

# TOIMINNALLINEN PALOTEKNINEN SUUNNITTELU

Jukka Hietaniemi  
VTT  
PL 1000, 02044 VTT  
[jukka.hietaniemi@vtt.fi](mailto:jukka.hietaniemi@vtt.fi)

## Tiivistelmä

Tässä artikkelissa esitetään tiivistelmä siitä, mitä on toiminnallinen palotekninen suunnittelu sekä esitellään uusia tietolähteitä, jotka voivat merkittävästi helpottaa suunnittelijoiden ja viranomaisten toimintaa ja etenkin heidän yhteistoimintaansa tällä alalla.

## JOHDANTO

Toiminnallinen palotekninen suunnittelu on lähtökohdiltaan aivan samanlaista suunnittelua kuin mikä tahansa muu turvallisuuden suunnittelu, esim. rakenteiden suunnittelu siten, että ne kantavat niihin kohdistuvat kuormat; nopeusrajoitusten asettaminen tien ominaisuuksien ja käytön (ja nykyään jopa säätilan) mukaan; teollisten prosessien suunnittelu laitoksen ja sen ympäristön turvallisuuden takaamiseksi, jne.

Kaikessa turvallisuussuunnittelussa on perimältään kyse uhkien arvioinnista ja niiden ratkaisujen ja toimenpiteiden suunnittelusta, joilla noihin uhkiin liittyvät riskit arvioidaan voitavan saattaa riittävän pieniksi. Suunnittelun päämääränä on noiden ratkaisujen ja toimenpiteiden toteuttaminen ja turvallisuusasioissa tämä vaatii yleensä jonkin tahon - aikakin jonkin viranomaisen - tekemän päätöksen siitä, että kyseiset ratkaisut ja toimenpiteet katsotaan asianmukaisiksi ko. uhkien torjunnassa. Viranomaispäätös vastaa useimmiten luvan saamista kyseisen suunnitelman läpivientiin.

Avainasiat turvallisuussuunnittelussa ovat uhkien ja niihin liittyvien vaarojen arviointi; sen arviointi, miten todennäköistä tuon noiden vaarojen toteutuminen on; sen arviointi, ovatko vaaran torjumisen keinot riittäviä sekä lopulta päätöksenteko.

Monella turvallisuussuunnittelun alalla asiat on ajan mukana viety niin pitkälle paketoituun ja standardoituun muotoon, että suunnitteluprosessissa - ml. päätöksenteko - ei mielletä tai ei tarvitse mieltää, että loppujen lopuksi tehdään arviointia. Esimerkiksi rakennesuunnittelussa suunnittelijan ja viranomaisen ei välttämättä tarvitse arvioida, mitkä kuormat ja lujuudet oikeasti ovat, koska ne on normitettu ja kirjattu määräyksiksi. Tämä yleensä takaa turvallisen tuloksen, mutta toki välttämättä, niin kuin talvella 2006 tapahtuneet kattojen romahtamiset meillä ja muualla osoittavat.

Toiminnallisessa paloturvallisuussuunnittelussa kehitys ei vielä ole edennyt niin pitkälle, että siinä vaikuttavat tekijät olisi normitettu ja siksi siinä arviointiaspekti on selkeästi esillä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että tulokset eivät olisi turvallisia: ellei prosessissa tehdä virheitä, niin toiminnallisessa paloturvallisuussuunnittelussa tehtävä normaalia palosuunnittelua perusteellisempi, kohdekohtainen ”asioiden penkominen” johtaa turvalliseen tulokseen.

Toiminnallisessa paloturvallisuussuunnittelussa edellä mainitut turvallisuussuunnittelun osatehtävät vastaavat seuraavaa:

Vaarassa on kaksi tekijää: se, joka uhkaa ja se, joka on uhattu. Tulipalossa uhan arviointiin kuuluu seuraavaa:

- millaisia tulipalon uhkia kohteessa on: miten, missä ja milloin paloja voi syttyä
- millaisia nuo palot ovat eli kuinka nopeasti ne kehittyvät, kuinka isoiksi ne tulevat ja kauanko ne kestävät

Sen arviointi, keitä tai mitä on uhattuna käsittää tyypillisesti

- tulipalon uhkaamien ihmisjoukkojen määrien ja laadun (vanhukset, toimintarajoitteiset, jne.) arviointi
- rakennuksen, sen irtaimiston, ympäristön, toimintojen jne. arviointi siitä näkökulmasta, mitä vahinkoa palo voi tuottaa niille.

Vaarojen toteutumisen arvioinnissa selvitetään,

- ”kohtaavatko” uhka ja sen uhkaamat kohteet, so. voiko vaara toteutua
- kuinka todennäköistä vaaran toteutuminen on

Siinä selvitetään tyypillisesti mm. että

- pääsevätkö ihmiset pois, ennen kuin sen savuisuus, lämpötila tai kaasujen myrkyllisyys estävät sen
  - poistumisturvallisuuden suhteen todennäköisyysnäkökulma tarkoittaa käytännössä sitä, että ei riitä, että ihmiset pääsevät turvaan ”juuri ja juuri”, vaan että viimeisen henkilön arvioidun poistumisajan tulee olla riittävän paljon lyhyempi kuin sen aika, jolloin olosuhteiden arvioidaan tulevan sietämättömiksi
- kestävätkö rakenteet (osastointi & kantokyky) palon aiheuttamat olosuhteet
  - mikään kohde ei kestä mielivaltaisen pitkään laajalle levinnyttä paloa ja siksi kysymys rakenteiden kestämisestä on sen arviointia, että rakenteellisen toimintakyvyn menettämisen todennäköisyys on riittävän pieni.

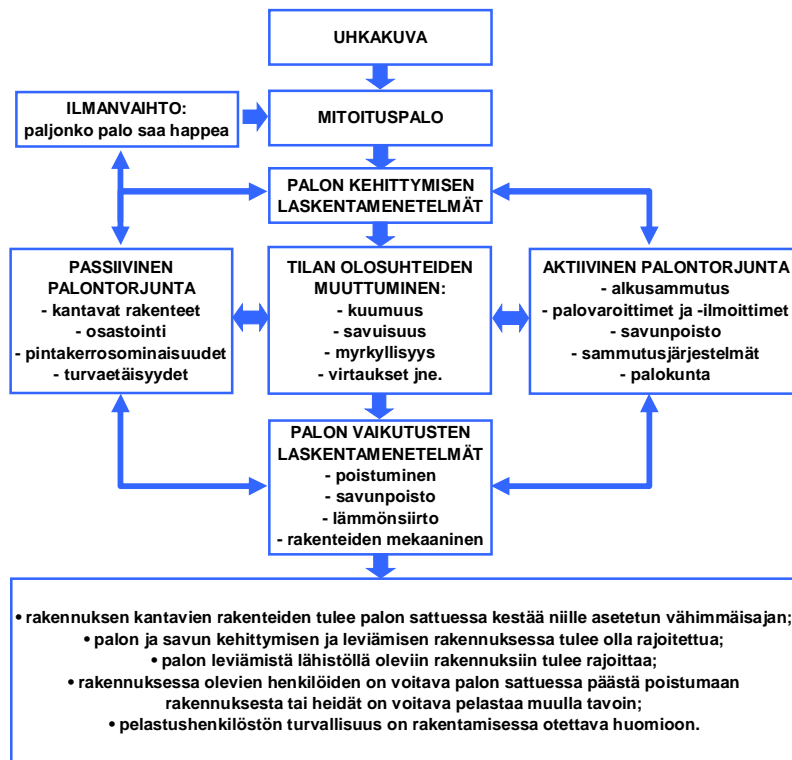
Toiminnallisessa paloturvallisuussuunnittelussa palovaarojen torjunta käsittää tyypillisesti aktiivisten palontorjuntatoimien, kuten alkusammutuksen, palonilmaisimien, savunpoiston, sammutusjärjestelmien ja palokunnan toimien vaikutuksen arviointia, sekä passiivisten palontorjuntatoimien, kuten osastoinnin, turvaetäisyyksien, jne. riittävyden arviointia. On kuitenkin huomattava, että myös palojen ehkäisy on osa toiminnallista paloturvallisuussuunnittelua.

Päätöksenteko toiminnallisessa paloturvallisuussuunnittelussa on sen arviointia, voidaanko esitettyjen suunnitteluratkaisujen ja toimenpiteiden tuottavan riittävän turvallisen tuloksen, mikä käytännössä on joidenkin hyväksymiskriteerien täyttymisen arviointia.

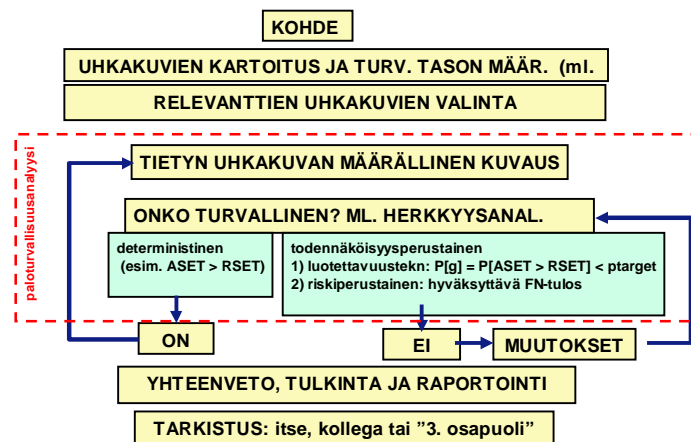
## **SUUNNITTELUPROSESSI**

Toiminnallisen paloteknisen suunnittelun päämäärä on sama kuin palomääräysten luokkia ja lukuarvoja noudattavassa suunnittelussa eli toteuttaa paloturvallisuuden olennaiset vaatimukset:

- rakennuksen kantavien rakenteiden tulee palon sattuessa kestää niille asetetun vähimmäisajan;
- palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa tulee olla rajoitettua;
- palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin tulee rajoittaa;
- rakennuksessa olevien henkilöiden on voitava palon sattuessa päästä poistumaan rakennuksesta tai heidät on voitava pelastaa muulla tavoin;
- pelastushenkilöstön turvallisuus on rakentamisessa otettava huomioon.



Kuva 1. Toiminnallisen paloteknisen suunnittelun tärkeimpiä osatekijöitä ja niiden välisiä riippuvuuksia.



Kuva 2. Toiminnallisen paloteknisen suunnittelun kulku.

Taulukko 1. Toiminnallisen paloteknisen suunnitelman sisältö.

Asia	Kommentti
Suunnitelman sovellusalueiden yksilöinti ja rajaus	Käytännössä toiminnallista paloteknistä suunnittelua sovelletaan vain joidenkin paloturvallisuuden osa-alueiden täyttymisen todentamiseen. Nämä tulee käydä esille asiakirjoista.
Rakennuksen kuvaus koko elinkaaren aikana	Rakennuksen tulee kuvata asiakirjoissa suunnitelman sovellusalueen vaatimalla tarkkuudella mukaan lukien sen käytöstä koko sen elinkaaren aikana tehdyt oletukset sekä rakennuksen käytön aikana edellytettävät huolto- ja kunnossapitotoimet.
Uhkakuvien ja mitoituspalojen määrittäminen	Toiminnallinen palotekninen suunnittelu perustuu valittuihin uhkakuviin ja niitä kuvaamaan käytettäviin mitoituspaloihin. Niistä sovitaan paloviranomaisten kanssa ennen suunnittelun käynnistämistä.
Käytettyjen menetelmien, tietojen ja niiden käytön kelpoisuus	Toiminnallinen palotekninen suunnittelu on käytännössä suurelta osin erilaisten turvallisuuden arviointimenetelmien, erityisesti laskentamenetelmien käyttöä. Määräysten mukaan suunnittelussa käytetään menetelmiä, joiden kelpoisuus on osoitettu. Menetelmien kelpoisuuden lisäksi on yhtä olennaista, että menetelmiä käytetään asiantuntevasti. Kaikki tietolähteet ja tehdyt oletukset tulee tuoda esille ja perustella.
Hyväksymiskriteerit	Hyväksymiskriteerit asettavat mitan suunnitteluratkaisun turvallisuudelle. Vielä tällä hetkellä niistä sovitaan kohdekohtaisesti paikallisten viranomaisten kanssa.
Menetelmien soveltaminen, tulosten esittäminen ja herkkyysanalyysi	Menetelmien soveltaminen kyseiseen suunnittelutapaukseen tulee esittää siinä laajuudessa (liitteitä apuna käyttäen), että soveltaminen voitaisiin tarvittaessa toistaa jonkun toisen tahon toimesta. Suunnitelman turvallisuus todennetaan vertaamalla tuloksia hyväksymiskriteereihin. Tuloksiin olennaisesti vaikuttavien suureiden suhteen tulee tehdä herkkyysanalyysi, jolla arvioidaan laskelman lähtötietojen muutosvaikutusta laskelman lopputulokseen. Herkkyysanalyysi tehdään riskien ja epävarmuuden arvioimiseksi ja se on yhtä olennainen osa suunnitelmaa kuin varsinaiset laskelmat.
Palontorjunnan vaikutusten arvioinnin kuvaus	Suunnitelmassa pitää esittää, miten eri palontorjuntamenetelmien vaikutus otetaan huomioon: <ul style="list-style-type: none"> <li>• palokunnan toimintamahdollisuuksien vaikutuksen arvioinnissa käytetyt menetelmät ja tehdyt oletukset</li> <li>• paloturvallisuuslaitteiden kuvaus ja niiden vaikutuksen arvioinnissa käytetyt menetelmät ja tehdyt oletukset.</li> </ul>

## TOIMINNALLISEN PALOTEKNISEN SUUNNITTELUN NETTISIVUT

VTT on laatinut www-sivut, joilla esitetään toiminnallisen paloteknisen suunnittelun toteuttaminen ja annetaan runsaasti määrällisiä tietoja, joihin suunnittelijat ja viranomaiset voivat perustaa yhteistyönsä. Määrällisen tietosisältönsä puolesta nettisivut ovat maailmankin tasolla edistykselliset: esim. mitoituspaloista ei missään ole annettu yhtä kattavaa ja perusteltua

tietokantaa. Nettisivut on laadittu siten, että toimivat toiminnallisen paloteknisen suunnittelun oppimisympäristönä. Ne on toteutettu nettisivuina siksi, että tietoa voidaan päivittää alan tietouden kehittyessä.

**Nettisivujen osoite on  
<http://www.vtt.fi/proj/fise/>**

Nettisivujen hyödyntäjätahoja esitetään kuvassa 3.



Kuva 3. Toiminnallisen paloteknisen suunnittelun tärkeimpiä osatekijöitä ja niiden välisiä riippuvuuksia.

Nettisivujen sisältö on seuraava:

### **Suunnitteluprosessi**

- Johdanto toiminnalliseen paloturvallisuussuunnitteluun
- Paloturvallisuussuunnittelijan rooli
- Viranomaisyhteistyö
- Paloteknisen suunnitelman sisältö
- Suunnitelman hyväksymisperusteet
- Esimerkkejä oletettuun palokehitykseen perustuvasta suunnittelusta
- Palovaarat ja riskit

### **Mitoituspalot**

Mitoituspalojen tietokanta sisältää seuraavat tiedot:

- Urheilu- ja monitoimihallit
  - urheilukäyttö
  - messukäyttö
  - konserttikäyttö
- Toimistot
  - alkupalot
  - työpisteiden palot

- Autopaikoitustilat
  - yksi henkilöauto
  - useita henkilöauto ml. leviäminen
  - auto + bensalammikko
  - matkailuautot ja buusit
  - raskaat ajoneuvot
  - muu käyttö (esim. kirpputorikäyttö)
- Ostoskeskukset ja ravintolat
  - kauppatilojen tavarahyllyt
  - huonekalumyymälät
  - kioskit
  - yksittäisten pienten kauppojen lieskahtava palo
  - ravintola
    - vaatenaulakkopalo
    - pöytien ja tuolien palaminen
  - laite- konehuone- yms. palot
- Liikenneasemat (bussi,juna, laiva, lentokone)
  - odotustilojen kalustus
  - lipunmyyntitiskit
  - laituritilojen palot: bussit & junat: tekeillä
- Palavan nesteen palot
  - tuhopoltot
  - allaspalot
  - vuotavan nesteen palot
- Stokastisen mitoituspalon laskenta

## **Tulipalon dynamiikka**

- Suljetun tilan tulipalo
  - perusteet
  - EN1991-1-2: parametrinen palon laskenta-EXCEL
  - EN1991-1-2: paikallinen palon laskenta-EXCEL
  - Alpertin malli -EXCEL
- Vapaassa tilassa tapahtuvat tulipalot:
  - palon koon määrittäminen
  - uhkalaskennan esimerkki 1: turvaetäisyys lämpösäteilyn suhteen
  - uhkalaskennan esimerkki 2: turvaetäisyys päästöjen suhteen
- Tulipalon mallintamisesta:
  - eri malleista
  - FDS-ohjelman käyttö

## **Ohjeet suunnittelun ja suunnitelmien arvioinnin tueksi**

- Lähtökohdat
  - Päämäärä
  - Palomääräykset ja toiminnallinen suunnittelu
    - Palokuorma
    - Rakennuksen paloluokka

- Syttymisen estäminen
- Palon rajoittaminen palo-osastoon
- Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen
- Palon leviämisen estäminen osastosta
- Palon kehittymisen rajoittaminen
- Palon leviämisen estäminen naapurirakennuksiin
- Poistuminen palon sattuessa
- Sammutus- ja pelastustehtävien järjestely
- Toiminnallisen paloteknisen suunnitelman sisältö
  - Suunnitelman sovellusalueiden yksilöinti ja rajaus
  - Rakennuksen kuvaus koko elinkaaren aikana
  - Uhkakuvien ja mitoituspalojen määrittäminen
  - Käytettyjen menetelmien, tietojen ja niiden käytön kelpoisuus
  - Hyväksymiskriteerit
  - Menetelmien soveltaminen, tulosten esittäminen ja herkkyysanalyysi
  - Palontorjunnan vaikutusten arvioinnin kuvaus
- Uhkakuvat ja mitoituspalat
  - Uhkakuvat
  - Mitoituspalat
  - Palon kehittymisen laskenta lähtien tilassa olevan palokuorman määrästä ja laadusta sekä ilmanvaihdon määrästä
- Mitoituspalon määrällinen kuvaus
  - Tulipalon syttyminen
  - Miten palo kasvaa
  - Kuinka suureksi palo tulee
    - Hapen määrän rajoittama palo
    - Polttoaineen määrän ja palavuuden rajoittama palo
  - Kuinka kauan palo jatkuu
- Palon kehittymisen laskentamenetelmät
  - Laskentatapoja ja -ohjelmia
  - Laskentatavan valinta: kriteerinä kelpoisuus
- Tilan olosuhteiden muuttuminen
  - Liekin korkeus
  - Tulipalon aiheuttama lämpörasitus
    - Lämpötilan laskennan yksinkertaisia malleja
    - Lämpösäteilyn laskennan yksinkertaisia malleja
  - Savu
    - Savun muodostuminen
    - Tilan savulla täyttymiseen ja savunpoistoon liittyviä yksinkertaisia malleja
  - Myrkylliset kaasut
- Palontorjuntatoimien vaikutuksesta
  - Alkusammutus
  - Palovaroittimet ja -ilmoittimet
    - Lämpöilmaisin
    - Savuilmaisin
  - Sammutusjärjestelmät
  - Savunpoisto
  - Palokunta
- Poistumislaskenta
- Palon aiheuttamat vaarat kohteessa oleville henkilöille

- Lämpötila
- Lämpösäteily
- Savu
- Myrkyllisyys
- Pelastushenkilöstön turvallisuus
- Saatujen tulosten turvallisuuden arvioinnista
  - Deterministiset, todennäköisyysperustaiset ja riskianalyttiset lähestymistavat
    - Esimerkkejä deterministisestä lähestymistavasta
    - Esimerkkejä todennäköisyysperustaisista lähestymistavoista
  - Henkilöturvallisuuden riskien suuruuden arviointiin perustuva lähestymistapa
    - F-N -käyrä
    - F-N käyrän soveltaminen paloriskeihin
    - Palotilastoihin perustuva henkilöriskien F-N -käyrä
- Herkkyysanalyysistä ja varmuuskertoimen valinnasta

### **Poistumisturvallisuus**

- Yleistä
- Poistumiseen liittyvät määräykset
- Olosuhteiden muuttuminen poistumisen kannalta kriittiseksi
- Ihmisten käyttäytyminen tulipalotilanteessa
- Poistumisen mallintaminen

### **Materiaalien ja tuotteiden syttyminen ja palaminen**

#### **Rakenteiden toiminta tulipalossa**

- Lämpörasituksen voimakkuudesta
  - Lämmön siirtyminen rakenteeseen
  - Lämmön siirtyminen rakenteessa
  - Lämmön siirtyminen rakenteesta
- Mekaaniset kuormat
  - Rakenneosien oma paino
  - Hyötykuorma
  - Lumikuorma
  - Tuulikuorma
  - Kuormien yhdistäminen palomitoituksessa
- Betoni
  - Betonin mekaaniset ominaisuudet
  - Betonin lämpötekniset ominaisuudet
  - Betonin lohkeilu tulipalossa
- Puu
  - Puun mekaaniset ominaisuudet
  - Puun lämpötekniset ominaisuudet
  - Puun hiiltyminen
  - Puun syttyminen ja palaminen
- Teräs
  - Teräksen mekaaniset ominaisuudet
  - Teräksen lämpötekniset ominaisuudet
  - Ruostumaton teräs

- Teräksen kuumeneminen tulipalossa
- Lasi
  - Lasin lämpötekniiset ja mekaaniset ominaisuudet
  - Lasin rikkoutuminen ja pois putoaminen
- Lämpöeristeitä
  - Kipsilevy
  - Kivivilla
  - Lasivilla
  - Muita eristemateriaaleja
- Suoran sauvan puristus ja taivutus
  - Suoran sauvan puristus
  - Suoran palkin taivutus

### **Paloturvallisuus riskienhallintaprosessina**

- Riskienhallinnasta yleisesti
- Tulipaloriskin analysointi
- Tulipaloriskien arviointi
- Tulipaloriskien pienentäminen
- Paloturvallisuussuunnitelman arviointi deterministisin, todennäköisyysperustaisin ja riskianalyttisin keinoin
- Henkilöturvallisuuden riskien suuruuden arviointiin perustuva lähestymistapa
- Esimerkki todennäköisyyslaskennan käytön eduista
- Paloturvallisuussuunnittelun yhteydessä yleisesti käytettyjä todennäköisyysjakaumia

### **Palontorjunta**

- Sammutustekniikan perusteet
- Sammutteet
- Aktiivinen palontorjunta
- Passiivinen palontorjunta
- Palokuntien toiminta
- Tulipalon seuraamukset
- Poistumisturvallisuus

### **Eryiskohteiden palosuunnitteluista**

- Tunnelit
  - mitoituspalot
  - BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) - mikä se on ja onko sen tapahtuminen mahdollista
- Maanalaiset tilat
- Historialliset kohteet
  - Esimerkki Porvoon Museon suunnittelu
- Räjähdyksistä

## **Esimerkit**

- Urheilu- ja monitoimihalli
  - rakenteellinen paloturvallisuus (teräs/puu)
  - poistumisturvallisuus: messu- tai konserttikäytössä
- Kauppakeskuksen autopaikoitustila
  - rakenteellinen paloturvallisuus (liittorakenne)
  - savunpoisto, ilmaisimet, sprinklaus
  - poistumisturvallisuus (myös kokoontumistilana)
- Toimisto:
  - työasemien palo, avokonttori - poistumisturvallisuus ml. savunpoisto
- Maanalaisten tilojen paloturvallisuus
  - savunpoisto, ilmaisimet, sammutusjärjestelmät
  - poistumisturvallisuus
- Korkeiden rakennusten paloturvallisuus
  - savunpoisto, ilmaisimet, sammutusjärjestelmät
  - poistumisturvallisuus ja pelastushenkilöstön pääsy kohteeseen ja heidän turvallisuutensa

## **LOPPUSANAT**

Palotutkimusraati toteutti vuonna 2006 toiminnallisen palotutkimuksen seminaarisarjan yhteistyössä ympäristöministeriön, paikallisten ympäristökeskusten, suunnittelutoimistojen ja VTT:n kanssa Toiminnallinen palotekninen suunnittelu. Esityispaino laitettiin suunnitelmien toteuttamisesimerkeille ja palautteen saamiselle. Alla esitetään joitain ohjeita, jota perustuvat tuon seminaarisarjan aikana esille tulleisiin keskeisiin asioihin.

### **Suunnittelija:**

- noudata hyviä, systemaattisia käytäntöjä ja korkeaa ammattietiikkaa;
- tarkista tulokset vertailulla tietoon todellisista tulipaloista, koetuloksiin, tutkimusraportteihin tai muulla tavoin laskettuihin tuloksiin;
- yksinkertaista niin paljon kuin mahdollista ja aina turvalliseen suuntaan;
- ota huomioon koko elinkaari; arvioi, milloin mahdolliset muutokset vaativat suunnittelun päivittämistä
- älä luovuta suunnitelmaa ennen kuin itse luotat tuloksiin.

### **Viranomainen:**

- viranomaiset määräävät, mitä uhkakuvia tarkastellaan - viranomaisen ei kuitenkaan tarvitse osata kertoa palon megawatteja tai muita yksityiskohtia, vaan niiden määrittäminen on palosuunnittelijan perusosaamista;
- vaadi perustelut kaikille tiedoille sekä asiaankuuluvat herkkyystarkastelut;
- mieti, vastaako tulos sinulla asiantuntemukseesi perustuvaa olevaa mielikuvaa tilanteesta;
- käytä tarvittaessa kolmannen osapuolen tarkistusta.