastelutapa. (INSTA 950 2014, kohta 4.4)

## 2.4 Vertaileva tarkastelu

Vertaileva tarkastelu käyttää tyypillisesti analyttisiä laskelmia osoittamaan, että suunnitteluratkaisu johtaa vastaavaan tai parempaan suoritustasoon kuin lainsäädännössä esitetyt hyväksytyt ratkaisut (luokkiin ja arvoihin perustuvat ratkaisut). Vertailu voidaan toteuttaa kvalitatiivisesti tai kvantitatiivisesti perustuen deterministiseen tai todennäköisyyspohjaiseen tarkasteluun (INSTA 950 2014, kohta 4.7). Deterministinen vertaileva tarkastelu voidaan toteuttaa esimerkiksi siten, että määritetään arvioitavan suunnitteluratkaisun ja määräyksissä esitetyn hyväksytyyn ratkaisun (luokkiin ja arvoihin perustuva) suorituskyvyt käyttäen samoja malleja, laskemia, lähtötietoja ja hyväksymiskriteereitä, ja vertaamalla ratkaisujen tuottamia turvallisuustasoa. (SFPE 2007, kohta 10.2.2.2; IFEG 2005, kohta 1.2.9.1) Suunnitteluratkaisun turvallisuustasoa voidaan myös arvioida esimerkiksi vertaamalla todennäköisyyspohjaisella tarkastelulla tuotettua riskiä vertailukohteen vastaavaan arvoon. Vertailussa tulee ottaa huomioon epävarmuudet sekä järjestelmien häiriöt (INSTA 950 2014, kohta 4.8.4)

Koska tarkasteltavalla rakennuksella sekä sen vertailurakennuksella on sama käyttötarkoitus ja luokitus, voidaan katsoa, ettei palon syttymissyssä tai todennäköisyydessä ole eroa. Tästä syystä tarkastelussa voidaan keskittyä ensisijaisesti tulipalon seurauksiin. (INSTA 950 2014, kohta 4.6)

Edellä kuvattu prosessi soveltuu tilanteisiin, joihin kansallinen lainsäädäntö määrittelee hyväksytyksi katsotun ratkaisun sekä ratkaisulta edellytetyt paloturvallisuutta koskevat tavoitteet, joihin suunnitteluratkaisun vertaileva arviointi voidaan perustaa. Silloin, kun tavoitteita ei ole esitetty lainsäädännössä, ne tulee määritellä osana suunnittelua. Tavoitteet voivat koskea useampaa paloturvallisuuteen liittyvää vaatimusta. (INSTA 950 2014, kohta 4.3.2.2)

## 2.5 Deterministinen tarkastelu

Deterministisessä tarkastelussa valittuihin palotilanteisiin liittyviä uhkakuvia tarkastellaan yksityiskohtaisesti ja rakennus tai järjestelmä suunnitellaan toimimaan siten, että se toteuttaa fyysikaalisen toiminnon halutulla tavalla ja teknisesti tarkoituksenmukaisesti. Suunnitteluratkaisun toimintaa verrataan turvallista toimintaa edustavaan suureeseen eli hyväksymiskriteeriin,

joka voi olla absoluuttinen arvo tai lainsäädännössä esitetyt luokkiin ja arvoihin perustuva ratkaisu. Hyväksymiskriteereiden tulee täytyä myös herkkyyksianalyysien puitteissa.

Tarkastelu perustuu fyysisiin ominaisuuksiin, jotka kuvataan tieteellisten teorioiden tai empiiristen havaintojen avulla, sekä empiirisiin laskuihin. Näihin sisältyvät mm. testaustulokset. Yleensä käytetään kokeellisia nimellisarvoja. Tarvittaessa voidaan käyttää myös muita arvoja kuten esimerkiksi maksimiarvoja henkilömääriä arvioitaessa (SFPE 2007, kohta 10.5.3.2). Samat lähtötiedot tuottavat deterministisessä tarkastelussa aina saman lopputuloksen (INSTA 951 2019, kohta 3.8). Tarkastelu on yleensä seuraamusperusteista ja tarkasteluiden avulla eri skenaarioille voidaan määrittää riittävä turvallisuustaso (INSTA 950 2014, kohta 4.7.2). Menetelmän avulla ei voida kuitenkaan arvioida lopputuloksen todennäköisyyttä (IFEG 2005, kohta 1.2.9.3).

Determinististä tarkastelua käytetään, koska ne ovat kehittyneempiä, yksinkertaisempia ja vaativat vähemmän lähtötietoa kuin todennäköisyyteen perustuvat menetelmät. Erilaisten toiminnallisten vaatimusten täyttymisen osoittamiseen on olemassa paljon erilaisia ratkaisutapoja ja -malleja. (IFEG 2005, kohta 1.2.9.3) Esimerkkejä deterministisistä tarkasteluista ovat poistumisaikalaskelmat (ASET/RSET), kantavien rakenteiden kriittiset analyysit sekä palon leviäminen lämpösäteilyn vaikutuksesta (Nystedt 2011, s. 34). Hyväksyttävyyden arviointi deterministisellä menetelmällä voi olla haastavaa silloin, kun suunnitteluratkaisun tuottama arvo on lähellä hyväksymiskriteeriä.

Deterministinen analyysi käsittelee yhtä tai useampaa mahdolliseksi katsottua skenaariota. Tarkasteltaviin skenaarioihin tulee sisältyä vähintään pahin uskottava tapaus sekä epävarmuuksista riippuen myös herkkyystarkastelu. (INSTA 950 2014, kohdat 3.5 ja 4.8.3) Epävarmuudet voivat liittyä materiaaliominaisuuksiin, asennusta koskeviin tietoihin, järjestelmään, järjestelmän komponentteihin, järjestelmän virheelliseen käyttöön sekä ihmisten käyttäytymiseen (SFPE 2007, kohta 10.4.1.3). Jokainen skenaario tarkastellaan erikseen, eikä skenaarioiden tuloksia voida yhdistää. (SFPE 2007, kohta 8.4.2)

Deterministisessä tarkastelussa arviointimenetelmänä voidaan käyttää esimerkiksi aikajanaa, jossa verrataan eri asioihin kuluvia aikoja. Palon kehittymiseen ja turvalaitteiden toimintaan liittyvät merkittävät ajankohdat voidaan liittää aikajanaan. (SFPE 2007, kohta 10.4)

## 2.6 Todennäköisyyspohjainen tarkastelu

Todennäköisyyspohjainen, riskianalyttinen, tarkastelu käsittelee tulipaltoa satunnaisten tapahtumien sarjana ja arvioi tilastollisesti tietyn ei-toivotun tapahtuman todennäköisyyttä sekä tapahtuman seurausten suuruutta. Eri paloskenaariot ja mitoituspalot sekä näiden todennäköisyydet muodostavat perusteet sille, minkälaisia tapahtumia rakennuksen elinkaaren aikana

voi esiintyä. Lähtötiedot voidaan esittää lukuina tai jakaumina (INSTA 950 2014, kohta 4.8.4) ja epävarmuudet voidaan ottaa huomioon lähtöarvojen hajontoina (INSTA 951 2019, kohta 3.21). Riski voidaan määrittellä vahingon odotusarvona, mikä voidaan laskea tapahtuman todennäköisyyden (esiintymistaajuuden) ja seurausten tulona (Hietaniemi et al. 2007, s. 34-35). Seurauksia voidaan kuvata esimerkiksi laadullisin termein, uhrien lukumäärällä tai euroilla.

Todennäköisyyspohjaisen tarkastelun hyväksymiskriteerit kuvaavat vahingon todennäköisyyttä ja vakavuutta tarkasteltavissa paloskenaarioissa. Kriteerit esitetään tavallisesti joko siedettävissä olevan riskitason tai siedettävien seurausten tasona. Siedettävää seurausta voidaan arvioida kertomalla eri skenaarioille määritetyt todennäköisyydet aiheutuneilla vahingoilla ja laskemalla näiden tulojen summa. (ATS 5387 2017, kohta 6.3.3) Seurauksia voidaan tarkastella esimerkiksi kuolemantapausten, taloudellisten menetysten, toiminnan keskeytyksen sekä ympäristölle aiheutuneiden vahinkojen suhteen (SFPE 2007, kohta 8.4.1.5). Hyväksymiskriteerit voivat olla joko absoluuttisia (absolute/explicit criteria) tai suhteellisia (relative/implicit criteria). Absoluuttisen kriteerin perusteella suunnitteluratkaisua voidaan mitata esimerkiksi palokuolemien lukumäärällä aikayksikköä kohden. Jos analyysissä voidaan käyttää luotettavasti määritettyä FED-tietoa (tukahduttavien kaasujen annossuhde palotilassa), voidaan absoluuttisena kriteerinä käyttää myös FED:lle altistuneiden ja toimintakyvyn menettäneiden henkilöiden määrää. Suhteellinen kriteeri määrittelee paloturvallisuustason suhteessa johonkin referenssitason. Referenssinä, johon suunnitteluratkaisun suoritustasoa verrataan, voi toimia esimerkiksi lainsäädännössä esitetyt ohjeelliset, luokkiin ja lukuarvoihin perustuvat, ratkaisut. (INSTA 951 2019, kohdat 5.1 ja 5.3).

Todennäköisyyteen perustuva tarkastelu vaatii paljon tilastollista dataa, jota ei aina ole valmiina ja laajuus voi vaatia pitkää laskentaa vaativia tarkasteluja. Lisäksi niiden soveltuvuus voi olla vaikea näyttää toteen, koska ne sisältävät paljon tilastoja ja kokeita (IFEG 2005, kohta 1.2.9.3). Data tulee valita siten, että se edustaa henkilöiden ja rakennusten toimintaa tyypillisissä tulipalotilanteissa. Data, joka kattaa kaikki tyypillisen rakennukset ja rakennuksen käyttäjät, voi johtaa virheelliseen ja epäluotettavaan arvioon palonkehittymisestä ja riskistä (ATS 5387 2017, kohta 8.1.3).

### **2.6.1 Kvalitatiivinen riskiarviointi**

Kvalitatiivinen riskiarviointi toteutetaan laadullisin termein, mutta se voi sisältää numeerisia arvoja tai matemaattisia menetelmiä, mutta lopputulos ilmoitetaan sanallisesti. Vaatimusten toteutuminen voidaan osoittaa esimerkiksi tilastojen tai koetulosten avulla. Menetelmää käytetään usein karkeaan paloriskien arviointiin ja riskiä kuvataan riskiluokkien avulla: vähäinen, kohtalainen ja merkittävä. (SFPE 2006, s. 67; Hurley 2016, s. 3186-3188)

Kvalitatiivisen riskianalyysin toteutuksessa voidaan käyttää esimerkiksi riskimatriisia, jossa vaakarivillä ilmoitetaan todennäköisyyden taso ja pystysarakkeilla seurausten vakavuus. Tapahtumaan liittyvät todennäköisyystaso ja seurausten taso määrittelevät suunnitteluratkaisun riskitason, jota verrataan hyväksyttävään riskitasoon. Riskimatriisia voidaan käyttää sekä henkilö- että omaisuusriskivahinkojen analysointiin. (SFPE 2007, s. 113; Hurley 2016, s. 3187; Partanen 2014, s. 24)

## 2.6.2 Kvantitatiivinen riskiarviointi

Kvantitatiivisessa riskiarvioinnissa sekä todennäköisyyksille että seurauksille määritetään numeeriset arvot, jolloin myös riski voidaan esittää kvantitatiivisena arvona. Tarkasteluissa voidaan käyttää tulipalon syttymistodennäköisyyteen sekä paloteknisten laitteistojen toimintavarmuuteen liittyviä tilastollisia lähtötietoja yhdistettynä tulipalon seurausten deterministiseen arviointiin (INSTA 950 2014, kohta 4.7.3). Todennäköisyysmallin avulla voidaan myös tuottaa tilastollinen todennäköisyys tapahtuman seuraamukselle (INSTA 951 2019, kohta 3.20). Todennäköisyyslaskelmiin perustuvan riskiarvioinnin menetelmiä ovat riskimatriisi, tapahtuma- ja vikapuut, F-N-käyrä sekä vertaileva riskianalyysi.

Riskimatriisimenetelmä ei edellytä kaikkien mahdollisten tapausten huomioon ottamista vaan riskin arviointi voidaan muodostaa seuraamuksiltaan merkittävimpien ja esiintymistaajuudeltaan yleisimpien tapausten perusteella. Menetelmä voi perustua kvalitatiiviseen tai kvantitatiiviseen analyysiin ja sen avulla voidaan vertailla eri tapauksia perustuen niiden todennäköisyyksiin ja seurauksiin. Tapahtuman todennäköisyyden taso voidaan ilmoittaa esimerkiksi matriisin pystysarakkeissa ja seurausten vakavuus vaakariveillä. Riskimatriisissa todennäköisyydet ilmoitetaan tapahtumataajuuksina (palo/vuosi) ja seuraukset esimerkiksi henkilö- (kuolema/palo) tai omaisuustappioina (€/palo). Riski voidaan määrittää todennäköisyyksien ja seurausten tulona. Vaihtoehtoisesti todennäköisyydet ja seurausten taso voidaan pisteyttää ja näiden tulo muodostaa riskiluvun, jota verrataan osapuolten määrittämään hyväksyttävään riskitasoon. (SFPE 2007, s. 111-114; Hurley 2016, s. 1269-1270; ISO 16733-1:2015, s. 13-14).

Kuvassa 4 on esitetty tyypillinen esimerkki riskimatriisista. Tapahtuman todennäköisyys kasvaa, kun matriisissa siirrytään vasemmalta oikealle ja tapahtuman seuraukset kasvavat, kun matriisin riveillä siirrytään ylöspäin. Riskitarkastelussa arvioidaan eri skenaarioihin liittyviä seurauksia sekä skenaarioiden esiintymistaajuuksia. Jos hankkeen osapuolet olisivat määrittelleet hyväksymiskriteereissä, että kohtalainen, pieni ja merkityksetön riski ovat hyväksyttäviä, eivät suuren riskin alueelle osuvat suunnitteluratkaisut olisi hyväksyttävissä ilman muutostoimenpiteitä. Tällöin tapahtumat, joilla on vakavat seuraukset, eivät ole hyväksyttävissä, jos niiden esiintymistaajuus on suurempi kuin  $10^{-4}$ . Vastaavasti tapahtumat, joiden vaikutukset

ovat haitallisia, eivät ole hyväksyttäviä silloin, kun niiden esiintymistaajuus on suurempi kuin  $10^{-2}$ . Esimerkissä käytetyt taajuudet perustuvat lähteisiin Hurley (2016, s. 1271) ja SFPE (2007, s. 114). Matriisiin voidaan sopia myös tästä esimerkistä poikkeava taajuusjako.

Esiintymistaajuus → Seuraukset/vaikutukset ↓	Harvinaisempi kuin erittäin epätodennäk. $f \leq 10^{-6}$ per vuosi	Erittäin epätodennäköinen $10^{-6} < f \leq 10^{-4}$ per vuosi	Epätodennäköinen $10^{-4} < f \leq 10^{-2}$ per vuosi	Todennäköinen $10^{-2} < f$ per vuosi
<u>Vakava</u> Kuolemantapauksia, akuutteja loukkaantumisia, pysyviä vammautumisia				
<u>Keskinkertainen</u> <u>Haitallinen</u> Vakavia loukkaantumisia, pysyvä vammautuminen, sairaalahoidon tarve				
<u>Vähäinen</u> Lieviä loukkaantumisia, ei pysyviä vammautumisia				
<u>Merkityksetön</u>				

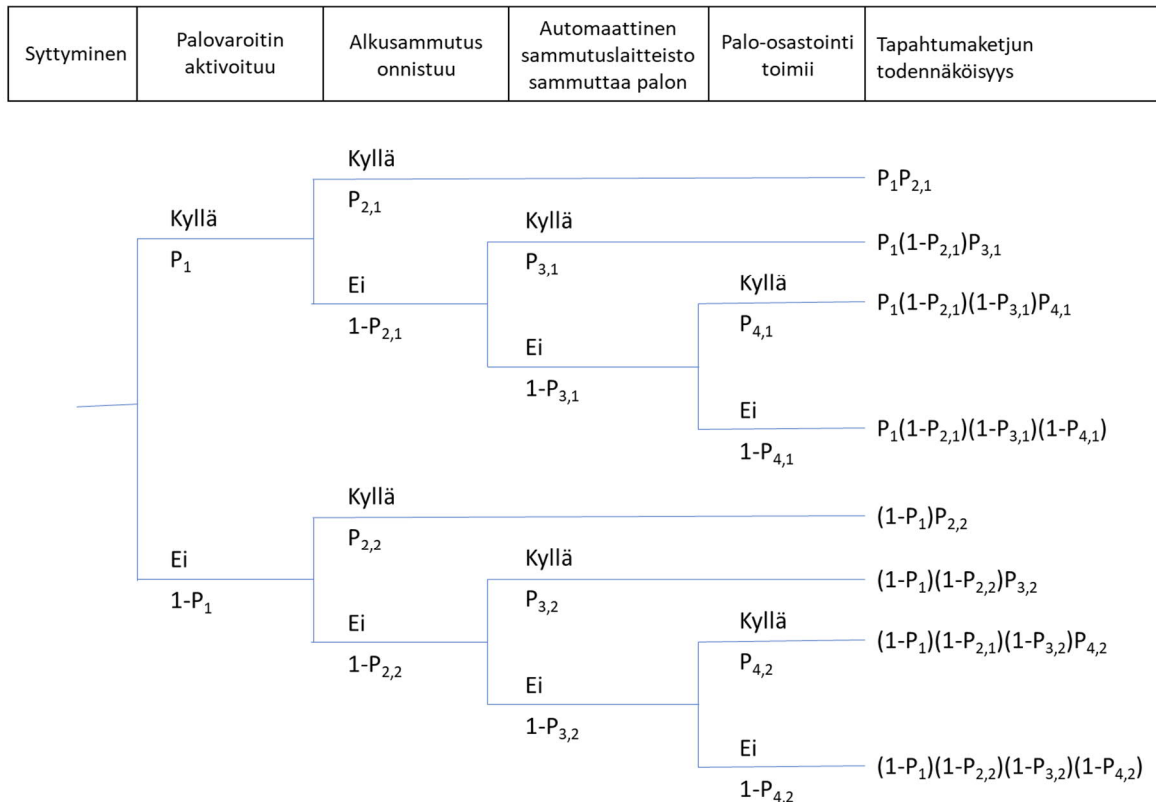
	Suuri riski:
	Kohtalainen riski
	Pieni riski
	Merkityksetön riski

**Kuva 4** Esimerkki riskimatriisista (mukailen Hurley 2016, s. 1271; SFPE 2007, s. 114).

Tapahtuma- ja vikapuiden avulla voidaan arvioida esimerkiksi todennäköisyyksiä, jotka liittyvät lieskahduksen tapahtumiseen, palon leviämiseen palo-osaston ulkopuolelle tai sortuman tapahtumiseen.

Tapahtumapuun avulla voidaan arvioida palon ajallista kehittymistä syttymästä tilanteeseen, jolloin palo saadaan hallintaan ja sammutettua. Menetelmän avulla lopputilanteeseen johtava prosessi voidaan jakaa kuvassa 5 esitetyn periaatteen mukaisesti pienemmistä osatapahtumista muodostuvaksi tapahtumaketjuksi. Yksi osatapahtuma muodostaa tapahtumaketjuun solmupisteen, josta tapahtumat etenevät kahden tai useamman toisensa poissulkevan vaihtoehdon määrittelemiä haaroja pitkin tietyllä tilastotiedon tai asiantuntija-arvion avulla määritetyllä todennäköisyydellä. Osatapahtumia voivat olla esimerkiksi syttymä, palon aistinvarainen havainnointi, alkusammutus, automaattisen sammutusjärjestelmän toiminta, palokunnan toiminta sekä palokuorman loppuun palamisen johdosta tapahtuva hiipuminen. Osatapahtumiin liittyviä tilastollisia tietoja ovat esimerkiksi syttymistaajuus, alkusammutuksen onnistuminen, sprinklerin suunniteltu toiminta tai palokunnan toiminta. Eri haarojen todennäköisyyksien katsotaan olevan toisistaan riippumattomia ja jokaisesta solmupisteestä lähtevien haarojen

todennäköisyyksien yhteen laskettu summa on 1. Tapahtumapuu muodostuu siis useista tapahtumaketjuista, joiden toteutumisen todennäköisyys voidaan määrittää ketjun varrella olevien todennäköisyyksien tulona. (Korhonen & Hietaniemi 2004, s. 27-30; Mikkola et al. 2010, s. 46 - 48 & Liite A; Nystedt 2011, s. 38; Hurley 2016, s. 1247-1249) Kun tapahtumapuun eri haaroihin lisätään syntyneiden vaurioiden suuruudet, voidaan myös määrittää kuhunkin tapahtumaketjuun liittyvien tuhojen todennäköisyydet (Korhonen & Hietaniemi 2004, s. 27).



**Kuva 5** Palon kehittymisen kuvaaminen tapahtumapuun avulla ja eri tapahtumaketjuihin liittyvien todennäköisyyksien määrittäminen (mukaillen Hurley 2016, s. 1248).

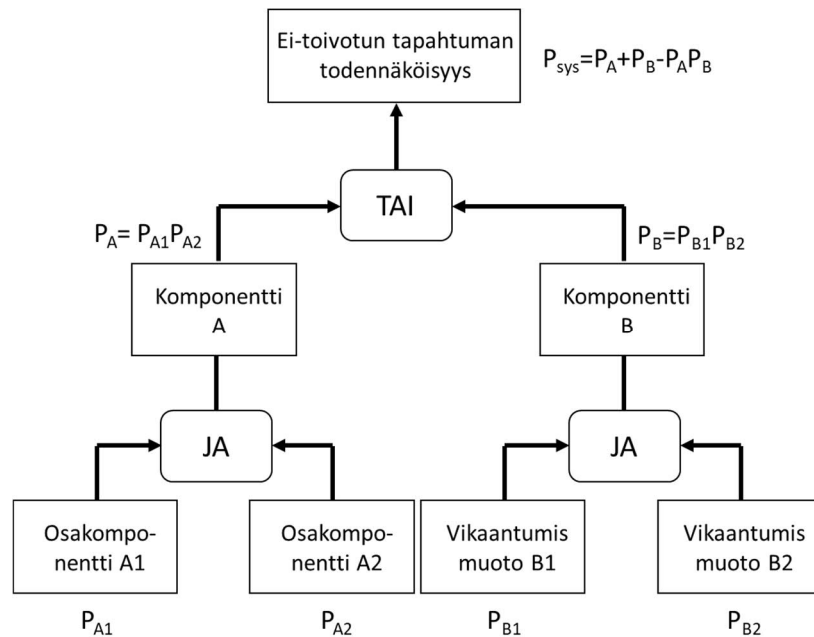
Tapahtumapuun avulla voidaan arvioida tapahtumaketjun merkitystä, todennäköisyyttä ja seuraamuksia. Tapahtumapuun avulla voidaan myös arvioida vahinkojen suuruutta sekä suuruudeltaan eri tasoisten vahinkojen todennäköisyyksiä (Hurley 2016, s. 2954). Tillander (2004, s. 93) on soveltanut tapahtumapuuta pelastuslaitoksen toiminnan vaikutusten arvioimiseen. Menetelmä soveltuu parhaiten tarkasteluihin, joissa lopullinen tapahtuma on harvinainen, seuraukset ovat merkittäviä ja tilastoja lopullisen tapahtuman todennäköisyydestä on käytettävissä rajoitetusti. Osatapahtumien esiintymistaajuudet ovat suurempia ja niihin liittyvää tilastotietoa on tästä syystä paremmin saatavilla. Suomessa käytettävissä olevat tilastolähteet ovat jo 15-20 vuotta vanhoja ja perustuvat näin ollen yli 20 vuotta vanhaan toteumatietoon

(Korhonen & Hietaniemi 2004, s. A1-A21; Hietaniemi et al. 2005, s. 66-74; Outinen 2006, s. 492; Tillander et al. 2009). Tilastoille on olemassa selkeä päivitystarve.

Vikapuu on kuvaus ennalta määrätyn vahingon tai ei-toivotun tapahtuman toteutumiseen johtavista rinnakkaisista ja toisiaan seuraavista syistä tai vikaantumisista. Tapahtuma voi liittyä esimerkiksi oletetun toiminnan epäonnistumiseen tulipalon sattuessa. Vikapuuta voidaan käyttää myös siten, että tutkittavana tapahtumana on esimerkiksi laitteiston toimintavarmuus, jolloin vikapuu muodostetaan perustuen laitteiston eri komponenttien toimintavarmuuksiin. Vikapuu muodostetaan perustuen laadulliseen tarkasteluun, mutta lopullisen vahingon ehdolliseen todennäköisyyteen johtava vikapuun läpi käyvä kvantitatiivinen tarkastelu perustuu eri osatapahtumien todennäköisyyksiin tai osakomponenttien toimintavarmuuksiin. (INSTA 951 2019, kohta 6.4) Arvot voivat olla esim. vikaantumisen todennäköisyyksiä tarvittaessa tai vikaantumistaajuuksia. Olettaen, että vikaantumistaajuus on ajan suhteen vakio ja, että kyseisen komponentin tarkastusväli tunnetaan, voidaan vikaantumisen todennäköisyys määrittää (Moinuddin et al. 2008, s. 520). Todennäköisyyksien, toimintavarmuuksien ja vikaantumistodennäköisyyksien arvoissa esiintyy suurta vaihtelua ja niiden tiedetään olevan epätarkkoja. Tämä vaihtelu ja epätarkkuus voidaan ottaa laskennassa huomioon Monte Carlo -simuloinnin avulla. (Nieminen 2018, s. 56; Wright 2017).

Vikapuun avulla saadaan tuotettua ei-toivotun tapahtuman todennäköisyys, vauriotodennäköisyys. Menetelmää voidaan soveltaa mm. sprinklerilaitteistojen luotettavuuden arviointiin, jolloin ei-toivottu tapahtuma on ”palonhallinta epäonnistuu palon sattuessa”, vertaa kuva 6 (Nystedt 2011, s. 39; Nieminen 2018, s. 32). Vikapuuta on sovellettu myös mm. arvioitaessa viivästyneen savunpoiston vaikutusta poistumisen vaarantumisen todennäköisyyteen (Ympäristöopas 103 2003, s. 108) sekä pelastuslaitoksen toiminnan onnistumistodennäköisyyden arvioimiseen (Tillander 2004, s. 96).





**Kuva 6** Esimerkki vikapuumallista (mukailten Frank et al. 2013).

F-N-käyrien avulla voidaan määrittää hyväksyttävän turvallisuuden ja riskin tasot (todennäköisyydet), joita verrataan tilastollisesti, esimerkiksi tapahtumapuun ja lukuarvojen avulla, määritettyihin tapahtumien absoluuttisiin todennäköisyyksiin. F-N-käyriä on käsitelty aikaisemmin siedettävissä olevan riskitason määrittelyyn liittyen kohdassa 1.2.4. Menetelmää sovelletaan pääasiassa henkilöriskien arviointiin, mutta se soveltuu myös omaisuusvahinkojen arviointiin. (Mikkola et al. 2010a, s. 46–48; Mikkola et al. 2010b, s. 19–24) Menetelmää on sovellettu Suomessa harvoin ja käyttö on liittynyt tyypillisesti rakennuksiin, joissa on suuri määrä ihmisiä ja, joihin liittyy merkittäviä riskejä.

## 2.7 Epävarmuuksien hallinta ja herkkyystarkastelut

Ympäristöministeriön asetus (YMa 848/2017 perustelumuistio, 3 §) edellyttää, että suunnittelun tulokset sisältävät myös suunnittelun epävarmuustekijöille tehdyt herkkyystarkastelut. Herkkyystarkastelujen tavoitteena on tarkistaa tulosten oikeellisuus sekä selvittää olennaisten parametrien kriittisyys (ATS 5387 2017, kohta 7.1.5). Niiden avulla selvitetään, aiheuttaako pieni muutos tehdyissä oletuksissa merkittävän muutoksen suunnittelun tuloksiin ja paloturvallisuuteen. Epävarmuudet liittyvät esimerkiksi (Nystedt 2011, s. 35; Hurley 2016, s. 2992–3045; ATS 5387 2017, kohta 9):

- Paloskenaarioiden valintaan ja määrittelyyn;
- Mitoituspalon määrittelyyn;
- Lähtötietoihin ja muihin parametreihin;

- Laskentamenetelmiin ja -malleihin;
- Suunnittelussa tehtyjen oletusten ja yksinkertaistusten vaikutuksiin;
- Teknisten laitteistojen luotettavuuteen.

Herkkyystarkastelujen avulla varmistetaan, että laskentamenetelmä vastaa asianmukaisia teknistieteellisiä periaatteita (SFS-EN 1993-1-2:2005, s.41). Epävarmuustekijöiden vaikutukset voidaan ottaa huomioon varmuuskertoimilla sekä valitsemalla menetelmiä, joiden tiedetään tuottavan varmalla puolella olevia tuloksia. Suunnittelijan tulee neuvotella ja sopia muiden osapuolten kanssa siitä, pitääkö suunnitelmiin lisätä varmuuksia vai onko menetelmä jo riittävän konservatiivinen ilman niitä. Kokonaisvarmuuden määrittämiseksi ei ole olemassa kaikkiiin tapauksiin soveltuvaa hyväksyttyä menetelmää ja suunnitteluratkaisuun liittyvän varmuuden ja varmuuskertoimen arviointi edellyttää suunnittelijalta sekä suunnitelmia arvioivilta ja hyväksyviltä tahoilta ammatillista harkintaa (ATS 5387 2017, kohta 9). Jos varmuuskertoimia ei käytetä, pitää suunnittelijan ymmärtää epävarmuudet ja niiden soveltaminen suunnittelussa. (SFPE 2007, kohta 10.5.1.6) Ratkaisuissa voidaan pyrkiä strategisesti siihen, että paloturvallisuuden taso riippuu mahdollisimman vähän yksittäisen järjestelmän toimintahäiriöstä (INSTA 951 2014, kohta 4.8).

Varmuuskertoimia tulisi soveltaa pääosin suunnittelun ja analyysin lopussa, koska varmuuskertoimien käyttö välituloksissa voi johtaa liian konservatiivisiin tuloksiin. Joissain tapauksissa on kuitenkin perusteltua käyttää varmuuskertoimia useissa kohdissa. Esimerkiksi Eurokoodijärjestelmän mukainen kantavien rakenteiden palomitoitus perustuu siihen, että varmuutta on sisällytetty useaan eri vaiheeseen (materiaalit, kuormat, parametrit, laskentamallit). Vertailevassa tarkastelussa ei yleensä sovelleta varmuuskertoimia, koska samoja analyysimenetelmiä ja oletuksia sovelletaan sekä lainsäädännössä hyväksytyihin että ehdotettuun suunnitteluratkaisuun. (IFEG 2005, kohta 1.2.10.2)

Tapahtumapuiden soveltamiseen liittyy kaksi keskeistä epävarmuustekijää: on vaikea arvioida, onko kaikki mahdolliset skenaariot otettu tapahtumapuussa huomioon, ja osatapahtumien todennäköisyyksiin liittyvä tieto on usein vähäistä. Yksi tapa ottaa huomioon todennäköisyyksiin liittyvää epävarmuutta on tutkia kuinka herkästi muutokset todennäköisyyksissä vaikuttavat menetelmän tuloksiin (Nystedt 2011, s. 42).

## 3. PALOSKENAARIOT

Oletettuun palonkehitykseen perustuva, toiminnallinen palotekninen suunnittelu perustuu va-  
littuihin uhkakuviin ja niitä kuvaamaan käytettäviin mitoituspaloihin. Näistä sovitaan viran-  
omaisten kanssa ennen suunnittelun käynnistämistä.

### 3.1 Uhkakuvat ja paloskenaariot

Suunnittelussa tulee tunnistaa ja arvioida asetettuihin paloturvallisuustavoitteisiin sekä Ympä-  
ristöministeriön asetusten (YMa 848/2017; YMa 927/2020) paloluokkien ja lukuarvojen mukai-  
sesta poikkeavaan toimintaan liittyviä uhkakuvia. Tunnistettujen uhkakuvien perusteella voi-  
daan edelleen muodostaa paloskenaarioita, jotka ovat pelkistettyjä kuvauksia oletetuista olo-  
suhteista ja uhkakuvista palon aikana. Ne kuvaavat mahdollisia tapahtumasarjoja ja tilan olo-  
suhteiden muutoksia, kun palo ja siitä syntyvät palamistuotteet leviävät koko rakennukseen  
tai osaan siitä. (INSTA 950 2014, s. 11; SFPE 2006, s.25; SFPE 2007, s. 54)

Uhkakuvat voi perustua asiantuntijan tekemään analyysiin (SFPE 2006, s.25-32). Esimerkkejä  
erilaisista uhkakuvista ja niihin liittyvistä skenaarioista on annettu mm. standardissa ISO  
16733-1 (2015, s. 18-20). Myös joidenkin maiden toiminnalliseen tarkastelutapaan perustu-  
vassa lainsäädännössä on esitetty vastaavanlaisia turvallisuusvaatimuksiin ja tavoitteisiin liit-  
tyviä uhkakuvia (BFS BBRAD 2013, kohta 3.3; Building Code 2017; NCC 2019). Taulukoihin  
7–9 on koottu Australian (NCC 2019) ja Uuden Seelannin (Building Code 2017) lainsäädän-  
nössä esitettyjä uhkakuvia ja niihin liittyviä turvallisuustavoitteita. Uhkakuvien yhteydessä on  
annettu myös esimerkkejä tarkasteluihin soveltuvista varmentamismenetelmistä tai ratkai-  
suista.

**Taulukko 7** Henkilöturvallisuuden tarkasteluun sovellettavia uhkakuvia ja niihin liittyviä turvalisustavoitteita (NCC 2019; Building Code 2017).

Uhkakuva	Turvallisuustavoite	Varmentamismenetelmä tai ratkaisu
Palo sulkee poistumistien	Suunnitteluratkaisu on turvallisuus- ja varmuustasoltaan vähintään säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua vastaava.	Osoitetaan, että on olemassa luotettava poistumisreitti, tarvittaessa useampi.
Tulipalo syttyy huomaamattomasti käyttämättömässä tilassa vaarantaen ihmiset muissa tiloissa	Suunnitteluratkaisun on turvallisuus- ja varmuustasoltaan vähintään säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua vastaava.	ASET/RSET -analyysi tai, järjestetään osastoiva rakenne tai standardien mukainen sammutuslaitteisto. ASET kuvaa poistumiseen käytettävissä olevaa aikaa ja RSET poistumiseen vaadittavaa aikaa.
Palo alkaa huomaamattomasti rakenteiden välisessä tilassa (ontelossa), josta se voi levitä ja asettaa suuren joukon ihmisiä vaaralle alttiiksi	Palon leviäminen rakenteiden välisissä tiloissa ei vaaranna ihmisten turvallisuutta, ja suunnitteluratkaisu on turvallisuus- ja varmuustasoltaan vähintään säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua vastaava.	Ratkaisu voi sisältää osastoivia rakenteita tai standardien mukaisen sammutuslaitteiston tai automaattisen paloilmoitinjärjestelmän.
Kytevä palo (lähellä makuutiloja)	Suunnitteluratkaisun on turvallisuus- ja varmuustasoltaan vähintään säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua vastaava.	Ratkaisu voi sisältää standardin mukaisen automaattisen palovaroitin- ja paloilmoitinjärjestelmän.
Palon leviämien sisäpuolisilla pinoilla	Henkilöiden evakuoinnin sekä sammutus- ja pelastustoiminnan olosuhteet ovat hallittuja.	Osoita, että pinnat täyttävät vaaditut pintaluokat. ASET/RSET -analyysi.
Pahin mahdollinen palotilanne	Turvallisuus- ja varmuustaso on vähintään säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua vastaava.	ASET/RSET -analyysi.
Ennakoimaton katastrofaalinen vaurioituminen	Rakennuksella, sen kriittisillä rakennesilla sekä paloturvallisuusjärjestelmällä on riittävä vaurionsietokyky niin, että ennakoimaton katastrofaalinen vaurio ei ole todennäköinen ja, että turvallisuus- ja varmuustaso on vähintään säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua vastaava.	Osoita selvitystyön tai riskianalyysi avulla, että rakennuksen kriittisten osien katastrofaalinen sortuminen ei ole todennäköistä.
Vaurionsietokyvyn tarkastus	Suunnitteluratkaisun vaurionsietokyky on riittävä eikä paloturvallisuusjärjestelmän keskeisen komponentin vaurioituminen johda palon hallitsemattomaan leviämiseen ja, turvallisuus- ja varmuustaso on vähintään säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua vastaava.	Osoita, että paloturvallisuus laitteiden pettäessä ASET/RSET ei vaaranna muissa tiloissa
Rakenteiden vakaus	Rakennuksen palosta aiheutuneet sortumat tai osastointien vaurioitumiset eivät aiheuta muille rakennuksille kohutonta riskiä ja, turvallisuus- ja varmuustaso on vähintään säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua vastaava.	Analysoi rakenteet sekä paloturvallisuusjärjestelmä.

**Taulukko 8** Omaisuuden suojaamiseen liittyvissä tarkasteluissa sovellettavia uhkakuvia ja niihin liittyviä turvallisuustavoitteita (NCC 2019; Building Code 2017).

Uhakuva	Turvallisuustavoite	Varmentamismenetelmä tai ratkaisu
Vaakasunnassa leviävä täyden vaiheen palo, joka altistaa naapurirakennuksen ulkoseinät palon vaikutuksille	Riski palon leviämisestä naapurirakennukseen ei ole suurempi kuin rakennuksilla, jotka vastaavat säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua.	Osoita, että rakennuksen palaminen ei aiheuta asetettua raja-arvoa korkeampaa lämpösäteilytasoa. Rajoita palon leviämistä yöpymistiloihin ja poistumisreiteille
Pystysuunnassa julkisivua pitkin tai seinän aukkojen kautta voimakkaasti leviävä palo	Rakennuksen julkisivu sekä aukkojen ratkaisut eivät lisää henkilöturvallisuuden riskejä suuremmiksi kuin rakennuksilla, jotka vastaavat säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua.	Osoita, että rakennuksen palaminen ei aiheuta asetettua raja-arvoa korkeampaa lämpösäteilytasoa ja, että sienien kestävyys lämpösäteilylle on testattu ja, että tietyissä tapauksissa rakennus on suojattu sammutusjärjestelmällä. Osoittaa, että palo ei pääse leviämään hallitsemattomasti rakennuksen ulkopintaa pitkin.

**Taulukko 9** Pelastus- ja sammutustyöhön liittyvissä tarkasteluissa sovellettavia uhkakuvia ja niihin liittyviä turvallisuustavoitteita (NCC 2019; Building Code 2017).

Uhakuva	Turvallisuustavoite	Varmentamismenetelmä tai ratkaisu
Sammutus- ja pelastustoiminta	Sammutus- ja pelastustoiminnan vaikutukset ovat osoitettavissa, ja suunnitteluratkaisu on turvallisuus- ja varmuustasoltaan vähintään säännöksissä esitettyä ohjeellista ratkaisua vastaava.	Osoita selvitystyön tai riskianalyysi avulla, että rakennuksen kriittisten osien katastrofaalinen sortuminen ei ole todennäköistä.
Tulipalon sammuttaminen	Muut rakennukset on suojattu palovaingoilta. Mahdollistetaan sammutus- ja pelastustoiminta.	Rajoita palon leviäminen suurista palo-osastoista Järjestä palo- ja pelastuskalustolle turvallinen pääsy rakennuksen lähelle Järjestä riittävän sammutusvesi Järjestä turvallinen pääsy sammutettavaan tilaan Järjestä selkeä tieto palon sijainnista, rakennuksen paloturvallisuusjärjestelmistä sekä rakennuksessa mahdollisesti olevista vaarallisista aineista Varmista pelastus- ja sammutustoimintaa suojaavien paloturvallisuusjärjestelmien luotettavuus

Paloskenaariot esittävät miten, missä ja milloin palo tapahtuu. Skenaarioiden kuvauksissa esitetään palon kehittymisen ja vaikutusten näkökulmasta kriittiset tekijät, joita voivat olla esim. syttymislähteet, palokuorman ominaisuudet ja sijainti, palontorjuntalaitteet, ilmanvaihto, kantavat rakenteet sekä tilan käyttäjät. (SFPE 2006, s. 27-30; SFPE 2007, s. 54) Mahdollisia paloskenaarioita voidaan tuottaa analysoimalla kohteen uhkakuvia, hyödyntäen kirjallisuutta ja palotilastoja sekä perustuen kokemukseen (IFEG 2005, kohta 1.2.11.1; SFPE 2006, S. 25-31). Skenaarioiden valinnassa keskeinen tavoite on tuottaa hallittavissa oleva määrä erilaisia tilanteita, jotka riittävällä varmuudella kattavat kaikki mahdollisena pidettävät riskitilanteet ja, joilla on merkittävät seuraukset. Epärealistisen ankarat tai epätodennäköiset tapaukset jätetään tarkastelujen ulkopuolelle. Skenaarioiden valinnassa tulee ottaa huomioon kohtuullisuus, tapahtumataajuus sekä palon voimakkuus ja vakavuus. Liian voimakkaat tai epätodennäköi-

set skenaariot voidaan jättää ottamatta huomioon. Paloskenaarioissa tulee myös ottaa huomioon esimerkiksi käyttötarkoitukseen ja palokuorman rakennuksen suunnitellun käyttöajan aikana kohdistuvat mahdolliset tarpeet. (SFPE 2007, s. 63-64; ISO 16733-1:2015, s. 4-5)

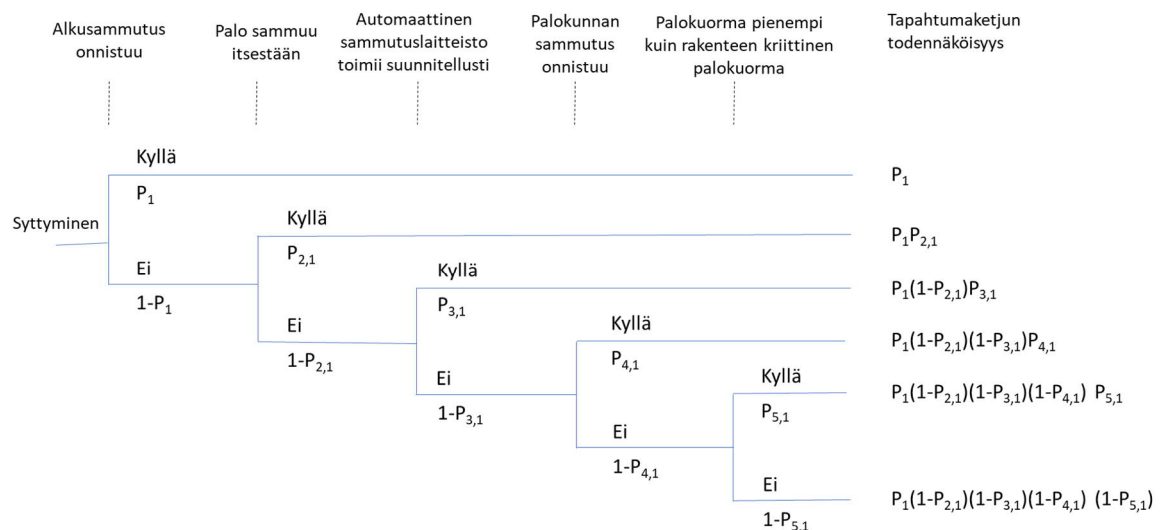
Koska palo-olosuhteet riippuvat merkittävästi rakennuksen ominaisuuksista ja suunnitelluista paloteknisistä ratkaisuksista, rakennusmääräykset pystyvät antamaan vain rajoitettua olosuhteisiin liittyvää tietoa ja ohjeistusta. Nämä ovat tyypillisesti laadullisia kuvauksia tarkasteltavaksi edellytetyistä uhkakuviin liittyvistä paloskenaarioista, ja määräyksissä annettu tieto rajoittuu yleensä paloa koskeviin yleisiin ominaisuuksiin, kuten tulipalon sijaintiin, palokuorman laatuun, palon kasvunopeuteen sekä tulipalojen määrään. Palo-olosuhteiden määrittely kuuluu tyypillisesti paloturvallisuussuunnittelijan tehtävään ja hän muuttaa laadulliset kuvaukset mitattavissa oleviksi suureiksi. (SFPE 2007, s. 64-65)

### 3.2 Mitoituspaloskenaariot

Hankkeeseen liittyvä paloskenaariokokonaisuus voi olla hyvin laaja ja suunnittelun toteutusta varten skenaarioiden määrää joudutaan pienentämään. Suunnittelussa tarkasteltavat skenaariot, mitoituspaloskenaariot, pyritään valitsemaan niin, että ne edustaisivat hallittavaa määrää uhkakuviin liittyviä skenaarioita. Mitoituspaloskenaario on osa yhteen uhkakuvaan liittyvää skenaariokokonaisuutta. Sen on tarkoitus edustaa rakennuksen vakavinta ja riskiltään skenaarioiden uskottavinta pahinta uhkaa, ei pahinta mahdollista tai keskiarvoa. Silloin, kun kriittisimmän palon sijaintia ei voida varmuudella osoittaa, skenaariot joudutaan toistamaan useassa eri paikassa. Mitoituspalojen valinta voi perustua suunnittelijan arvioihin siitä, mitkä skenaariot aiheuttavat mahdollisesti suurimmat realistiset uhkat paloturvallisuudelle. Valinta voidaan tehdä myös riskiperusteisesti todennäköisyyksiin ja tapahtumataajuuksiin perustuvilla menetelmillä. Mitoituspaloskenaarioiden valinnan perusteena voivat olla myös hankkeen intressitahojen, esimerkiksi viranomaisten, näkemykset. Mitoituspaloskenaarioista ja niihin liittyvistä mitoituspaloista tulee sopia projektin alkuvaiheessa yhdessä tilaajan, toimivaltaisen viranomaisen sekä muiden mahdollisten asianosaisten kanssa. (SFPE 2006, s. 39-43; SFPE 2007, s. 60, 66)

Mitoituspaloskenaarioiden riskiperusteiseen valintaan voidaan käyttää esimerkiksi tapahtumapuuta, jossa paloskenaariot kuvataan tapahtumasarjoina, skenaariopolkuina. Kuvassa 7 on esitetty esimerkki yhdessä tarkasteltavassa paikassa syttyneen palon kehitykseen liittyvien tapahtumien sarjasta ja tapahtumasarjojen muodostamista skenaariopoluista. Tapahtumasarjan yksittäisten tapahtumien onnistumiseen ja epäonnistumiseen liittyvien todennäköisyyksien avulla voidaan konkretisoida skenaariopolkujen muotoutuminen ja mitoituspalon valinnan logiikka. Tämä niin kutsuttu tapahtumapuuanalyysi tuottaa skenaariopolkukokonaisuuden, jossa eri polkujen toteutumiselle määritettyjen todennäköisyyksien perustella suunnittelun

kannalta merkittävät mitoituspaloskenaariot voidaan tunnistaa ja valita jatkotarkasteluihin. (Korhonen & Hietaniemi 2004, s. 27-30; IFEG 2005, s. 2.2-5; Hurley 2016, s. 1268-1269) Kuvassa 7 parametri  $P_i$  kuvaa tarkasteltavan tapahtuman onnistumistodennäköisyyttä ja tekijä  $(1-P_i)$  kyseisen tapahtuman epäonnistumisen todennäköisyyttä. Eri polkujen toteutumisen todennäköisyys voidaan määrittää ketjun muodostavien tapahtumien todennäköisyyksien tulona. Mitoituspaloskenaarion tarkoituksena on edustaa riskiltään skenaarioiden uskottavinta pahinta tapahtumaa ja menetelmän tavoitteena on löytää hallittava määrä paloskenaarioita, jotka kattavat riittävän laajasti tarkasteltavaa tilannetta koskevat palouhat (SFPE 2007, s. 64). Jos tapahtumaketjulle määritetty todennäköisyys on hyvin alhainen, on sen toteutuminen niin epätodennäköistä, että sen aiheuttamat riskit voidaan hyväksyä. Tällöin voidaan katsoa, että kyseinen ketju ei edusta niin uskottavaa tapahtumaa, että se tulisi valita mitoittavaksi palotapahtumaksi.



**Kuva 7** Periaatekuva tapahtumapuun soveltamisesta kantavan rakenteen mitoituksessa käytettävän mitoituspaloskenaarion valinnassa. (Hurley 2016, s. 1268-1269)

Taulukossa 10 on esitetty standardiin ISO/TS 16733-1:2015 pohjautuva ja Partasen (2014, s. 14) esittämä paloskenaarioiden kehittämiseen ja mitoituspaloskenaarion valintaan soveltuva riskiperusteinen menetelmä, joka käyttää edellä esitettyä tapahtumapuuanalyysiä.

**Taulukko 10** Standardiin ISO/TS 16733-1:2015 pohjautuva riskiperusteinen menetelmä paloskenaarioiden kehittämiseen ja mitoituspaloskenaarioiden valintaan (Partanen 2014, s. 14).

Vaihe	Toiminto
Palon sijainti	Hahmota tila ja siellä olevat erityiskohdat, joissa palo voi alkaa.
Palon tyyppi	Mieti mahdollisen palon syttymissyitä, intensiteettiä ja kasvua.
Potentiaaliset palouhat	Tunnista paloskenaariot, jotka voivat tilassa kehittyä.
Paloon vaikuttavat laitteistot	Tunnista paloturvallisuuslaitteistot ja niiden ominaisuudet, joilla todennäköisesti on vaikutusta palon kulkuun ja savun liikkeisiin.
Ihmisten reagointi	Tunnista ihmisten tekemät toimenpiteet, joilla voi olla merkittävää vaikutusta (suosiollinen/heikentävä) palon kulkuun ja savun liikkeisiin.
Tapahtumapuu	Rakenna tapahtumapuu, jossa on otettu huomioon palotapahtuman vaihtoehtoinen kulku ja seuraukset syttymisestä paloskenaarion lopputulemaan (sammuminen / täydellinen tuho).
Todennäköisyydet	Arvioi jokaisen mahdollisen palotapahtuman esiintymisen todennäköisyyttä (palo/vuosi) hyödyntäen kirjallista tietoa tai suunnittelijan asiantuntemusta.
Seuraukset	Arvioi jokaisen mahdollisen palotapahtuman seurauksia ([kuolema/palo] tai [€/palo]) hyödyntäen kirjallista tietoa tai suunnittelijan asiantuntemusta.
Riskit	Pisteytä skenaariot riskin ([kuolema/vuosi] tai [€/vuosi]) suuruuden mukaan. Riskiä voidaan arvioida kertomalla skenaarion todennäköisyys sen seurauksilla.
Lopullinen valinta ja dokumentointi	Valitse käytetyn arviointimenetelmän perusteella vaarallisimmat paloskenaariot mitoituspaloskenaarioiksi jokaista paloturvallisuustavoitetta kohden. Valittujen skenaarioiden tulisi edustaa suurinta osaa riskien kokonaissummasta.

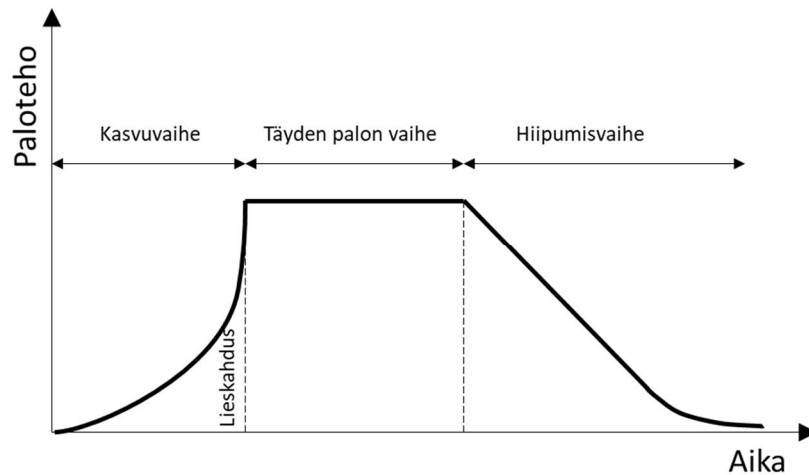


## 4. MITOITUSPALOT

Mitoituspalo on pahin mahdollinen todennäköisesti esiintyvä paloskenaario. Yleensä tutkitaan useita mahdollisia mitoituspaloja, joista valitaan simuloitavat paloskenaariot.

Mitoituspaloskenaariot mallinnetaan ottaen huomioon varsinainen mitoituspalo sekä rakennuksen ja tilan käyttäjien ominaisuudet. Toiminnallisessa palomitoituksessa palo pyritään esittämään mahdollisimman todenmukaisesti ja mitoituspalo(käyrä) koostuu yleensä syttymisvaiheesta, palon kasvuvaiheesta, täyden palon vaiheesta ja hiipumisvaiheesta. Käyrässä voidaan ottaa huomioon myös esimerkiksi automaattisen sammutuslaitteiston vaikutus. Mitoituspalo kuvataan usein ajan funktiona palotehon (lämmönluovutusnopeuden HRR), palokuorman tiheyden, myrkyllisten kaasujen tuoton ja savuntuoton avulla. Rakenteiden kestävyystarkasteleissa palon koko kesto on oleellinen, kun taas poistumissimulaatioiden mallinnuksessa riittää useimmiten aika, joka kuluu henkilöiden turvalliseen poistumiseen ennen täyden palon vaihetta. Simulointien avulla voidaan myös arvioida vallitsevia sammutusolosuhteita siinä vaiheessa, kun palokunta saapuu palopaikalle. (SFPE 2007, s. 72-79) Mitoituspaloskenaarioista on hyvä sopia projektin alkuvaiheessa yhdessä tilaajan, toimivaltaisen viranomaisen sekä muiden asianosaisten kanssa (Kokkala 2000, s. 19).

Palavan materiaalin luovuttaman palotehon kehittymistä ajan funktiona kuvataan palotehoikäyrällä, jonka tyypillinen muoto on esitetty kuvassa 8. Käyrän rajaama pinta-ala vastaa palossa vapautuvaa kokonaisenergiaa. Palon kasvuvaihe päättyy, kun joko polttoaineen tai hapen syöttönopeus paloon saavuttaa olosuhteiden määräämän suurimman mahdollisen arvonsa. Tulipaloa rajoittavana tekijänä voi olla myös esimerkiksi ulkopuolinen sammutus. Polttoaineen määrän vähetessä, paloteho alkaa jossain vaiheessa laskea maksimiarvostaan ja palo siirtyy hiipuvan palon vaiheeseen. Hiipumisvaiheen voidaan arvioida alkavan, kun 60-80 % palokuormasta on palanut ja päättyvän, kun palokuorma on palanut kokonaan. Hiipuvan palon palotehon aikariippuvuutta voidaan kuvata eksponentiaalisesti vaimenevana tai lineaarisesti vähenevänä funktiona. (Hietaniemi et al., 2007) Koska olosuhteet muuttuvat rakennuksen elinkaaren aikana, tulee palokuormana ja palonkehittymisnopeutena poikkeustapauksia lukuun ottamatta käyttää käytötavalle tyypillisiä arvoja (RIL 221-2003, kohta B.2.8.1.1). Paloteho vaikuttaa palotilan kaasun lämpötilan nousuun sekä kaasun ja savun leviämiseen (Outinen 2006).



**Kuva 8** Palotehokäyrän tyypillinen muoto lieskahtavalle palolle.

Palotehon avulla voidaan määrittää palotilan lämpötila. Tähän soveltaa paikallisen palon malleja, vyöhykemalleja tai laskennallista virtausdynamiikkaa soveltavia malleja (CFD) (SFS-EN 1991-1-2:2002, liitteet C ja D).

#### 4.1 Mitoituspalokäyrän mallintaminen

Mitoituspalokäyrän mallintaminen voi perustua alan kirjallisuuteen, polttokokeisiin tai teoriaan perustuviin laskentakaavoihin. Yleinen matemaattinen tapa kuvata palon tehoa sen kasvuvaiheessa ennen lieskahdusta on nk. potenssilakimalli, jossa paloteho määritellään kasvukertoimen  $\alpha$  [ $\text{kW/s}^2$ ] ja ajan  $t$  [s] avulla (ISO/TS 16733-2:2021, s. 20; BBRAD 2013, s.7):

$$HRR = \alpha \cdot t^2 \quad [\text{kW}] \quad (1)$$

Standardissa SFS-EN 1991-1-2 (2002, s. 86) paloteho on määritelty lausekkeella:

$$Q = 10^6 \cdot \left(\frac{t}{t_\alpha}\right)^2 \quad [\text{W}] \quad (2)$$

Parametri  $t$  [s] on aika ja kasvuaikatekijä  $t_\alpha$  [s] vastaa aikaa, joka kuluu palotehon kasvamisen alkamisesta siihen, kun paloteho saavuttaa 1 MW:n tehon. Ajan  $t_\alpha$  arvo riippuu palon oletetusta kehitymisnopeudesta taulukon 12 mukaisesti.

**Taulukko 12** Palon alkuvaiheen kehitystä kuvaava kasvukerroin  $\alpha$  (ISO/TS 16733-2:2021, s. 20-21) ja kasvuaikatekijä  $t_\alpha$  (SFS-EN 1991-1-2:2002; SFPE 2016, s. 1272) palon eri kehitymisnopeuksilla.

Palon kehitymisnopeus	Kasvukerroin $\alpha$ [ $\text{kW/s}^2$ ]	$t_\alpha$ [s]
Hidas	0,003	600
Keskinertainen	0,012	300
Nopea	0,047	150
Erityisen nopea	0,19	75

Palon kasvuvaihetta rajoittaa tasaisen palamisen vaihe, jossa paloteho asettuu vakiotasolle. Standardi SFS-EN 1991-1-2:2002 (taulukko E.5) määrittelee tälle vakiotasolle tilan käyttötavan riippuvia lämmönluovutusnopeuden maksimiarvoja ( $RHR_i$ ). Nämä standardin esittämät arvot ovat asiantuntija-arvioita ja niiden soveltuvuutta tulee arvioida tapauskohtaisesti (Hietaniemi 2007b, s. 21). Hapen saannin rajoittamassa palossa  $RHR_i$ :n määrittelemää tasoa pienennetään käytettävissä olevan happimäärän mukaan. Maksimipaloteho voidaan tällöin laskea esim. kaavasta (SFS-EN 1991-1-2:2002, s. 88):

$$Q_{max} = 0,1 \cdot m \cdot H_u \cdot A_v \sqrt{h_{eq}} \quad [\text{MW}] \quad (3)$$

jossa

$A_v$  on tilassa olevien aukkojen pinta-ala [ $\text{m}^2$ ];

$h_{eq}$  on aukkojen keskikorkeus [m];

$H_u$  on puun nettolämpöarvo  $H_u = 17,5 \text{ MJ/kg}$ ;

$m$  on palokuorman palava suhteellinen osuus  $m = 0,8$ .

Palotehoa voi rajoittaa myös palokuorman loppuminen, mutta mitoituspalon määrityksessä se voidaan ottaa huomioon, jos palavien aineiden määrä palo-osastossa voidaan määrittellä riittävän tarkasti rakennuksen tarkasteltavan elinkaaren ajalta (RIL 221-2003, s. 54).

Palotehokäyriä on esitetty useissa lähteissä (Hietaniemi 2007b; Hietaniemi & Rinne 2007; Hietaniemi & Mikkola 2010). Näiden lisäksi palon mallinnuksessa ja palotehon määrittämisessä on mahdollista hyödyntää stokastisia laskentatapoja. Epävarmuutta sisältävien suureiden vaikutukset mitoituspaloon voidaan ottaa huomioon esimerkiksi Monte Carlo -simuloinnin avulla. Simulaatioiden tuloksena saadaan suuri joukko palotehokäyriä, joista mitoituspalokäyräksi valitaan tilanne, joka kattaa likimain 100 % todennäköisyydellä kaikki simulaatioiden tuottamat käyrät. (Hietaniemi et al. 2002, s. 31-34 ja Liite B)

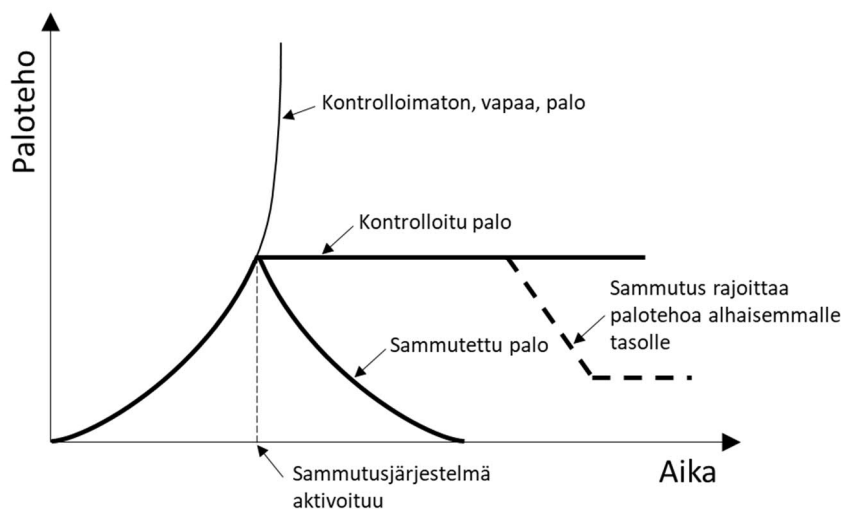
## 4.2 Sammutusjärjestelmän vaikutus palotehoon

Aktivoiduttuaan tulipalotilanteessa sammutusjärjestelmän tehtävä on joko sammuttaa alkanut palo tai rajata paloa hidastamalla palon kehitystä, rajoittamalla palotehoa ja jäähdyttämällä palotilan kaasuja ja savua (Mikkola et al. 2010a). Esimerkkeinä sovellusalueista annetaan:

- Rakenteiden kantavuus
- Suurten henkilömäärien altistuminen tulipalolle
- Uloskäytävien lukumäärän vähentäminen

Ympäristöministeriön asetuksen (YMa 927/2020, 13 §) mukaan oletettuun palonkehitykseen perustuvassa kantavien rakenteiden tarkastelussa lämpötilan hitaampi nousu ja kantavien rakennusosien jäähtyminen voidaan ottaa huomioon, kun rakennus on varustettu sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Asetus ei kuitenkaan anna tarkempaa ohjeistusta siitä, kuinka sammutuslaitteiston vaikutus otetaan huomioon palosimuloinneissa.

Kirjallisuudessa esitetään useita tapoja sammutuslaitteiston vaikutusten huomioon ottamiseksi. Kuvassa 9 on esitetty kolme periaatteellista tapaa, joilla sprinklerin vaikutusta palotehoon on kuvattu. Paloteho voidaan rajoittaa sprinklerin aktivoitumista vastaavalle vakiotasolle (kontrolloitu palo) siihen asti, kunnes koko palokuorma on palanut (IFEG 2005, s. 1.7-7). Paloteholla on myös esitetty konservatiivisena arviona sprinklereiden laukeamishetken verrattuna kaksinkertaista palotehon arvoa (Hietaniemi & Mikkola 2010, s. 26, Mikkola et al., 2010a, s. 28). On myös malleja, joissa paloteho pysyy vakiona jonkin aikaa sprinklereiden aktivoitumisen jälkeen ja laskee tämän jälkeen lineaarisesti tasoon, joka on esimerkiksi 1/3 aktivoitumishetken tehosta (BBRAD 2013, kohta 3.3.5). Tämä jälkimmäinen malli kuvaa sitä, että järjestelmä ei sammuta paloa, mutta rajoittaa sen alhaisemmalle tasolle. Kirjallisuudessa esitetään myös koetuloksiin perustuvia malleja, joissa sprinklereiden laukeamisen jälkeen paloteho alenee eksponentiaalisesti (Madrzykowski & Vettori 1992; Evans 1993; Hamins & McGrattan 1999; Hietaniemi 2007b, s. 135-136). Eksponentiaalisessa mallissa aleneminen riippuu mm. palotilan koosta, polttoaineesta, vesivuosta ja palotehosta.



**Kuva 9** Automaattisen sammutuslaitteiston vaikutus palotehoon.

Kansainvälisistä standardeista ja ohjeista nousee esille kaksi kontrolloidun vaiheen osalta toisistaan poikkeavaa lähestymistapaa automaattisen sprinklerijärjestelmän vaikutusten huomioon ottamiseksi. Näiden ero on siinä, mille tasolle kontrolloidun vaiheen paloteho asetetaan.

Palotehon voidaan olettaa pysyvän aktivoitumishetken tehoa vastaavalla tasolla tai sen voidaan olettaa pienenevän.

Vakiotasoa soveltava lähestymistapa (ISO/TS 16733-2:2021, S. 26; C/VM2 2017, luku 2.3.1; Mikkola et al. 2010a, kohta 3.1.5.2):

- Jos ensimmäisen sprinklerin lauetessa paloteho on ylittänyt 5 MW tason, katsotaan tilanne kontrolloimattomaksi paloksi ja lämmönluovutusnopeuden oletetaan jatkavan kasvua vapaata paloa vastaavasti (ellei kokeellisten tulosten avulla pystytä osoittamaan toisin);
- Jos paloteho sprinklerin laukeamishetkellä on enintään 5 MW, oletetaan sprinklereiden rajoittavan palotehon aktivoitumishetken tasolle ja pitävän sen tällä tasolla palokuorman loppuun palamiseen asti.

Palotehon asteittaista pienemistä soveltava lähestymistapa (BBRAD 2013, s. 8; INSTA 950 2014, s. 20). Tätä lähestymistapaa on sovellettu poistumisturvallisuuden tarkasteluihin.

- Jos ensimmäisen sprinklerin lauetessa paloteho on ylittänyt 5 MW tason, oletetaan sprinklereiden rajoittavan palotehon aktivoitumishetken tasolle;
- Jos paloteho sprinklerin laukeamishetkellä on enintään 5 MW, paloteho pysyy vakiona yhden minuutin ajan, minkä jälkeen se laskee lineaarisesti tasoon, joka on 1/3 aktivoitumishetken tehosta.

Standardi SFS-EN 1991-1-2:2002 Liite E esittää menetelmän, jolla aktiiviset palontorjuntatoimenpiteet voidaan ottaa huomioon palokuorman tiheyden mitoitusarvoa määritettäessä. Palokuormaa pienentävän kertoimen arvoksi on automaattisen sprinklerijärjestelmän tapauksessa annettu 0,61. Palokuormaa voidaan pienentää edelleen, jos sammutusjärjestelmään kuuluu toisistaan riippumattomia vesilähteitä. Menetelmää ei kuitenkaan sovelleta sellaiseenaan Suomessa (Ympäristöministeriö 2019).

Myös Uuden Seelannin määräyksissä sprinklereiden vaikutus mitoitukseen voidaan ottaa huomioon pienentämällä palokuormaa taulukon 13 mukaisilla kertoimilla. Kertoimia voidaan soveltaa vain silloin, kun mitoitus tarkastelu tehdään koko palokuorman määrittämälle palon kestolle (*full burnout*). Sprinklereiden lämmöntuottoa rajoittavaa vaikutusta ei kuitenkaan oteta huomioon. (C/VM2 2017, luku 2.3.1)

**Taulukko 13** Sprinklereiden vaikutus palokuormaan (palokuormaa pienentävä kerroin). (C/VM2 2017, taulukko 2.3 ja kohta 2.4)

Rakenne ja sen reunaehdot	Sprinklattu palo-osasto	Sprinkklaamaton palo-osasto
Kantavat rakenteet, joiden lämpöliikkeet on estetty	1	1,25
Muut rakenteet (ei kantavat sekä kantavat rakenteet, jotka eivät kuulu yläpuolella esitettyyn ryhmään)	0,5	1

Sprinklereiden toimintaa voidaan mallintaa myös laskennallista virtausdynamiikkaa (CFD) soveltavien ohjelmistojen avulla. Tällöin paloa ei määritellä palotehon avulla, vaan palamisen voimakkuutta rajataan maksimimassavuon parametrilla (Hietaniemi 2007b, s. 135). Simulaatioissa voidaan myös ottaa huomioon sprinklerin kaasua jäähdyttävä vaikutus.

### 4.3 Automaattisen sammutuslaitteiston aktivoituminen

Automaattinen sammutuslaitteisto aktivoituu, kun kuuman kerroksen lämpötila palon yläpuolella ja sprinklerin kohdalla nousee tasolle, joka laukaisee sprinklerin. Kun tilan koko ei ole suuri, tilan katto ei sijaitse korkealla, palo ei ole vielä kehittynyt suureksi, sprinklerit eivät sijaitse paloon nähden katveessa ja palon sammuttaminen on mahdollista muutaman sprinklerin avulla, voidaan sammutuksen olettaa alkavan samanaikaisesti sprinklerin aktivoitumisen kanssa (IFEG 2005, s. 2.7-7). Tämä oletus ei toteudu tyypillisissä liike- tai teollisuusrakennuksissa, joissa tilat ovat korkeita ja palon koko ja kasvunopeudet ovat suuria (IFEG 2005, s. 2.7-7). Ensimmäisen suuttimen laukeamisen hetkeä voidaan arvioida simulointimallin avulla (vapaa palon malli). Aktivoitumisajankohtaa voidaan arvioida myös iteratiivisesti käyttäen Alperin yhtälöitä (Mikkola et al., 2010a, kohta 3.1.5.2; ISO/TS 16733-2:2021, S. 25).

### 4.4 Automaattisen sammutuslaitteiston luotettavuus

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta esittää perustelumuihistiossa (YMa 848/2017 perustelumuihistio, s. 43), että automaattisen sammutuslaitteiston luotettavuus tulee ottaa huomioon suunnittelussa mahdollisten seuraamusten mukaisesti. Määritettäessä laitteistojen kokonaisluotettavuutta tulee niiden toimintavarmuuden lisäksi ottaa huomioon laitteiston saatavissa oleminen ja toimintatehokkuus (Bukowski et al. 2002, Ahrens 2017, Nystedt 2011, s. 57-58).

- Toimintavarmuus (*operational reliability, performance reliability*) kuvaa todennäköisyyttä, jolla laitteisto toimii tarvittaessa. Sprinklerilaitteistojen toimintavarmuutta voidaan arvioida mm. systeemipohjaisesti palotapahtumatilastojen avulla tai komponenttipohjaisesti käyttäen kohdekohtaiseen sprinklerilaitteiston kytkentäkaavioon perustuvaa vikapuuanalyysiä.

- Saatavissa olo (*availability*) kuvaa todennäköisyyttä, että laitteisto on käytettävissä tarvittaessa. Sprinklerilaitteisto voi olla pois käytöstä esimerkiksi laitteiston huollon tai rakennuksessa tehtävän korjaustyön takia. (Marsh 2008) Jos rakennusten paloturvallisuus on varmistettu näissä tilanteissa jollain muulla tavalla, esimerkiksi vartioinnilla, voidaan saatavissa olon vaikutus jättää laskelmissa huomioon ottamatta. Saatavissa oloa voidaan valvoa myös kytkemällä laitteiston komponentteihin, esimerkiksi sulkuventtiileihin, automaattiset hälyttimet, jotka varoittavat, jos venttiili on esimerkiksi huollon yhteydessä jäänyt kiinni ja laitteisto ei ole toimintavalmiudessa.
- Toimintatehokkuudella (*performance effectiveness*) kuvataan todennäköisyyttä, jolla järjestelmän toimiessa se toimii tehokkaasti. Tilastotiedon perusteella sprinklerijärjestelmät ovat pystyneet hallitsemaan paloa tehokkaasti 96-99 % niistä paloista, joissa järjestelmät ovat toimineet (William et al. 2005; Hall 2013; Ahrens 2017; Optimal Economics 2017). Laitteiston tehokkaan toiminnan onnistumista voidaan arvioida esimerkiksi avautuvien sprinkleripäiden määrän perusteella. Mikäli avautuvien sprinkleripäiden lukumäärä ylittää suunnitteluarvon, yksittäisestä sprinkleripäästä vapautuva vesimäärä voi jäädä suunniteltua vähäisemmäksi. Tehokkuus voidaan ottaa mukaan analyysiin esimerkiksi määrittämällä todennäköisyys sille, että avautuvien sprinkleripäiden lukumäärä ylittää mitoitusarvon. (Nieminen 2018, s. 27; Rönty et al. 2004; Maryatt 1988; Linder 1993; Solomon 1997)

Automaattisen sammutuslaitteiston kokonaisluotettavuus kuvaa siis todennäköisyyttä, jolla laitteisto on saatavissa, komponentit ovat toimintakunnossa ja laitteisto pystyy tehokkaasti sammuttamaan tai rajoittamaan tulipalon. Kokonaisluotettavuus voidaan määrittää edellä esitettyjen kolmen tekijän tulona. (Budnick 2001; Marsh 2008)

Sammutuslaitteiston luotettavuutta arvioidaan tyypillisesti kahdella eri tavalla. Systeemipohjaisessa lähestymistavassa koko laitteiston toimintavarmuusarvio perustuu tilastoihin, jotka on koottu sprinklerilaitteistojen toiminnasta aiemmissa todellisissa palotapahtumissa. Komponenttipohjaisessa tarkastelussa luotettavuutta arvioidaan kohdekohtaisesti laitteiston kytkentäkaavion perusteella muodostetun vikapuun sekä laitteiston osana toimivien komponenttien vikaantumistodennäköisyyksien avulla.

#### **4.4.1 Systeemipohjainen luotettavuusanalyysi**

Automaattisten sammutuslaitteistojen luotettavuuden systeemipohjainen tarkastelu perustuu eri maiden palotilastoihin sekä eri aikakausilta koottuun tilastolliseen aineistoon. Taulukkoon 14 on koottu joidenkin tuoreimpien tutkimusten tuloksia. Taulukosta nähdään, että tutkimuksissa raportoidut luotettavuuden tasot vaihtelevat jonkin verran, mikä johtuu mm. aineistojen erilaisuudesta, eroista onnistuneeseen sammutuksen liittyvissä tulkinnoissa sekä kriteereistä,

joiden perusteella palot on valittu mukaan tutkimukseen. Osassa tutkimuksia epäonnistuneisiin sammutuksiin on luettu myös sellaiset tapaukset, joissa tulipalo oli sprinklatun alueen ulkopuolella tai palotilan lämpötilat eivät nousseet tasolle, jossa sprinkleri olisi aktivoitunut. Tutkimuksissa esitetty yleinen syy sammutuksen epäonnistumiselle on myös tilanne, jossa laitteisto ei ole ollut saatavissa. Yhdysvaltojen tilastoihin perustuvassa tutkimuksessa (Ahrens 2021) sammutuksen epäonnistumisissa 57 % tapauksista laitteisto ei ollut saatavissa. Tällaisia inhimillisen virheen vaikutuksia voidaan pienentää sprinklerilaitteistojen automaattisilla valvontailmoituksilla, joiden avulla voidaan valvoa esimerkiksi sulkuventtiileiden auki olemista. Ilmoituksilla voidaan parantaa laitteiston toimintavarmuutta.

Käytettävän aineiston laatu on keskeinen vaatimus onnistuneelle systeemipohjaiselle luotettavuusarvioille ja, koska monien tutkimusten aineistona olevat palotilastot ovat puutteellisia tai niitä ei ole saatavilla, ei eri lähteiden yhtenäinen analyysi ole mahdollista ja tulosten suora soveltaminen todennäköisyyspohjaiseen riskitarkasteluun ja kohdekohtaiseen palotekniseen suunnitteluun on vaikeaa. Taulukosta 14 voidaan nähdä, että tilastojen perusteella määritetyt automaattisten sammutuslaitteistojen toimintavarmuudet sijoittuvat yleisesti 90 % – 98 % tasolle, ollen erityisesti asuntojen osalta 95 % – 98 %.

Kuten edellä esitettiin, osassa tutkimuksista epäonnistuneet sammutukset sisältävät myös tapauksia, joissa laitteistolla ei ollut edes edellytyksiä toimia. Nämä toimintaedellytykset liittyvät laitteiston saatavissa oloon ja tapausten erottaminen toimintavarmuutta koskevasta tarkastelusta nostaisi taulukossa 14 esitetyjä laitteiston toimintavarmuuksia ainakin Yhdysvaltoja koskevien tulosten osalta. Jos esimerkiksi Ahrensin (2021) tutkimuksen epäonnistuneista sammutuksista rajattaisiin pois tapaukset, joissa laitteisto ei ollut saatavissa (57%), nousisivat toimintavarmuudet arvoihin 97,8 % (asunnot) ja 95,4 % (myymälät, toimistot).

**Taulukko 14** Sprinklereiden luotettavuus eri tutkimuksissa.

Tutkimus	Toimintavarmuus [%]	Tehokkuus [%]	Luotettavuus [%]
Nieminen 2018 (Suomi)	98		
Ahrens 2021 (USA, asunnot)	95 *	97	92
Ahrens 2021 (USA, myymälät, toimistot)	90 *	96	86
Optimal Economics 2017 (UK, asunnot)	97	99	96
Optimal Economics 2017 (UK, kaikki)	94	99	93
Frank et al. 2012 (Uusi Seelanti)			86
* Sisältää myös tapaukset, joissa laitteisto ei ole ollut saatavissa			

Nieminen (2018, s. 40) on arvioinut Pelastuslaitoksen ylläpitämän PRONTO-tietokannan avulla Suomen palotilastoihin perustuvaksi sprinklerilaitteistojen toimintavarmuudeksi 98 %. Systeemipohjainen tutkimus perustui vuosina 1996 – 2016 automaattisella sprinklerilaitteistolla yleissuojatuissa rakennuksissa tapahtuneiden tulipalojen analyysiin. Sammutusaineen

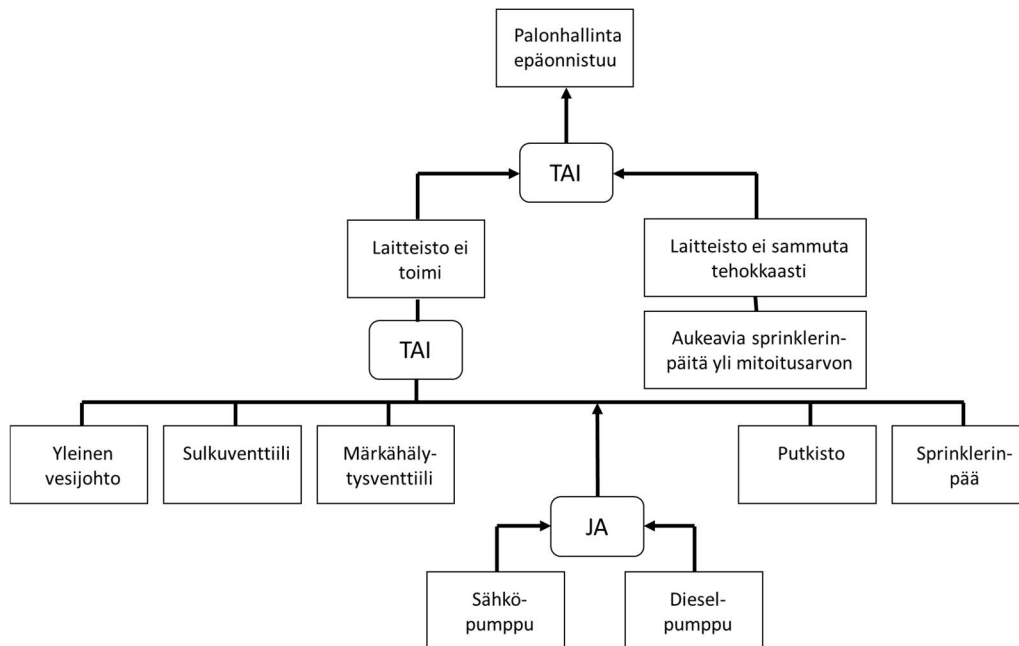


osalta tutkittiin vain vettä. Laitteistojen luotettavuutta arvioitiin ensisijaisesti kantavien rakenteiden palonkestävyydeltä tarkastelujen näkökulmasta ja aineistoon sisällytettiin ainoastaan tulipalot, jotka nähtiin potentiaalisena uhkana rakenteille. Tulipalojen tuli olla myös sellaisia, että sprinklerilaitteistojen voitiin olettaa reagoivan niihin. Pienet tulipalot, joissa lämpötila ehdi nousta sprinklereiden reagoinnin edellyttämälle tasolle ennen kuin tulipalo sammuu itsestään tai se sammutetaan joko alkusammutuksella tai pelastuslaitoksen toimesta, rajattiin tarkastelujen ulkopuolelle. Tarkastelujen ulkopuolelle rajattiin myös sellaiset tulipalot, jotka ovat tapahtuneet sprinklerilaitteistolla suojatun alueen ulkopuolella. Suojatun alueen ulkopuolella sprinklereiden vaikutusta oteta myöskään huomioon rakenteiden mitoituksessa. Aineisto sisältää sekä vanhoja että uusia laitteistoja, eikä niitä ole voitu tutkimuksessa eritellä.

Luotettavuuden tasoa arvioitaessa huomioitavaa on myös se, että tutkimusten perusteella nykyaikaisemmat järjestelmät toimivat luotettavammin kuin vanhat laitteistot (Mikkola et al. 2016, s. 9) Tutkimuksen Hall (2013) perusteella myös sprinkleriasennuksen tyyppi vaikuttaa luotettavuuteen ja märkämenetelmälle määritetty luotettavuus on n. 10 % korkeampi kuin kuivamenetelmälle määritetty luotettavuus.

#### **4.4.2 Komponenttipohjainen luotettavuusanalyysi**

Automaattisen sprinklerilaitteistojen komponenttipohjaisessa tarkastelussa luotettavuutta arvioidaan kohdekohtaisesti sprinklerilaitteiston ja -järjestelmän kytkentäkaavion perusteella muodostetun vikapuun sekä laitteiston osana toimivien keskeisten komponenttien vikaantumistodennäköisyyksien avulla. Järjestelmän toiminnan mukaiseen vikapuuhun sisällytettäviä komponentteja voivat olla esimerkiksi vesilähteet, pumpput, sprinkleripäät, putkistot sulkuventtiilit ja märkähälytysventtiilit. Kuvassa 10 on esitetty periaatekuva laitteiston vikapuusta. Laitteiston kokonaistoiminnan kannalta ei-toivottu tapahtuma on, että ”palonhallinta epäonnistuu”. Laitteiston reaktiota yksittäisen komponentin vikaantumiseen kuvataan loogisilla JA- sekä TAI-porteilla. Vikaantuminen voi johtaa suoraan ei-toivottuun tapahtumaan (TAI-portti) tai vastaus sitten, kun vikaantuminen tapahtuu yhdistelmänä joidenkin muiden rinnakkaisten komponenttien vikaantumisen kanssa (JA-portti). Ei-toivotun tapahtuman todennäköisyys eri tapauksissa voidaan määrittää kuvassa 6 esitetyllä periaatteella ja kaavoilla. (Moinuddin et al. 2008; Frank et al. 2013; Hauptmanns et al. 2018; Nieminen 2018)



**Kuva 10** Periaatekuva sprinklerilaitteiston vikapuumallista.

Sprinklerilaitteistojen komponenttien vikaantumistodennäköisyydet voidaan määrittellä suoraan vikaantumisen todennäköisyytenä tarvittaessa tai vikaantumistaajuutena. Vikaantumistaajuus  $\lambda$  [ $a^{-1}$  tai  $h^{-1}$ ] voidaan muuttaa vikaantumisen todennäköisyydeksi tarvittaessa  $P$  kaavalla (Moinuddin et al. 2008):

$$P = 1 - e^{-\lambda t} \quad [-] \quad (4)$$

Kaava olettaa vikaantumistaajuuden pysyvän ajan suhteen vakiona ja komponentin tarkastusvälinä  $t$  [a tai h] tulee käyttää tarkastusväliä, jota sovelletaan juuri kyseisen laitteiston kyseiseen komponenttiin (Frank et al. 2013). Tarkasteluissa käytettyjen tarkastusvälien tulee vastata sprinklerilaitteiston kunnossapito-ohjelmaa (Finanssialan Keskusjärjestö 2007).

Taulukkoon 15 on koottu kirjallisuudessa esitetyt komponenttien vikaantumisen todennäköisyyksiä tarvittaessa. Osasta taulukon tutkimuksia on saatavilla vain tulokset ja raportoitujen lukuarvojen luotettavuutta on vaikea arvioida ilman tarkempaa lähtöaineistoa (Nieminen 2018). Silloin, kun eri lähteiden antamissa vikaantumistodennäköisyyksissä on suurta vaihtelua tai lähtöarvojen tiedetään olevan epätarkkoja, voidaan tämä ottaa laskennassa huomioon Monte Carlo -simuloinnin avulla. Rönty et al. (2004) esittää sprinklerilaitteistojen komponenttien vikaantumistaajuuksia, jotka perustuvat Suomessa vuosilta 1985 – 1997 kerättyyn aineistoon.

**Taulukko 15** Sprinklerilaitteiston komponenttien vikaantumisen todennäköisyyksiä tarvittaessa (Watanabe 1979; Moelling et al. 1980; Finucane & Pickney 1989; Nash & Young 1991; Feeney 2001; OREDA 2002; Rönty et al. 2004; Moinuddin et al. 2008; Marsh 2008; Brammer 2010) ja Finanssialan Keskusjärjestön suositusten mukaiset komponenttien tarkastusvälit (Finanssialan Keskusjärjestö 2007).

Sprinklerilaitteiston komponentti	Vikaantumisen todennäköisyys tarvittaessa	Tarkastusväli [kuukautta]
Yleinen vesijohto	$8,0 \times 10^{-6} - 3,8 \times 10^{-4}$	3
Vesiallas	$0,0 - 2,3 \times 10^{-4}$	1
Sulkuventtiili	$1,7 \times 10^{-4} - 2,5 \times 10^{-3}$	1
Märkähälytysventtiili	$3,3 \times 10^{-6} - 2,0 \times 10^{-3}$	1
Sähkömootorikäyttöinen pumppu	$5,0 \times 10^{-5} - 1,3 \times 10^{-2}$	3
Dieselmootorikäyttöinen pumppu	$1,9 \times 10^{-4} - 8,4 \times 10^{-2}$	3
Sprinkleriputkisto (per m)	$2,8 \times 10^{-7} - 1,3 \times 10^{-5}$	1
Sprinkleripää	$1,4 \times 10^{-5} - 3,0 \times 10^{-3}$	1
Yksisuuntaventtiili	$1,1 \times 10^{-3} - 2,5 \times 10^{-3}$	3
Käynnistyspainekeytkin	$9,0 \times 10^{-4} - 7,8 \times 10^{-3}$	1
Valvontailmoitukset	$3,3 \times 10^{-2}$	3
Kuivahälytysventtiili	$8,0 \times 10^{-5} - 8,0 \times 10^{-4}$	6-12

Laitteiston toimintatehokkuuden onnistumista voidaan arvioida esimerkiksi avautuvien sprinkleripäiden määrän perusteella. Mikäli avautuvien päiden lukumäärä ylittää suunnitteluarvon, yksittäisestä sprinklerinpäästä vapautuva vesimäärä voi jäädä suunniteltua vähäisemmäksi. Taulukkoon 16 on koottu sprinklerilaitteiston toimintatehokkuuden arviointia varten todennäköisyyksiä sille, että avautuneiden sprinklereiden määrä ylittää mitoitusarvon.

**Taulukko 16** Todennäköisyys sille, että avautuneiden sprinklereiden lukumäärä ylittää mitoitusarvon (Nieminen 2018, s. 55). Todennäköisyydet on koottu lähteistä: Marrayatt 1988; Kokkala 1997; Rönty et al. 2004; Linder 1993; Automatic Sprinkler Performance Tables 1970; Lessons of a high-rise fire 1976; Solomon 1997).

Sprinkleriluokka	Todennäköisyys, jolla avautuneiden sprinklereiden lukumäärä ylittää mitoitusarvon
OH1	$2,4 \times 10^{-2}$
OH3	$1,8 \times 10^{-3}$
OH4	$8,0 \times 10^{-4}$
HHS	$4,9 \times 10^{-4}$

Inhimillisillä virheillä on merkittävä vaikutus luotettavuustasoon ja ne tulee ottaa aina huomioon kohdekohtaisesti. Tällaisia tekijöitä ovat mm. ylläpidon ja huollon laiminlyönti sekä laitteistojen vääränlainen asennus.

### 4.4.3 Ylläpidon vaikutus sprinklerilaitteiston toimintavarmuuteen

Sprinklerilaitteiston ylläpidolla varmistetaan laitteiston luotettava toiminta koko käyttöiän ajan. Ylläpito käsittää toimintavalmiuden valvonnan, laitteiston huollon ja korjauksen, laitteiston tehokkaan toiminnan varmistamisen tulipalossa sekä tehtyjen toimenpiteiden ja tapahtumien dokumentoinnin. Ylläpito tulee toteuttaa kunnossapito-ohjelman mukaisesti (Finanssialan Keskusliitto 2007).

Suunnittelussa tehdyistä oletuksista poikkeava kunnossapito ja oletettua pitemmät huoltovälit pienentävät luotettavuutta merkittävästi. Sprinklerilaitteiston komponentin toimintavarmuus riippuu kyseisen komponentin tarkastusvälin pituudesta. Finanssialan Keskusliitto (2007) julkaisemassa sprinklerilaitteiston kunnossapito-ohjelman laadintaohjeessa on sammutuslaitteiston eri komponenteille määritelty tarkastusvälit, jotka vaihtelevat tyypillisesti 1 ja 3 kuukauden välillä. Komponenttipohjaisessa luotettavuusanalyysissä osakomponenttien vaurioitumistodennäköisyydet määritetään tarkastusvälin ja komponentin vikaantumistaajuuden avulla. Jos laitteiston tarkastusvälit poikkeavat suunnittelun oletuksista, ei laitteiston toimintavarmuus ole enää suunnitelmaa vastaava. Tutkimuksessa Salminen et al. (2019, s. 29) kauppakeskuk- sen sprinklerilaitteistolle määritetty luotettavuus Finanssialan Keskusliiton suositusten mukaisia tarkastusvälejä noudattaen oli 98,9 %. Jos tarkastusväli kasvatetaan 6 kuukauteen, laskee laitteistolle laskettu luotettavuus arvoon 97,0 %. Vastaavasti 12 kuukauden tarkastusvälillä luotettavuus on 94 % tasolla. Tieto sammutuslaitteiston toimintavarmuutta ja luotettavuutta määrittämisessä oletetuista tarkastusväleistä tulisi kirjata suunnitteluasiakirjoihin sekä järjestelmien huolto-ohjeisiin ja näitä ohjearvoja tulisi noudattaa rakennuksen huollossa ja ylläpidossa. Kunnossapidon vaikutuksia luotettavuuteen voidaan arvioida herkkyystarkasteluiden avulla.

## 4.5 Pelastuslaitoksen sammutustoiminnan vaikutus

Pelastuslaitoksen sammutustoiminnan tehokkuus ja mahdollinen vaikutus mitoituspalon paloteh-  
tehoon riippuu yleensä palon voimakkuudesta hetkellä, jolloin palon sammuttaminen alkaa. Sammutustoiminnan vaikutus palon kehitykseen voidaan ottaa huomioon kolmella eri tavalla (IFEG 2005, s. 1.9-1 ja 1.9-7):

- Ei vaikutusta: Oletetaan, että palokunta saapuu paikalle vasta sen jälkeen, kun palo on ohittanut kasvuvaiheen ja palo-osasto on täyden palon vaiheessa. Monissa paloteknisen suunnittelun osa-alueissa, kuten poistumistarkasteluissa, sammutustoiminnan vaikutusta ei oteta huomioon;
- Rajoittaa paloa: Palotehon oletetaan vakiintuvan sille tasolle, jolla se oli, kun sammutus alkoi. Palokunnan toimintakyvyn katsotaan riittävän palon rajoittamiseen, mutta pa-

lon sammuttaminen on mahdollista vasta sen jälkeen, kun koko palokuorma on palanut. Tämän on katsottu olevan konservatiivinen oletus. Tarkastelutapaa on sovellettu mm. silloin, kun palavan kohteen saavutettavuus on ollut rajoitettu;

- Sammuttaa palon: Sammutusajan lisäksi määritetään millä nopeudella paloteho pienenee. Joissain tapauksissa sammutusvaiheen palotehonkehityksen on oletettu olevan kasvuvaiheen kehityksen peilikuva.

Jos pelastuslaitoksen sammutustoiminnan vaikutus otetaan palonkehityksessä huomioon, edellyttää se mm. seuraavien asioiden arvioimista (ISO 16733-1:2015, s. 26):

- Palokunnan henkilöstön valmiudet ja koulutus sekä se, onko henkilöstö käytettävissä palon syttymishetkellä;
- Vaste- tai toimintavalmiusaika, jonka kuluessa ensimmäisen pelastusyksikön tulisi olla onnettomuuspaikalla. Aika alkaa siitä, kun ensimmäinen yksikkö vastaanottaa hälytyksen ja päättyy siihen, kun pelastusryhmä aloittaa tehokkaan pelastustoiminnan (Aluehallintovirasto 2017);
- Kohteen paikantaminen, paloautojen pääsy palopaikalle, tulipalon paikantaminen palopaikalla, paloletkujen levitys ja kytkeminen.

Toimintavalmiusajan määrittelee paloviranomainen ottaen myös huomioon tiedusteluun, selvityksiin ja tehokkaan pelastustoiminnan alkamiseen kuluvan ajan (RIL 221-2003, kohta B.2.11.1). Tillander et al. (2009, s. 12-13, 69-72) esittää toimintavalmiusajan kertymäkuvaajia eri pelastustoimien alueilla Suomessa. Palokunnan toimintavalmiusajan jakaumana käytetään pelastuslaitoksen tilastoa (Ketola et al. 2019) ja toimintavalmiusaikana jakauman 90 % fraktiilia (Tillander et al. 2009).

## 4.6 Paikallinen palo

Mikäli voidaan osoittaa, ettei palotilassa tapahdu lieskahdusta, voidaan mitoitus tehdä käyttäen paikallisia paloja, jotka on määritetty kattamaan rakennuksessa todennäköisesti odotettavissa olevat palon uhkakuvat (RIL 195-1-2018). Lieskahduksen katsotaan tapahtuvan, kun kaasun lämpötila kuumassa savukerroksessa saavuttaa 500 °C lämpötilan tai, kun savukerroksesta lattiaan kohdistuva lämpösäteily on yli 20 kW/m<sup>2</sup>. (YMa 848/2017, taulukko 4) Silloin kun paikallisen palon kehittymistä mallinnetaan kaksivyöhykemallilla, lieskahduksen katsotaan tapahtuvan, kun ylemmän lämpötilavyöhykkeen korkeus saavuttaa 80 % tilan korkeudesta (SFS-EN 1991-1-2:2003, s. 76; Teräsrakenneyhdistys 2019a, s.4).

Ympäristöministeriön asetuksen perustelumuistion (YMa 848/2017 perustelumuistio, 13 §) mukaan paikallisen palon mitoittava palotehokäyrä on määritettävä tapauskohtaisesti. Mitoitettavia palotehokäyriä voi olla useampia riippuen esimerkiksi paikallisen palon sijainnista altistuvaan kohteeseen nähden. Paikallisen palonkehityksen laskentaan voidaan käyttää yksinkertaisia pääosin parametrisia malleja, vyöhykemalleja tai laskennallista virtausdynamiikkaa soveltavia malleja. Paikallisesta palosta aiheutuvaa lämpörasitusta sekä kantavaan rakennosaan tulevaa lämpövuota voidaan arvioida standardin SFS-EN 1991-1-2:2003 opastavassa liitteessä C esitettyjen lausekkeiden avulla. Lausekkeilla voidaan määrittää kaasun lämpötila pitkin palopatsaan pystysuuntaista symmetria-akselia tilanteessa, kun liekki ei törmää kattoon, sekä katon korkeudella olevaan palolle altistettuun pintaan kohdistuva nettolämpövuoto tilanteessa, jossa liekki törmää kattoon. Palopatsaan ulkopuolella sijaitsevaan pystyrakenteeseen kohdistuvan lämpösäteilyn laskentaan voidaan soveltaa Vassart et al. (2017) kehittämää menetelmää. Menetelmää on esitetty sisällytettäväksi tulevaan uuteen SFS-EN 1991-1-2 standardiversioon. Paikallisesta palosta aiheutuvaa lämpörasitusta ja -vuota voidaan arvioida myös laskentaohjelmien, kuten OZone, avulla.

## 5. VAATIMUSTEN TÄYTTYMISEN OSOITTAMINEN

Ympäristöministeriön asetus (YMa 848/2017, 3 §) edellyttää, että rakennus käyttötarkoituksensa mukaisesti täyttää paloturvallisuudelle asetetut olennaiset tekniset vaatimukset. Vaatimuksen täytyminen on todennettava tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö. Asetus (YMa 848/2017) edellyttää, että oletettuun palonkehitykseen perustuvassa suunnittelussa käytetään menetelmiä, joiden kelpoisuus on osoitettu. Eurooppalaisten (EN) ja kansainvälisten (ISO) standardien mukaisten koe- ja laskentamenetelmien voidaan katsoa täyttävän kelpoisuusvaatimukset, mikäli standardin soveltuvuus käyttökohteeseen on perusteltu ja sovellus on ko. menetelmän pätevyysalueella (YMa 848/2017 perustelumuistio, 3 §). Eri standardijärjestelmiin kuuluvia standardeja ei saa käyttää yhdessä.

On suositeltavaa, että vaatimusten täyttymisen osoittamiseen sovellettavista arviointimenetelmistä ja hyväksymiskriteereistä neuvotellaan ja sovitaan keskeisten sidosryhmien ja hyväksynnän myöntävän tahon kesken jo hankkeen varhaisessa vaiheessa.

### 5.1 Rakenteiden kantavuus

Ympäristöministeriön asetukset (YMa 848/2017; YMa 927/2020, 13 § ja taulukko 4) esittävät oletettuun palonkehitykseen perustuvat kantavien rakenteiden mitoitusta koskevat toiminnalliset vaatimukset, mitoitusperusteet sekä vähimmäispalokuormat. Asetuksen mukaisesti tarkastelu tehdään lähtökohtaisesti täysin kehittyneelle palolle. Mikäli voidaan osoittaa, että lieskahtamista ei tapahdu, mitoitus voidaan tehdä paikalliselle palolle. Vaatimukset edellyttävät, että rakennus ja sen rakennusosat eivät aiheuta vaaraa sortumisen vuoksi määrättyä aikana palon alkamisesta. Tähän aikaan voidaan lukea mm. poistumiseen, pelastamiseen ja palon hallintaan saamiseen tarvittava aika. Jos henkilöturvallisuuden takaamiseksi tai vahinkojen rajoittamiseksi on tarpeellista (2-kerroksiset henkilöturvallisuuden kannalta vaativat rakennukset ja yli 2-kerroksiset rakennukset), rakennuksen on riittävän luotettavasti kestävä sortumatta koko palokuorman palaminen ja palon jäähtymisvaihe (ilman sammuttamista).

Kantavien rakenteiden vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa mm. kokeellisesti, laskennallisesti, yhdistämällä koe- ja laskennalliset tulokset tai käyttämällä hyväksyttävää taulukkomitosta (Mikkola et al. 2010b, s. 29). Kantavuustarkastelut kohdistuvat rakennuksen kantavaan runkoon ja mitoituksessa osoitetaan, että rakenteiden rasitukset eivät palon aikana ylitä rakenteiden kestävyyttä. Erityisissä tapauksissa kantavuusvaatimusta voidaan edellyttää

myös rakenteilta, jotka eivät ole kantavan rungon olennaisia osia. Nämä ei-olennaiset rakenteet voivat liittyä esimerkiksi yksittäisten rakennusosien putoamisen henkilöturvallisuuteen kohdistamaan vaaraan.

Palolle altistettujen rakenteiden rasituksia koskevan standardin SFS-EN 1991-1-2:2003 ja sen kansallisen liitteen mukaan oletettuun palonkehitykseen perustuvassa palomitoituksessa voidaan käyttää luonnollisen palon malleja tai muita nimellisiä lämpötilakäyriä. Palomitoituksessa sovellettavat laskentamenetelmät esitetään materiaaliakohtaisissa eurokoodien osissa, kuten EN 1993-1-2 (teräsrakenteet), EN 1992-1-2 (betonirakenteet) ja 1995-1-2 (puurakenteet) sekä näiden kansallisissa liitteissä. Jos kuormitukset määritetään EN-standardien mukaisesti, on myös rakenteen kestävyys määritettävä EN-standardien mukaisesti.

Suunnittelussa otetaan huomioon murtorajatila, jonka saavuttamisen jälkeen rakenteen laskeutu siirtymätila aiheuttaisi murtumisen, joka aiheutuu jonkin rakenneosan riittävän tuen menetyksestä. Kaikki mahdolliset murtumismuodot, joita edistynyt laskentamenetelmä ei kata (esim. teräsrakenteiden paikallinen lommahdus), tulee eliminoida tarkoituksenmukaisella tavalla. (SFS-EN 1993-1-2:2005, s. 39 & 40) Tarkasteluissa tulee myös ottaa huomioon rakenteiden siirtymien ja taipumien vaikutus mahdollisen palosuojauksen kiinni pysymiseen. Palonkestävyydeltä tarkasteluissa tulee ottaa huomioon mm:

- Rakenteiden sortuminen;
- Jatkuvan sortuman estäminen;
- Rakenteiden stabiliteetin ja tuennan säilyminen;
- Rakenteiden ja rakennuksen jäykkyyden säilyminen;
- Kantavien rakenteiden vaikutus osastoivuuden säilymiseen;
- Suuret siirtymät ja muodonmuutokset.

Kantavia rakenteita koskevat materiaaliakohtaiset mitoitusohjeet on annettu eurokoodin osissa SFS-EN 1992 – 1999 ja niitä koskevissa kansallisissa valinnoissa. Murtumista voidaan arvioida esimerkiksi vertaamalla rakenneosien palon aikaisia rasituksia rakenneosien kestävyysiin ja osoittamalla, että kestävyyydet eivät ylitä. Tarkastelulla voidaan myös osoittaa, että rakenteen lämpötilat pysyvät niin alhaisina, ettei sortuman vaaraa ole. Eurokoodi esittää myös, että murtorajatilassa syntyviä siirtymiä tulee rajoittaa, jotta varmistetaan rakenteen kaikkien osien välisen yhteensopivuuden säilyminen. Se ei kuitenkaan määrittele murtorajatilaa vastaavan siirtymätilan raja-arvoja. Rakenteen muodonmuutoksia ja siirtymiä voidaan arvioida kehittyneillä laskentamenetelmillä.



Oletettuun palonkehitykseen perustuvassa palomitoituksessa riittävää luotettavuustasoa arvioidaan tapauskohtaisesti ottaen huomioon mm. kohteen käyttötarkoitus, henkilömäärä, kerrosluku, korkeus ja palokuorma. Korkeilla rakennuksilla luotettavuusvaatimus on korkeampi kuin matalammilla, ja niille asetetaan korkeampi R-luokkavaatimus suhteessa palokuormaan (YMa 848/2017 perustelumuistio, 12 §). Rakenteellinen palomitoitus käsittää palotilan sekä rakenteen lämpötilojen määrittämisen sekä rakenneanalyysin (Teräsrakenneyhdistys 2008, taulukko 2).

### 5.1.1 Palotilan ja rakenteen lämpötilat

Oletettuun palonkehitykseen perustuva kantavien rakenteiden mitoitus voidaan tehdä paikalliselle palolle, mikäli voidaan osoittaa, että lieskahdusta ei tapahdu (esim. palokuorma on paikallinen tai pieni suhteessa palo-osaston tilavuuteen ja/tai automaattisen sammutuslaitteiston voidaan olettaa rajoittavan palon leviämistä). Muissa tapauksissa lieskahduksen oletetaan tapahtuvan. Lieskahtamisen katsotaan tapahtuneen, kun kuuman savukerroksen keskilämpötila saavuttaa tason 500 °C tai, kun savukerroksesta lattiaan kohdistuva lämpösäteily on yli 20 kW/m<sup>2</sup> (SFS-EN 1991-1-2:2003). Tilassa, joka on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla, voidaan ottaa huomioon lämpötilan hitaampi nousu sekä kantavien rakennusosien jäähtytys.

Eurokoodit (mm. SFS-EN 1991-1-2:2003, SFS-EN 1992-1-2:2005, SFS-EN 1993-1-2:2005, SFS-EN 1995-1-2:2004 ja niiden kansalliset liitteet) sisältävät menetelmiä palotilan ja rakenteen lämpötilan määrittämiseksi, kuten esimerkiksi:

- Paikallisen palon mallit (SFS-EN 1991-1-2);
- Parametrin palon malli (SFS-EN 1991-1-2);
- Betonin, teräksen ja puun materiaaliominaisuudet lämpötilan funktiona hyödynnettäväksi kehittyneissä laskentamenetelmissä (SFS-EN 1992-1-2, SFS-EN 1993-1-2, SFS-EN 1995-1-2);
- Vaatimukset kehittyneillä laskentamenetelmille (SFS-EN 1992-1-2, SFS-EN 1993-1-2, SFS-EN 1995-1-2);
- Lisätietoa kehittyneistä palomalleista, kuten vyöhykemallit ja laskennallista virtausdynamiikkaa soveltavat mallit (SFS-EN 1991-1-2).

Vyöhykemalliin perustuvilla laskentamalleilla saadaan määritettyä kuuman vyöhykkeen keskilämpötila ajan funktiona. Rakenteisiin kohdistuvat lämpötilat voivat kuitenkin olla paikallisesti keskilämpötiloja korkeampia. Näin ollen tyypillisen vyöhykemallin käyttö ei välttämättä anna rakenteiden mitoituksessa varmallalla puolella olevia tuloksia.

Laskennallista virtausdynamiikkaa soveltavia malleja voidaan myös käyttää paloskenaarioiden mallintamiseen ja rakenteisiin kohdistuvien lämpötilojen määrittämiseen. Kyseiset mallit vaativat käyttäjältään paljon osaamista ja kokemusta.

Tyypillisesti vyöhykemalleista ja laskennallista virtausdynamiikkaa soveltavista malleista siirretään rakenteisiin kohdistuva lämpötiladata rakennelaskentaan adiabaattisten pintalämpötilojen, eli AST-lämpötilojen avulla (*Adiabatic Surface Temperature*, Wickström & McGrattan 2007). AST-lämpötila ottaa huomioon säteilylämmönsiirron palosta rakenteeseen sekä konvektiivisen lämmönsiirron rakenteen ja ympäröivän kaasun välillä.

### 5.1.2 Kantavien rakenteiden palomitoitus

Kantavien rakenteiden suunnittelussa voidaan käyttää lähestymistapaa, jossa P1-paloluokan rakennuksessa kantavien rakenteiden tulee pääsääntöisesti kestää koko palokuorman palaminen ilman sammuttamista. P2- ja P3-paloluokan rakennuksissa palonkestävyys määräytyy sammutus- ja pelastustoimintaan tarvittavasta ajasta. Oletettuun palonkehitykseen perustavassa kantavien rakenteiden mitoituksessa sovellettavat perusteet ja vähimmäispalokuormat on esitetty Ympäristöministeriön asetuksen (YMa 848/2017) taulukossa 4.

Kantavuuden mitoitus tehdään tyypillisesti perustuen Eurokoodi-standardeihin, jotka sisältävät kattavasti viimeisimpään tutkimustietoon perustuvia yksinkertaisia ja kehittyneitä mitoitusmenetelmiä. Eurokoodi-standardit esittävät myös mitä asioita tulee ottaa huomioon kantavien rakenteiden suunnittelussa, kun mitoitus perustuu oletettuun palonkehitykseen. INSTA 950 (2014) esittää, että rakenteiden kantavuutta tulisi tarkastella joko a) kriittisen lämpötilan tai b) murtumistodennäköisyyden perusteella. Analyysissä voidaan käyttää determinististä tai todennäköisyyspohjaista tarkastelua. Ohjeistuksessa suositellaan myös selvittämään ja ottamaan huomioon palokuorman ja ilmanvaihdon vaihtelun vaikutukset. On syytä huomata, että kriittisen lämpötilan tarkastelu soveltuu lähinnä suhteellisen yksinkertaisille teräsrakenteille, eikä esimerkiksi puurakenteille.

Teräsrakenteiden kohdalla rakenneosien lämpötilojen kehitystä voidaan verrata rakennesuunnittelijan määrittämien rakenneosien kriittisen lämpötilan arvoihin. Tämän lisäksi rakenneanalyysissä tulee ottaa huomioon myös koko tarkasteltavaan rakenteeseen kohdistuvat välilliset kuormitukset sekä epäsuorat vaikutukset, ellei näiden vaikutusten voida osoittaa olevan merkityksettömiä (SFS-EN 1992-1-2:2005, s. 32; SFS-EN 1993-1-2:2005, s. 40). Näihin vaikutuksiin kuuluvat mm. estetystä lämpölaajenemisesta ja lämpötilaeroista aiheutuvat lisäkuormat sekä palon aiheuttamasta paikallisesta lujuuden alenemasta johtuva kuormien uudelleen jakaantuminen. Rakennepoikkileikkauksen epätasainen lämpötila aiheuttaa poikkileikkaukselle epätasaisen materiaaliominaisuuksien jakauman, mikä muuttaa poikkileikkauksen neutraaliakselin asemaa palon aikana. Epätasainen lämpötilajakauma aiheuttaa lisäksi rakenneosien

kaareutumista, mikä muuttaa rakenteessa vaikuttavien voimien epäkeskisyyttä neutraaliakseliin nähden ja lisää näin taivutusrasituksia sekä heikentää mm. rakenteen nurjahduskestävyyttä. Näiden epäsuorien vaikutusten huomioon ottaminen edellyttää poikkeuksetta, että tarkastelu kohdistuu yksittäisen rakenneosan sijaan rakenteen osan tai koko rakenteen tarkasteluun ja kehittyneiden laskentamallien käyttöön (Teräsrakenneyhdistys 2019a, s. 5). Kun suunnittelu perustuu yksittäisen rakenneosan tarkasteluun, suunnittelijan tulee osoittaa, että välillisiä vaikutuksia ei tarvitse ottaa huomioon. Tarkastelujen tulee sisältää myös jatkuvan sortuman mahdollisuus.

Koska kaikissa tapauksissa kantavien rakenteiden sortumattomuus ei voi toteutua täydellisesti, on joissain tapauksissa tarpeen määritellä kriteerit, joita käyttäen hyväksyttävä turvallisuustaso voidaan ylläpitää. Paikallisen sortuman mahdollisuutta edetä jatkuvaksi sortumaksi voidaan tarkastella tilastollisesti tapahtumapuun ja lukuarvojen avulla. Tarkastelun tavoitteena on arvioida sortuman absoluuttista todennäköisyyttä ja osoittaa, että sortumisen todennäköisyys on hyväksyttävän pieni. Koska jatkuvan sortuman alkaminen välittömästi paikallisen sortuman seurauksena nostaisi hengenvaaralle altistuvien määrää merkittävästi, tulee jatkuvan sortuman todennäköisyys olla hyvin pieni verrattuna paikalliseen sortumaan. Hyväksyttävän turvallisuuden ja riskin tasoja (todennäköisyydet) voidaan arvioida esimerkiksi tilastoihin perustuvien F-N -käyrien avulla. (Mikkola et al. 2010a, s. 46-48; Mikkola et al. 2010b, s. 19–24)

Tarkasteltavan rakenteen voidaan olettaa olevan sortunut, kun laskennassa ei löydy enää tapapainoasemaa, jolla se kestäisi palotilanteen rasitukset. Mahdollinen sortuma voi ilmetä rakenteen siirtymien voimakkaana kasvuna ja/tai rakenneanalyysin keskeytymisenä ennen laskenta-ajan päättymistä. Rakenteen sortumista voidaan arvioida myös tarkastelemalla koko rakenteen deformaatioita.

Joissain tapauksissa voi olla myös tarpeen rajoittaa rakenteen palotilanteen siirtymiä. Tällaisia tapauksia voivat olla esimerkiksi tilanteet, joissa:

- Suuret siirtymät vaarantavat muut paloturvallisuustavoitteet (esim. poistuminen tai pelastushenkilöstön toiminta);
- Suuret siirtymät vaarantavat osastoivan rakenteen toiminnan;
- Jokin kantavan rakenteen osa ei kestä suurista muodonmuutoksista tulevia rasituksia, ja niitä ei pystytä laskentamallissa ottamaan huomioon.

Siirtymäkriteerin käyttöä tulee harkita tapauskohtaisesti. Kirjallisuudesta löytyvät arvot on yleensä tarkoitettu polttokokeita (SFS-EN 1363-1:2020; ASTM E119 2020) varten ja niitä käytetään rakenteiden paloluokituksen hyväksymiskriteereinä. Nämä raja-arvot ovat ainakin

osaksi asetettu rajoittamaan koekappaleiden kokeen aikaisia siirtymiä niin, etteivät koekappaleet vaurioita polttokoeuunin rakenteita (Wang 2006). Ne eivät aina sovellu käytettäväksi suunnittelun hyväksymiskriteereiksi (Wang 2006; da Silva et al. 2004).

## 5.2 Palon rajoittaminen palo-osastoon

Silloin, kun rakennuksen koko, kerroksisuus tai rakennuksessa olevan tilan käyttötarkoitus sitä edellyttävät, Ympäristöministeriön asetus (YMa 848/2017, 14 §) velvoittaa rakennuksen jakamista palo-osastoihin palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi, poistumisen turvaamiseksi sekä pelastus- ja sammutustoimien helpottamiseksi. Palo-osaston kokoa on rajoitettava siten, että osastossa syttyvä palo ei aiheuta kohtuuttoman suuria vahinkoja. Osastoivan rakennusosan on estettävä palon leviäminen palo-osastosta toiseen määrätyn ajan (YMa 848/2017, 16 §).

Mitoitustarkasteluilla tulee osoittaa, että osastoivat rakenteet kestävät henkilöiden turvalliseen poistumiseen, osaston ulkopuolella olevan omaisuuden suojaamiseen ja sammutus- ja pelastustoimintaan tarvittavan ajan tai koko palon keston mukaan lukien jäähtymisvaihe. Seinien, palomuurien ja välipohjien osastoivuuskriteerien täyttyminen voidaan osoittaa perustuen oletettuun palonkehitykseen, kun käytetään laskentaan soveltuvia lämpötilariippuvaisia materiaaliominaisuuksia. Tyypillisesti R- (kantavuus) ja I- (eristävyys) kriteereiden täyttymisen laskennallinen tarkastelu on suhteellisen yksinkertaista, mutta E-kriteerin (tiiviyys) täyttymisen arviointi voi vaatia vertailua testattuihin vastaavaan kaltaisiin rakenteisiin tai detaljeihin mm. muodonmuutosten vaikutusten arvioimiseksi.

Mikäli palo-osastojen kokoa kasvatetaan Ympäristöministeriön asetuksissa (YMa 848/2017 ja YMa 927/2020) annetuista maksimipinta-aloista, tulee suunnittelun perustua oletettuun palonkehitykseen. Tällöin asetusten luokkien ja lukuarvojen mukaisia arvoja suuremman palo-osaston vaikutus riskeihin tulee tarkastella tapauskohtaisesti esimerkiksi poistumisturvallisuuteen, pelastuslaitoksen toimintaedellytyksiin, rakenteelliseen sortumaan ja/tai palovahingon laajuuteen liittyen.

## 5.3 Palon kehittymisen rajoittaminen

Rakennuksessa on käytettävä rakennustarvikkeita, jotka eivät myötävaikuta palon kehittymiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla (YMa 848/2017, 22 §). Ominaisuudet, joita voidaan käyttää rakennuksessa käytettävien tarvikkeiden paloteknisen käyttäytymisen arvioimiseen ovat syttymisaika, lämmön- ja savuntuotto, myrkyllisten kaasujen vapautuminen sekä palavien pisaroiden tai osien muodostuminen. Lainsäädännössä esitetystä pintojen luokkavaatimuksesta

poikkeavaa suunnitteluratkaisua voidaan perustella esimerkiksi laadullisella tarkastelulla, johon liittyy testituloksia sekä selvitys siitä, miten kriittisessä roolissa pinnat ovat kyseisessä turvallisuusratkaisussa tai laskennallisella tarkastelulla (INSTA 950 2014, kohta 8.1).

Laskentamallin kehittäminen kuvaamaan palon leviämistä palon alkuvaiheen jälkeen sekä tulipalon mallintaminen useita huonetiloja sisältävässä palo-osastossa ovat haastavia tehtäviä ja niihin liittyy epävarmuuksia. Malleja voidaan kuitenkin käyttää vertailevaan tarkasteluun arvioitaessa taulukkomääräyksistä poikkeamisesta aiheutuvia suhteellisia vaikutuksia.

## 5.4 Palon leviämisen estäminen naapurirakennukseen

Palon leviäminen rakennuksesta toiseen ei saa vaarantaa henkilöturvallisuutta eikä aiheuttaa kohtuuttomana pidettäviä taloudellisia eikä yhteiskunnallisia menetyksiä (YMa 848/2017, 29 §). Oletettuun palonkehitykseen perustuvalla tarkastelulla voidaan selvittää vaarantaako leviäminen henkilöturvallisuutta tai aiheuttaako se kohtuuttomana pidettäviä menetyksiä. Palon leviämisen arvioinnissa tulee liekkien aiheuttaman lämpösäteilyn lisäksi luotettavalla tavalla arvioida savukaasujen aiheuttama lämpösäteily ja savun mukana kulkeutuvien kuumien kappaleiden vaikutus leviämiseen. (RIL 221-2003, kohta B2.1) Tuuliolosuhteilla voi olla merkittävä vaikutus, sillä tuuli voi painaa liekkiä ja palopatsasta lähemmäs viereistä rakennusta, jolloin säteilytasot nousevat. Jos räjähdys on kyseessä olevassa toiminnassa mahdollinen, tulee myös sen vaikutukset ottaa huomioon (RIL 221-2003, kohta B2.1).

INSTA 950 (2014, kohta 11) mukaan palon leviämistä koskevissa tarkasteluissa voidaan soveltaa vertailuperiaatetta osoittamaan, että palon leviämisen riski tarkasteltavan suunnitteluratkaisun tapauksessa on pienempi kuin lainsäädännössä esitetyn minimietäisyyden tapauksessa. Tarkasteluissa tulee ottaa huomioon palo-osastojen koko, aukot sekä viereisten rakennusten sijainti. Arvioinnissa voidaan käyttää determinististä tai kvantitatiivista riskianalyysyä.

Deterministisessä analyysissä tarkastellaan pahinta todennäköistä tapausta. Palosta aiheutuva lämpösäteily määritetään palo-osastosta, josta riski palon leviämiseen naapurirakennukseen on suurin. Palo-osaston oletetaan olevan täyden palon vaiheessa ja ikkunoiden sekä niiden tukirakenteiden katsotaan menettäneen tiiveytensä. Lämpösäteilyn voimakkuus voidaan määrittää käyttäen a) osaston suojaamattomien vaipan osien säteilemää tilan käyttötarkoituksesta riippuvaa vakioarvoa tai b) laskemalla ikkunoiden kautta tapahtuva lämpösäteily esimerkiksi standardin SFS-EN 1991-1-2:2003 liitteen B mukaisesti. Sammutuslaitteiston vaikutus voidaan ottaa huomioon pienentämällä lämpösäteilyn määrää 50 % (INSTA 950 2014, kohta 11). Lämpösäteilyn voimakkuus voidaan myös määrittää käyttäen kenttämallia, jolloin mm. tuulen ja sprinklauksen vaikutukset voidaan ottaa tarkemmin huomioon.

Käytettäessä kvantitatiivista riskianalyysiä suunnittelijan tulee osoittaa, että palon leviämisen riski tarkastelevan suunnitteluratkaisun tapauksessa ei ylitä vertailurakennukselle määritettyä riskitasoa. Pitkäkestoinen lämpösäteily, joka voi sytyttää puun on minimissään tyyppillisesti noin 10 -12 kW/m<sup>2</sup> ja vastaava arvo muovipohjaisille tuotteille on usein 8 - 10 kW/m<sup>2</sup>. (Hieta-niemi 2007a, s. 36) INSTA 950 (2014, kohta 11) määrittelee luokkaa A2-s1,d0 alhaisemman luokan materiaaleille niihin kohdistuvan 30 minuutin ajalta määritetyn lämpösäteilyn raja-arvoksi 15 kW/m<sup>2</sup>. Säteily määritetään tällöin 30 sekunnin keskiarvojen perusteella.

## 5.5 Poistuminen palon sattuessa

Rakennuksesta on voitava poistua turvallisesti tulipalossa, rakennuksessa on oltava riittävästi uloskäytäviä ja uloskäytävät tai palosulut tulee rakentaa sellaisista tarvikkeista tai rakennusosista, joiden vaikutusta palokuorma voidaan pitää hyväksyttävänä tai, jotka savunmuodostuksensa takia eivät vaaranna henkilöturvallisuutta (YMa 848/2017, 31 §). Mikäli poiketaan Ympäristöministeriön asetuksessa (YMa 848/2017) esitetyistä vaatimuksista, on osoitettava, että rakennuksessa olevien henkilöiden poistumismahdollisuudet eivät tästä syystä vaarannu. Henkilöiden tulee voida poistua rakennuksesta ennen kuin olosuhteet muuttuvat uhkaavaksi myös siinä tapauksessa, että osa poistumisteistä on käyttökelvottomia. Poistumisteiden määrän suhteen noudatetaan asetuksen periaatteita (aina vähintään kaksi toisistaan riippumattonta uloskäyntiä). (RIL 221-2003, kohta B2.1) Suomessa Maankäyttö- ja rakennuslain (MRL 132/1999, 117 k §) mukaan rakennusvalvontaviranomainen vahvistaa kokoontumistiloissa sallittujen henkilöiden enimmäismäärän.

Rakennusvalvontaviranomainen voi edellyttää tehtäväksi kohdekohtaisen poistumisaikalaskelman osana MRL 132/1999 kohdan 117 b § mukaista turvallisuusselvitystä (YMa 848/2017, 36 §). Turvallisuusselvityksessä on esitettävä (YMa 848/2017, 37 §):

- Kauanko keskimäärin kestää henkilöiden poistuminen omatoimisesti tai tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen avustetusti palo-osastosta ja palo-osaston osista;
- Arvio siitä, kauanko kestää vaaran aiheuttavien olosuhteiden muodostuminen huoneessa ja palo-osastossa;
- Arvio siitä, riittääkö aika poistumiseen tai pelastamiseen vaaraa aiheuttavista olosuhteista.

Savun aiheuttamaa vaaraa tarkasteltaessa palot sijoitetaan siten, että niiden seurauksena syntyy ihmisten poistumismahdollisuuksiin nähden kriittisimmät olosuhteet. Tarkasteluissa arvioidaan lämpötilan nousua ja savukaasujen muodostumista ja leviämistä. Kantavien rakenteiden kuumenemista tarkastellaan todennäköisimpien sortumiskohtien alueilla.

Poistumistarkasteluissa käytetään yleisesti determinististä tarkastelua vertaamalla poistumiseen kuluva aikaa ( $t_{RSET}$ , *Required Safe Egress Time*) poistumiseen käytettävissä olevaan aikaan ( $t_{ASET}$ , *Available Safe Egress Time*). (IFEG 2005, s. 1.2-22; INSTA 950 2014, s. 18; Finnish wood research 2015, s.37; C/VM2 2017, kohdat 3.2 ja 3.5; ABCB 2020, s. 62-63) Vaatimus turvalliselle poistumiselle täyttyy, jos poistumiseen kuluva aika on pienempi kuin käytettävissä oleva aika:

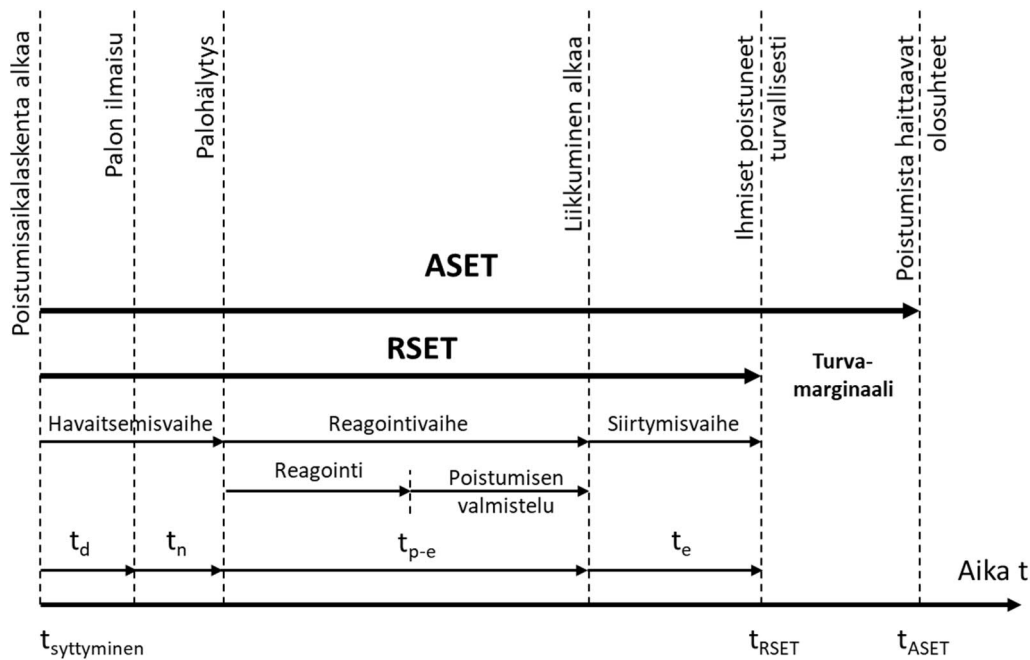
$$t_{RSET} < t_{ASET} \quad (5)$$

Kuvassa 11 on esitetty periaatekuva ASET- ja RSET-aikojen määrittelystä. Käytettävissä oleva aika ( $t_{ASET}$ ) määräytyy kriittisten olosuhteiden ja niiden syntymistä kuvaavien raja-arvojen perusteella. Aika voidaan määrittää esim. mitoituspaloille tehtyjen palosimulointien avulla. Määrittäminen edellyttää myös määrällisiä arvioita siitä, milloin rakennuksen olosuhteet ovat poistumista haittaavia. Tarkasteltavia olosuhteita ovat mm. lämpötila, lämpösäteily, näkyvyys ja erilaisten myrkyllisten kaasujen pitoisuus. Poistumiseen kuluva aika ( $t_{RSET}$ ) koostuu kolmesta toisistaan seuraavasta vaiheesta: havaitsemisvaihe, reagoitivaihe ja siirtymisvaihe. Kokonaispoistumisaika voidaan määrittää laskemalla näiden vaiheiden kestoajat yhteen (Hurley 2016, s. 2116):

$$t_{RSET} = t_d + t_n + t_{p-e} + t_e \quad (6)$$

Ajanjakson pituutta palon syttymisestä palonilmaisuuksiin ( $t_d$ ) voidaan arvioida mm. paloilmainsimien herkkyyksien perusteella.  $t_n$  on ajanjakson pituus palonilmaisusta palohälytykseen. Havaitsemisvaihe ( $t_d+t_n$ ) voi perustua myös henkilöiden omiin havaintoihin. Reagoitivaiheen ( $t_{p-e}$ ) aikana ihmiset pohtivat eri toimintavaihtoehtoja: lisätietojen hankkiminen, muiden varoittaminen tai sammutustoiminnan aloittaminen. Siirtymisvaiheessa ( $t_e$ ) tapahtuu kaikkien henkilöiden poistuminen.

Siirtymisvaihetta edeltävien vaiheiden kestoja arvioidaan yleensä taulukoidun tiedon avulla. Siirtymisvaiheen tapahtumia voidaan kuvata ja siirtymiseen kuluva aikaa arvioida yksinkertaisilla laskentamenetelmillä ja poistumissimuloinneilla. (Weckman 2005, s. 11)



**Kuva 11** Periaatekuva ASET- ja RSET-aikojen määrittelystä.

Vaadittavan ja käytettävissä olevan poistumisajan välillä tulee olla riittävä turvamarginaali. Riittävästä varmuudesta ei ole ehdottomia vaatimuksia ja marginaalin suuruutta on arvioitava tapauskohtaisesti (Weckman 2005, s.12, 25). Vertailuperiaatteen mukaisessa tarkastelussa suunnitteluratkaisun RSET-arvoa, ASET-arvoa tai turvamarginaalia verrataan luokkiin ja lukuarvoihin perustuvan ratkaisun vastaaviin arvoihin. Tarkasteluilla tulee myös varmistaa evakointihissien toiminta (BBRAD 2013, kohta 3.5.1).

### 5.5.1 Poistumistarkasteluihin liittyviä paloskenaarioita

BBRAD (2013, kohta 3.3) mukaisissa poistumistarkasteluissa otetaan huomioon kolme erilaista paloskenaariota. Skenaario 1 edustaa pahinta uskottavaa tulipaloskenaariota, joka kasvaa nopeasti suureen palotehoon. Jos rakennusta ei ole varustettu kauttaaltaan hälytys- ja ilmoitusjärjestelmällä, tarkasteluiden tulee sisältää myös paloskenaario 2, jossa palo syttyy normaalisti tyhjässä tilassa, jonka vieressä on tila täynnä ihmisiä. Aktiivisten ja passiivisten palontorjuntajärjestelmien oletetaan toimivan suunnitellusti molemmissa skenaarioissa 1 ja 2. Skenaario 3 edustaa hieman pienempää paloa, jonka kanssa samanaikaisesti yksi tai useampi palontorjuntajärjestelmä ei toimi (palohälytys, automaattinen sammutusjärjestelmä, savunpoisto, evakointihissi tai häiriö, joka voi vaikuttaa useisiin laitteisiin esimerkiksi sähkökatko tai tietokonevirhe).

Uuden-Seelannin rakennusmääräysten (C/M2 2017, kappale 4) poistumisturvallisuuden toteutuminen voidaan osoittaa käyttäen seuraaviin paloskenaarioihin liittyviä poistumistarkasteluja.



- **Palo estää poistumisreitin käyttämisen:** Palo syttyy poistumisreitin varrella ja tukkii fyysisesti yhden uloskäytävän. Suunnittelijan tulee arvioida palon pahinta mahdollista sijaintia. Aktiivisten ja passiivisten paloturvallisuusjärjestelmien oletetaan toimivan normaalisti. Vaikka palo estää yhden poistumisreitin käytön, tulee poistumisen onnistua ASET-ajassa. Jos uloskäytävä palvelee yli 50 henkilöä, heillä tulee olla käytettävissä vaihtoehtoinen reitti. Uloskäytävien pitää kulkea erillisiä reittejä ja niiden tulee sijaita riittävän kaukana toisistaan. Muussa tapauksessa ne pitää osastoida savulta ja varustaa savua rajoittavalla ovella.
- **Tulipalo syttyy tilassa, jossa ei ole ihmisiä:** Tarkastelu koskee yli 50 henkilön tiloja, joissa on vain palopainike tai yli 150 henkilön tiloja, jotka on varustettu automaattisella palohälyttimellä. Ratkaisua haetaan joko ASET/RSET-analyysillä tai palo-osastoimalla syttymistila. Jos tilassa ei ole automaattista paloilmoitinta, osastoinnin tulee kestää koko palon ajan. Paloilmoittimella varustetussa tilassa riittää (-/60/60) osastointi (vastaa EI 60 osastointia) tai osastointi ajalle, joka vaaditaan tarkastellun tilan evakuointiin.
- **Haastava palo, pahin mahdollinen tapaus:** Tulipalo syttyy tilassa, jossa on ihmisiä. Aktiiviset ja passiiviset paloturvallisuusjärjestelmät toimivat. Turvallisuus varmistetaan osoittamalla riittävä ASET-aika. Jos syttymistilan koko tai väkimäärä on pieni ei syttymistilassa oleville henkilöille tarvitse määrittää ASET-aikaa. Kun muista tiloista poistuvat ihmiset käyttävät palolta suojattuja uloskäytäviä, ei uloskäytävien rakenteita mitoitettaessa oteta huomioon sprinklereiden paloa rajoittavaa vaikutusta.
- **Herkkyyshanalyysi:** Skenaario tarkistaa, ettei yhden laitteiston toimintahäiriö vaaranna poistumisturvallisuutta. Tarkastus tehdään kohteille, joissa on yli 150 henkilöä, yli 50 henkilöä nukkumassa tai yli 20 hoidettavaa henkilöä. Standardien mukaiset sprinklerit ja automaattiset palohälyttimet katsotaan tässä tarkastelussa riittävän toimintavarmoina. Lisäksi sprinklatuissa rakennuksissa palo-ovien aukipitolaitteet katsotaan riittävän toimintavarmoina. Laitteistoiksi katsotaan myös koneellinen savunpoisto, palovet ja vastaavat palosulut sekä muut laitteet, joissa on mekaanisia tai sähköisiä komponentteja. Tarkistettava ominaisuus on FED (CO), minkä lisäksi pystysuuntaisissa uloskäytävissä näkyvyys ei saa olla alle 5 m RSET aikana.
- **Palon leviäminen:** Skenaariossa arvioidaan palon leviämistä muihin rakennuksiin tai palo-osastoihin julkisivun kautta. Sprinklatuissa rakennuksissa ei palon leviämistä kiinteistön sisällä tarvitse arvioida, muuten kuin uloskäytävien ja nukkumistilojen osalta sekä mahdollisesti erikseen palokunnan toiminnan arvioimisessa. Suunnittelussa osastoimattomille osille julkisivua annetaan palokuorman määrästä riippuva säteilyteho. Palokaasujen lämpösäteilyn emissiviteettinä käytetään arvoa 1.

## 5.5.2 Henkilöturvallisuuden kriittiset olosuhteet

Henkilöturvallisuuteen liittyvien vaatimusten ja tavoitteiden toteutumista voidaan arvioida mm. näkyvyyden, kuuman savukaasukerroksen paksuuden, lämpösäteilyn, lämpötilan sekä myrkyllisten kaasujen suhteen. Taulukoissa 17 ja 18 on esitetty poistumisen sekä pelastushenkilökunnan turvallisuuden ja toimintamahdollisuuksien kriittisille olosuhteille kirjallisuudessa esitettyjä raja-arvoja.

**Taulukko 17** Poistumista haittaavien olosuhteiden kriteerejä (a - BBRAD 2013, s. 9; b - INSTA 950 2014, s. 21; c - Finnish Wood Research 2015, s.37; d – Schneider 2005).

Olosuhdetekijä	Kriittisten olosuhteiden raja-arvot	Lähde
Näkyvyys palon syttymistilassa	3 m kun tilan koko $\leq 100 \text{ m}^2$	b, c
Näkyvyys 2 m korkeudella lattiapinnasta	10 m uloskäytävillä ja tiloissa, joiden koko on $> 100 \text{ m}^2$	a, b, c
	5 m tiloissa, joiden koko on $\leq 100 \text{ m}^2$	
	10 m, kun ihmiset hakeutuvat uloskäytävälle	c
	3-5 m, kun ihmiset ovat saapuneet uloskäytävien luo	c
Savuttoman kerroksen korkeus lattiatasosta, vaihtoehtoinen kohdille 1 ja 2	vähintään $1,6 \text{ m} + 0,1 \times H$ . H on tilan korkeus [m].	a, b
Lämpösäteily	Jatkuvan lämpösäteilyn voimakkuus $\leq 2,5 \text{ kW/m}^2$	a, b, c
	Lyhytaikaisen lämpösäteilyn voimakkuus $\leq 10 \text{ kW/m}^2$ siten, että lämpösäteilyn kokonaisannos $< 60 \text{ kJ/m}^2$	a, b, c
	Lämpösäteilyn kokonaisannoksen lisäksi taustasäteilynä $1 \text{ kW/m}^2$ jatkuvan lämpösäteilyn tuottama energia	a, b
Lämpötila	$\leq 80 \text{ }^\circ\text{C}$	a, b, c
Myrkyllisyys, pitoisuus 2,0 m lattiatason yläpuolella	$\text{CO} < 2000 \text{ ppm}$	a, b, c
	$\text{CO}_2 < 5 \%$	
	$\text{O}_2 > 15 \%$	
	Myrkyllisyyttä ei tarvitse tarkastaa, kun näkyvyys $> 5 \text{ m}$	b
	$\text{HCN} 30\text{-}50 \text{ ppm}$ (kriitt. olosuht. 30-5 min altistus aika)	d
Myrkyllisyysindeksi FED, jolla mitataan tulipalon vapauttamien happea syrjäyttävien myrkyllisten kaasujen kuten CO, HCN, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> kumulatiivista annosta	FED = 0,1 hyvin herkkien ihmisten toimintakyvyn heikkenemisen raja	c
	FED = 0,3 olosuhteet ovat poistumiselle haitalliset	
	FED = 1,0 puolet altistuneista lamaantuu	

**Taulukko 18** Pelastushenkilökunnan turvallisuutta ja toimintamahdollisuuksia haittaavien olosuhteiden kriteerejä (Finnish Wood Research 2015, s.40).

Olosuhdetekijä	Kriittisten olosuhteiden raja-arvot
Näkyvyys	Hidastaa liikkumista, kun näkyvyys $\leq 1 \text{ m}$
Lämpösäteily	Lämpövuoto $\leq 3 \text{ kW/m}^2$
	Altistusaika $\leq 10 \text{ min}$
Lämpötila	Sietämättömän vaikeat olosuhteet, kun savukerroksesta pelastusmiehistöön kohdistuvaa lämpösäteilyä vastaava adiabaattinen pintalämpötila on $\geq 250 \text{ }^\circ\text{C}$
	Ympäristön lämpötila $> 120 \text{ }^\circ\text{C}$

### 5.5.3 Poistumistarkastelujen lähtötietoja

Taulukossa 19-21 on esitetty palonkehityksen mallinnukseen ja poistumislaskentaan liittyviä lähtötietoja, jotka on koottu eri maiden ohjeistuksista.

**Taulukko 19** RSET-laskelmien lähtötietoja (a - BBR 2018; b - BBRAD 2013; c - C/VM2 2017).

Lähtöarvo	Mikä vaikuttaa	Tasot	Lähde
Henkilömäärä	Käyttötarkoitus	0,01 – 3 hlöä/m <sup>2</sup>	a taulukko 5:333 c taulukko 3.1
Reagointivaiheen pituus	Käyttötarkoitus, käyttäjä	1 - 4 min	b taulukko 2
	Tuttu tai tuntematon ympäristö	30 – 600 s	c taulukko 3.3
	Palo samassa tai viereisessä tilassa	≤ 1800 s (sairaala)	
	Unessa tai valveilla		
Toimintakyky (lapsi, hoidettava)			
Liikkumisnopeus	Henkilötiheys: yksittäinen, joukko Tasainen, portaat	0,5 - 1,5 m/s	b taulukko 3 ja 4 c luku 3.2.4
Kulkureitin minimileveys	Käytävä, oviaukko	0,8 - 0,9 m	b taulukko 3 ja 4
Ihmisten virtausnopeus	Tasainen, portaat	1-1,2 hlöä/sm	b taulukko 3 ja 4
Havaitsemisajan tulee olla vähintään 30 sekuntia (b kohta 3.2.2).			
Jonotusaika saa olla korkeintaan 8 minuuttia (b kohta 3.2.4).			

**Taulukko 20** Palon kehittymistä kuvaavia lähtötietoja (b - BBRAD 2013; c - C/VM2 2017).

Lähtöarvo	Mikä vaikuttaa	Tasot	Lähde
Palokuorma	Tilan käyttötarkoitus	400 – 1200 MJ/m <sup>2</sup> 800 MJ/m <sup>2</sup> / korkeus metri (palavan aineen varastot)	c taulukko 2.2
Palon kasvunopeus ennen lieskahdusta, potenssilakimallin mukainen kasvukerroin $\alpha$	Käyttötarkoitus, paloskenaario, korkeus	0,0117-0,188 kW/s <sup>2</sup>	b taulukko 5 c taulukko 2.1
Paloteho	Käyttötarkoitus, paloskenaario	2-10 MW	b taulukko 5
Palokuorman palamislämpö	Käyttötarkoitus, paloskenaario	16-20 MJ/kg	b taulukko 5 c taulukko 2.1
Lämmöntuoton maksimi	Käyttötarkoitus, korkeus	20 – 50 MW 250 – 2500 kW/m <sup>2</sup>	c taulukko 2.1
Säteilykerroin (radiative fraction)	Vakio	0,35	c taulukko 2.1
Päästöt palon alkuvaiheessa	Paloskenaario	Noki 0,06-0,1 g/g	b taulukko 6
		CO 0,04-0,1 g/g	c taulukko 2.1
		CO <sub>2</sub> 1,5-2,5 g/g	
Päästöt lieskahduksen jälkeen		H <sub>2</sub> O 0,82 kg/kg	c taulukko 2.1
		Noki 0,14 g/g <sub>fuel</sub> CO 0,4 g/g <sub>fuel</sub>	c luku 2.3.3

**Taulukko 21** Ilmaisimiin liittyviä suunnittelun lähtötietoja (C/VM2 2017).

<b>Lähtöarvo</b>	<b>Mikä vaikuttaa</b>	<b>Tasot</b>	<b>Lähde</b>
Response time index RTI	Ilmaisimen tyyppi: sprinkleri, lämpöilmäisin	30-135 m <sup>1/2</sup> s <sup>1/2</sup>	taulukko 3.2
Reagointilämpö T <sub>act</sub>	Ilmaisimen tyyppi: sprinkleri, lämpöilmäisin	57 – 68 °C	taulukko 3.2
Johtavuuskerroin C	Sprinkleri	0,65 – 0,85 m <sup>1/2</sup> s <sup>1/2</sup>	taulukko 3.2
Palopatsaan etäisyys (Radial distance)	Sprinkleri, lämpö- tai savuilmäisin	3,25 – 7 m	taulukko 3.2
Ilmoittimen etäisyys katosta	Sprinkleri, lämpö- tai savuilmäisin	≥ 25 mm	taulukko 3.2
Optinen tiheys hälytyksessä	Savuilmäisin	0,097 m <sup>-1</sup>	taulukko 3.2

## LÄHTEET

ABCB (2020). Handbook: Fire safety verification method. National Construction Code. Australian Building Codes Board

Ahrens, M. (2017). U.S. Experience with Sprinklers, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA

Aluehallintovirasto (2017). Selvitys pelastustoiminnan toimintavalmiusajan toteutumisesta 2013-2016. Pelastustoimi ja varautuminen -vastuualue. Saatavilla (viitattu 15.12.2021): <https://www.patio.fi/web/pelastustoiminnan-toimintavalmius/keskeiset-kasitteet>

ASTM E119 (2020). Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. American Society for Testing and Materials.

ATS 5387 (2017). Guidelines – Fire safety engineering, Part 1: Application of fire performance concepts to design objectives. Australian Technical Specification

Automatic Sprinkler Performance Tables (1970). 1970 Edition. Fire Journal 64 (1970), s. 35-39.

BBR (2018). Boverket's mandatory provision and general recommendations, Unofficial translation BFS 2011:6 with amendments up to BFS 2018:4, Swedish National Board of Housing, Building and Planning, 154 s.

BBRAD (2013). Building and Planning's general recommendations on the analytical design of a building's fire protection, Unofficial translation BSF 2011:27 with amendments up to BFS 2013:12, Swedish National Board of Housing, Building and Planning, 14 s.

Brammer, H. (2010). Examination into the Reliability of Secondary Water Supplies. Fire Engineering Research Report 10/10. University of Canterbury.

Budnick, E. K. (2001). Automatic Sprinkler System Reliability, Fire Protection Engineering, Winter 2001, Issue No. 9

Building Code (2017). Building Regulations 1992 SR 1992/150. Ministry of Business, Innovation, and Employment, New Zealand. 110 s.

C/MM2 (2017). Verification Method: Framework for Fire Safety Design, For New Zealand Building Code Clauses C1-C6 Protection from Fire, Ministry of Business, Innovation, and Employment, 72 s.

Evans, D.D. (1993). Sprinkler fire suppression algorithm for HAZARD, Report NISTIR 5254, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA.

- Feeney, M. (2001). Accounting for Sprinkler Effectiveness in Performance Based Design of Steel Buildings for Fire. Fire Engineering Research Report 01/12. University of Canterbury.
- Finanssialan Keskusliitto (2007). Sprinklerilaitteiston kunnossapito-ohjelman laadintaohjeet.
- Finucane, M., Pickney, D. (1989). Reliability of Fire Protection and Detection Systems. United Kingdom Atomic Energy Authority. University of Edinburgh, Scotland.
- Frank, K., Spearpoint, M. & Challands, N. (2012). Uncertainty in estimating the fire control effectiveness of sprinklers from New Zealand fire Incident reports. *Fire Technology*. 50, s. 611-632. DOI: 10.1007/s10694-012-0297-2
- Frank, K.M., Gravestock, N., Spearpoint, M., Fleischmann, C. (2013). A review of sprinkler system effectiveness studies. *Fire Science Reviews*. Vol. 2. Issue 1. Article 6.
- Hall, J.R. Jr. (2013). U.S. Experience with sprinklers. National Fire Protection Association.
- Hauptmanns, U., Marx, M., Grünbeck S. (2008). Availability analysis for a fixed wet sprinkler system. *Fire Safety Journal* 43 (2008), s. 468-476.
- Hietaniemi, J., Baroudi, D., Korhonen, T., Björkman, J., Kokkala, M. & Lappi, E. (2002). Yksikerroksisen teollisuushallin rakenteiden palonkestävyyden vaikutus paloturvallisuuteen, Riskianalyysi ajasta riippuvaa tapahtumapuumallia käyttäen. VTT Tiedotteita, Research notes 2123, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, ISBN 951-38-5936-3
- Hietaniemi, J., Pierre, L.G.C., Fraser-Mitchell, J., Joyeux, D. & Papaioannou, K. (2005). Risk-based fire resistance requirements. Final report EUR 21443 EN. Technical steel research. European Commission. Saatavilla (viitattu 13.10.2021): <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d3174996-a38a-43ee-93b0-85a538c1603f>
- Hietaniemi, J. (2005). Probabilistic simulation of glass fracture and fallout in fire . VTT Working Papers 41. VTT Building and Transport
- Hietaniemi, J. (2007a). Tiiviin ja matalan pientaloalueen paloturvallisuus. VTT Tiedotteita 2415, VTT, Espoo. ISBN 978-951-38-6971-7
- Hietaniemi, J. (2007b). Palon voimakkuuden kuvaaminen toiminnallisessa paloteknisessä suunnittelussa. JH Working Papers 1, VTT, Espoo
- Hietaniemi, J. (2007c). Toiminnallinen palotekninen suunnittelu ja suunnitelmien tarkastaminen: Näkökulmia ja ohjeita. 2. versio, päivitetty 10.9.2007. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 62 s. + liit. 2 s.
- Hietaniemi, J. & Rinne, T. (2007). Historiallisesti arvokkaan kohteen toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu, Esimerkkitapauksena Porvoon museo. VTT Working Papers 71. VTT Research Centre of Finland, Espoo. ISBN 978-951-38-6623-5

Hietaniemi, J. & Mikkola, E. (2010). Design fires for fire safety engineering. VTT Working Papers 139. VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo. ISBN 978-951-38-7479-7

Hurley, M.J. & Rosenbaum, E.R. (2015). Performance-based fire safety design. CRC Press. ISBN 978-1-4822-4655-1

Hurley, M.J. ed. (2016). SFPE Handbook of fire protection engineering. 5th ed. Vol.1. Springer. ISBN 978-1-4939-2565-0

IFEG (2005). International Fire Engineering Guidelines, Australian Building Codes Board, Department of Building and Housing (New Zealand), International Code Council (USA), and National Research Council (Canada), 2005 edition 415 s. Saatavissa (Viitattu 20.8.2021): <https://www.abcb.gov.au/Resources/Publications/Education-Training/International-Fire-Engineering-Guidelines>

INSTA 950 (2014). Teknisk specifikation SIS-TS 24833:2014. Fire safety engineering – Comparative method to verify fire safety design in buildings. Swedish Standards Institute

INSTA 951 (2019). Fire safety engineering – Guide for probabilistic analysis for verifying fire safety design in buildings. Swedish Standards Institute

INSTA 952 (2019). Fire safety engineering – Review and control in the building process. Swedish Standard Institute

IFEG (2005). International fire engineering guidelines. Australian Building Codes Board. ISBN 1741 614 562

ISO 16733-1:2015. Fire safety engineering – Selection of design fire scenarios and design fires. Part 1: Selection of design fire scenarios.

ISO/TS 16733-2:2021. Fire safety engineering – Selection of design fire scenarios and design fires. Part 2: Design fires

Keski-Rahkonen, O., Karhula, T., Sikanen, T., Hostikka, S. (2011). Palokuolemien ehkäisykeinojen arviointiohjelma pilottina tulevaisuuteen. Palotutkimuksen päivät 2011. Espoo 23.-24.8.2011. Pelastustieto, palontorjuntatekniikka –erikoisnumero. Palo- ja pelastustieto ry, s. 22-25.

Kling, T. (2017). Kvantitatiivinen riski – määrittäminen ja hyväksyttävyyys. Palotutkimuksen päivien erikoisnumero. Pelastustieto. Palo- ja pelastustieto ry. s. 75-77.

Kokkala, M. (1997). Sprinkler Statistics for Finland. VTT.

Kokkala, M. (2000). Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu. Toiminnallinen lähestymistapa. VTT Tiedotteita 2028, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. Saatavissa (viitattu 20.8.2021): <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2028.pdf>

Korhonen, T. & Hietaniemi, J. (2004). Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiökerrostalossa. Espoo 2004. VTT Tiedotteita 2253. 58 s + liitt. 36 s. ISBN 951-38-6482-0.

Korhonen, T., Hostikka, S., Keski-Rahkonen, O., & Hietaniemi, J. (2005). Tulipalojen henkilöriskin siedettävän tason arviointi. Pelastustieto: Palontorjuntatekniikka-erikoisnumero, 56, s. 102-105

Laki pelastuslain muuttamisesta 1353/2018. Saatavissa (Viitattu 20.8.2021): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181353>

Lessons of a high-rise fire (1976). Fire International. Vol. 5. Issue 51, s. 59-64

Linder, K.W. (1993). Field reliability of fire detection systems. NIST 5264: Balanced Design Concepts Workshop. National Institute of Standards and Technology.

Marryatt, H.W. (1988). Fire: A Century of Automatic Sprinkler Protection in Australia and New Zealand, 1886–1986. Australian Fire Protection Association.

Marsh (2008). Effectiveness of Fire Safety Systems for Use in Quantitative Risk Assessments. New Zealand Fire Service Commission.

Mikkola, E., Karhula, T. Grönberg, P. & Ryyänen, R. (2010a). Yksinkertaistetut vaatimukset P2-paloluokan asuin- ja työpaikkakerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle ja toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys. Tutkimusraportti VTT-R-07556-10. VTT, Espoo

Mikkola, E., Sikanen, T. & Karhula, T. (2010b). Puukerrostalojen paloturvallisuus – Vaatimusten perusteluja, ehtoja ja soveltamisohjeita. Tutkimusraportti VTT-R-10312-10. VTT, Espoo

Mikkola, E., Rinne, T. & Granström, M. (2016). Massiivisten puurakenteiden laajennettu käyttö ilman suojaverhousta – perustelut ehdotukselle palomääräyksiin. KK-Palokonsultti Oy

Mikkola, E. (2017). Toiminnallisen palosuunnittelun hyväksymisprosessi, Toiminnallisen palomitoituksen laajentaminen ja hyväksymisprosessin kehittäminen -hankkeen osaraportti (TOIMIHYVÄ).

Moelling, D.S., Sideris, A.G., and Hockenbury, R.W. (1980). Reliability of Fire Protection Systems in Nuclear Plants. Thermal Reactor Safety, in Proceedings of the American Nuclear Society/European Nuclear Society Topical Meeting. Knoxville, TN. April 6-9.

Mohan, A.T., Van Coile, R., Hopkin, D., Jomaas, G., Caspeepe, R. (2021). Risk Tolerability Limits for Fire Engineering Design: Methodology and Reference Case Study. Fire Technol 57, 2235–2267. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01118-w>



Moinuddin, K., Thomas, I.R. and Chea, S. (2008). Estimating the Reliability of Sprinkler Systems in Australian High-rise Office Buildings. *Fire Safety Science* 9: 515-526. doi:10.3801/IAFSS.FSS.9-515

MRL 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki. Saatavissa (viitattu 20.8.2021): <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Nash, P., Young, R.A. (1991). *Automatic Sprinkler Systems for Fire Protection*, 2nd edn. Paramount Publishing Limited.

NCC 2019 (2020). Building Act 1993, No. 126/1993, Chief Parliamentary Counsel, 660 s. (Australia, Victoria), Building Code of Australia (BCA 2019 / NCC 2019), Volume One, Amendment 1, Australian Building Codes Board, 740 s.

NFPA (2021). NFPA 101® Life Safety Code® 2021, 590 s.

Nieminen, M. (2018). Rakennusten automaattisten sprinklerilaitteistojen luotettavuus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavilla (viitattu 20.8.2021): <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/25673>

Nystedt, F. (2011). *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings*. (LUTVDG/TVBB-3150-SE; Vol. 3150). Lund University, Dept of Fire Safety Engineering and Systems Safety.

Optimal Economics (2017). Efficiency and effectiveness of sprinkler systems in the United Kingdom: An analysis from fire service Data.

OREDA (2002). *Offshore Reliability Data Handbook*, 4th Edition. OREDA Participants.

Outinen, J. (2006). Rakenteellisen palontorjunnan keinot ja menetelmät. Rakentajain kalenteri. Rakennustieto. Saatavissa (viitattu 20.8.2021): <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK060302.pdf>

Partanen, M. (2014). Toiminnallisen palomitoituksen hyödyntäminen yrityksen omaisuusvahinkoriskin arvioinnissa, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto

PD 7974-7 (2019). Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Probabilistic risk assessment. BSI Standards Publication

Pelastuslaki 379/2011. Saatavissa (viitattu 20.8.2021): <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2011/20110379>

RIL 195-1 (2018). Rakenteellinen paloturvallisuus. Yleiset perusteet ja ohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL r.y., ISBN 978-951-758-637-5.

RIL 221 (2003). Paloturvallisuussuunnittelu. Oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu ja ratkaisuesimerkit. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., 138 s

RIL 233 (2007). Maanalaisten tilojen paloturvallisuussuunnittelun perusteet ja soveltamisohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

RT 10-11222 (2016). Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen osapuolet. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö RTS. 6 s.

Rönty, V., Keski-Rahkonen, O., Hassinen, J.-P. (2004). Reliability of sprinkler systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. VTT Working Papers 15.

Salminen, M., Nieminen, M. & Malaska, M. (2019). Sprinklerilaitteiston luotettavuuden vaikutus teräsrakenteiden palomitoitukseen. Rakenteiden Mekaniikka. Vol. 52, Nro 1, 2019, s. 23-37. <https://doi.org/10.23998/rm.74512>

Science Technical Research Institute of Sweden (2010). "Fire Safety in Timber Buildings – Technical Guideline for Europe" SP Report 19

SFPE (2007). Engineering guide to performance-based fire protection, 2nd edition, National Fire Protection Association (NFPA), Society of Fire Protection Engineers (SFPE). 207 s. ISBN-13 978-087765-789-7

SFPE (2020). Guidelines for peer review in the fire protection design process, Engineering Guide. Society of Fire Protection Engineers (SFPE). 17 s. ISBN 978-0-925223-10-4

SFS-EN 1363-1:2020. Fire resistance tests. Part 1: General requirements. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN 1990:2002 + A1:2005. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet sekä sen muutos A1:2005. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN 1991-1-2:2003. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN 1992-1-2:2005. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN 1993-1-2:2005. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Rakenteen palomitoitus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN 1995-1-2:2004. Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN 12845:2015. Kiinteät palonsammutusjärjestelmät. Automaattiset sprinklerilaitteistot. Suunnittelu, asennus ja huolto. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

Solomon, R.E. (1997). Automatic Sprinkler Systems. Fire Protection Handbook, 18th Edition. National Fire Protection Association

Teräsrakenneyhdistys (2008). Rakenteiden toiminnallinen palomitoitus. Teräsrakenneyhdistys ry. Helsinki. ISBN 978-952-6983-41-3

Teräsrakenneyhdistys (2019a). ALOHA Kantavien teräsrakenteiden oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu. Osatehtävä A.1. Raportti. Tekniset julkaisut 1-2020. Teräsrakenneyhdistys ry. Helsinki. Saatavilla (viitattu 20.8.2021): [https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/917/58dbf62/ALOHA\\_Osatehtava\\_A1\\_raportti.pdf](https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/917/58dbf62/ALOHA_Osatehtava_A1_raportti.pdf)

Teräsrakenneyhdistys (2019b). Kantavien teräsrakenteiden oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu. ALOHA-hanke. Osatehtävä 2. Tekniset julkaisut 2-2020. Teräsrakenneyhdistys ry. Helsinki. Saatavissa (viitattu 20.8.2021): [https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/918/98714d0/ALOHA\\_Osatehtava\\_A2\\_raportti.pdf](https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/918/98714d0/ALOHA_Osatehtava_A2_raportti.pdf)

Teräsrakenneyhdistys (2020). Teräsrakenteiden oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu. Tekniset julkaisut 3-2020. Teräsrakenneyhdistys ry. Helsinki. Saatavissa (viitattu 20.8.2021): [https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/916/9b5793f/Terasrakenteiden\\_oletettuun\\_palonkehitykseen\\_perustuva.pdf](https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/916/9b5793f/Terasrakenteiden_oletettuun_palonkehitykseen_perustuva.pdf)

Tillander, K. (2004). Utilisation of statistics to assess fire risks in buildings. Dissertation. VTT Publications 537. VTT Technical Research Centre of Finland. ISBN 951-38-6393-X

Tillander, K., Oksanen, T. & Kokki, E. (2009). Paloriskin arvioinnin tilastopohjaiset tiedot. VTT Tiedotteita 2479, VTT Technical Research Centre of Finland. ISBN 978-951-38-7288-5

Vassart, O., Hanus, F., Obiala, R., Brausser, M., Franssen, J. M., Scifo, A., Zhao, B., Thauvoye, C., Nadjai, A., Sanghoon, H., Zaharia, R. & Pintea, D. (2017). Temperature assessment of a vertical steel member subjected to a localised fire (LOCAFI). EUR 28577. European Commission, Research Fund for Coal and Steel. Saatavissa (viitattu 20.12.2021): <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7d018778-30a1-11e8-b5fe-01aa75ed71a1>

Watanabe, A. (1979). Effectiveness of Active Fire Protection Systems. Systems Approach to Fire Safety in Buildings. CIB Symposium. Vol 2, s. 1–11

Weckman, H. (2005). Henkilöturvallisuuden kehittäminen maanalaisissa tiloissa paloriskejä pienentämällä – Tehtävä B: Poistumisturvallisuus. VTT tiedotteita 2319. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Espoo 2005. 93 s. + liit. 13 s.

Wickström, U., McGrattan, K. (2007). Adiabatic surface temperature for calculating heat transfer to fire exposed structures. Proceedings of the Eleventh Interflam Conference. Interscience Communications. London (Vol. 167).

William, E. & Koffel, P.E. (2005). Reliability of automatic sprinkler systems. Revised September 2005. A paper commissioned by the Alliance for Fire and Smoke Containment and Control, Inc.

Wright, D. (2017). "Easy" Excel Inverse Triangular Distribution for Monte Carlo Simulations. Saatavissa (viitattu 18.10.2021): <http://www.drdownwright.com/?p=17101>

YMa 848/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Saatavissa (viitattu 20.8.2021): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

YMa 848/2017 perustelumuistio. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Saatavissa (viitattu 20.8.2021): [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Asetus-rakennusten-paloturvallisuudesta-perustelumuistio-20112017-68F439B3\\_9D6E\\_44C4\\_8618\\_34FE9387FCE8-132701.pdf/89f9aa72-522c-c62b-5433-6f886e934f41/Asetus-rakennusten-paloturvallisuudesta-perustelumuistio-20112017-68F439B3\\_9D6E\\_44C4\\_8618\\_34FE9387FCE8-132701.pdf?t=1603260640763](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Asetus-rakennusten-paloturvallisuudesta-perustelumuistio-20112017-68F439B3_9D6E_44C4_8618_34FE9387FCE8-132701.pdf/89f9aa72-522c-c62b-5433-6f886e934f41/Asetus-rakennusten-paloturvallisuudesta-perustelumuistio-20112017-68F439B3_9D6E_44C4_8618_34FE9387FCE8-132701.pdf?t=1603260640763)

YMa 927/2020. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta: Saatavissa (viitattu 20.8.2021) <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200927>

YMa 927/2020 perustelumuistio. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. Saatavissa (viitattu 20.8.2021): <https://ym.fi/documents/1410903/0/YM+asetus+rakennusten+paloturvallisuudesta+perustelumuistio+23112020.pdf/56ee2f52-1e73-76e4-9d7b-f9c1c0ed10e1/YM+asetus+rakennusten+paloturvallisuudesta+perustelumuistio+23112020.pdf?t=1606918976400>

Ympäristöministeriö (2019). Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vaakaus. Rakenteiden kuormat. Ympäristöministeriön asetus (5/16) palolle altistettujen rakenteiden rasituksia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-2.

Ympäristöopas 103 (2003). Monitoimihallin paloturvallisuus. Ympäristöministeriö ja opetusministeriö. Rakennustieto Oy. ISBN 951-682-729-2