



Toiminnallisen palomitoituksen hyödyntäminen puurakennuksissa

Esko Mikkola
KK-Palokonsultti Oy

Sisältö



- Palomääräykset ja toiminnallinen mitoitus
- Paloturvallisuuden olennaiset vaatimukset
- Puun käyttöalueista ja rajoitteista
- Toiminnallinen palomitoitus
 - Vaatimukset, ohjeet ja dokumentointi
 - Eri toimijoiden roolit
 - Viranomaishyväksynät
- Milloin toiminnallista palomitoitusta käytetään
 - Hyötyjä
 - Tyypillisiä rakennuskohteita ja rakennekokonaisuuksia
- Puurakentamiseen liittyviä näkökulmia
- Esimerkkejä kohteista
 - Puukuokka ja Seinäjoen Mäihä

Palomääräykset ja toiminnallinen mitoitus



1997

- **Toiminnallinen palomitoitus mahdolliseksi taulukkoarvojen rinnalla**
- Samalla taulukkomitoituksessa puukerrostalot 4 kerrokseen asti mahdollisiksi

2002

- Eurooppalaiset pintakerrosluokat mukaan määräyksiin

2011

- Taulukkomitoitus: Erityisesti puun käyttöä koskevia muutoksia **perustuen toiminnalliseen analyysiin**
 - Kantavien puurakenteiden käyttö 8 kerrokseen asti
 - Puun käyttö sisäpinnoissa ja julkisivuissa
 - Lisäkerroksen rakentaminen

2018

- **Toiminnallinen mitoitus: P0 paloluokka, lisää sisältöä (mitoitettava palokuorman tiheys, jne.)**
- Taulukkomitoitus: Puun käytön laajennuksia **toiminnalliseen analyysiin perustuen**

Paloturvallisuuden olennaiset vaatimukset



1. Rakennuksen kantavien rakenteiden tulee palon sattuessa kestää niille asetetun vähimmäisajan
 - Jos henkilöturvallisuuden takia tai vahinkojen suuruuteen nähden on tarpeellista, rakennuksen on riittävän luotettavasti kestävä sortumatta koko palokuorman palaminen ja jäähtyminen
 - Haasteellinen puurakentamisessa (jos ei riittävää suojaverhousa)
 - Automaattisen sammutuksen hyödyntäminen
2. Palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa tulee olla rajoitettua
 - Jako palo-osastoihin
 - D-s2, d2 luokka (puutuotteet) yleensä alarajana, mutta usein korkeampi vaatimustaso ja toiminnallisen mitoituksen keinoin voidaan perustella puun käyttöä
3. Palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin tulee rajoittaa
 - Etäisyys, osastointi ja palomuri keinoina
4. Rakennuksesta on voitava poistua turvallisesti tulipalossa
 - Uloskäytävässä ja palosulussa palokuorma rajoitettu minimiin
 - Irtaimen palokuorman laatu yleensä määräävämpi kuin puupinnat ja -rakenteet
5. Pelastushenkilöstön turvallisuus / pelastus- ja sammutustyön edellytykset
 - Pelastustiet, sammutusreitit, palomieshissit, kiinteä sammutusvesiputkisto, jne.

Puun käyttöalueista ja rajoitteista



- Taulukkomitoitus: Puun käyttö laajasti mahdollista 1 – 2 krs rakennuksissa, paitsi käyttötapoihin liittyviä rajoituksia:
 - Asunnot: suojaverhotut sisäpuoliset seinät ja katot/P2
 - Majoitustilat: sisäpuoliset seinät ja katot/P2
 - Hoitolaitokset: sisäpuoliset seinät ja katot/P1 ja P2
 - Kokoontumis- ja liiketilat: suojaverhoukseen, pinta-alaan ja palokuormaan liittyviä rajoituksia
 - Työpaikkatilat: suojaverhotut sisäpuoliset seinät ja katot/P2
 - Tuotanto- ja varastotilat: rajoitukset pääosin palovaarallisuusluokassa 2
 - Autosuojat: sisäpuoliset seinät, katot ja lattiat
 - Uloskäytävät: sisäpuoliset seinät ja katot
 - Ulkoseinät: P1 rakennukset pääosin

Toiminnallista mitoitusta sovelletaan eniten kokoontumisrakennuksissa (esim. liiketilat ja liikuntahallit) ja tuotanto- ja varastotiloissa

- Taulukkomitoitus: Puukerrostaloja (3-8 kerrosta) koskevia käyttötaparyhmiä ovat asuinrakennukset, työpaikkarakennukset, majoitusrakennukset sekä hoitolaitokset; lisäksi 3-4 kerrosta mahdollista kokoontumis- ja liikerakennuksissa
 - Muut käyttötavat ja korkeammat rakennukset tehdään toiminnallisella mitoituksella

Toiminnallinen palomitoitus

Vaatimukset, ohjeet ja dokumentointi

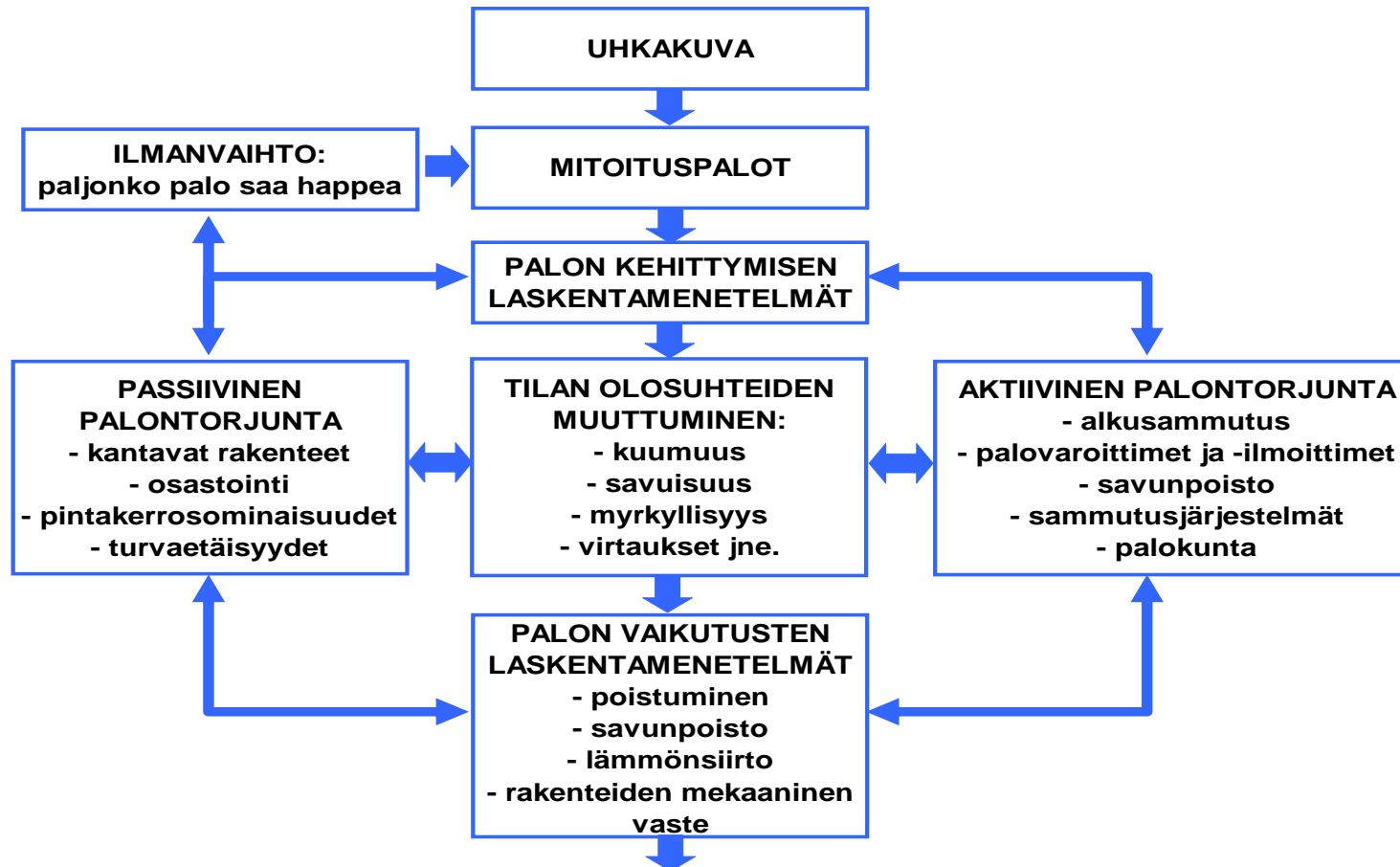


- **Toiminnallinen palomitoitus on tasavertainen reitti taulukkomitoituksen rinnalla**
- Paloturvallisuusvaatimuksen katsotaan täyttyvän, mikäli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet.
- Vaatimuksen täytyminen on todennettava tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö.
- Oletettuun palonkehitykseen perustuvassa suunnittelussa on käytettävä 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 (esim. eurokoodin mukainen laskenta kansallisen liitteen mukaisesti).
- Suunnittelun perusteet, käytetyt mallit ja saadut tulokset on esitettävä rakennuslupamenettelyn yhteydessä.

Toiminnallisen suunnittelun asiakirjoista selviää

- rakennuksen ja siinä olevien paloturvallisuuslaitteiden kuvaus,
- rakennuksen käytöstä koko sen elinkaaren aikana tehdyt oletukset,
- palokunnan toimintamahdollisuuksista tehdyt oletukset,
- perusteet tarkastelun kohteiksi valituille palotilanteille,
- vikaantumistarkastelu tarvittavassa laajuudessa perusteluineen,
- rakennuksen käytön aikana edellytettävät huolto- ja kunnossapitotoimet,
- käytettyjen menetelmien kuvaus, joka sisältää laskenta- ja koemenetelmien soveltuvuuden rajoituksineen sekä lähtötiedot ja tehdyt oletukset perusteluineen,
- saadut tulokset herkkyysanalyysineen (sen selvittämiseksi, aiheuttaako pieni muutos tehdyissä oletuksissa merkittävän muutoksen paloturvallisuudessa),
- hyväksymiskriteerit ja saatujen tulosten vertailu niihin sekä
- sovellusalueiden yksilöinti ja rajaus, mikäli suunnittelussa on käytetty sekä taulukkomitoitusta että toiminnallista mitoitusta

Toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun kaavio



- 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.

Eri toimijoiden roolit



Paloteknisen suunnittelun yhteistyökumppanit ja tehtävät

- Rakennuttaja ja pääsuunnittelija
 - Päälinjat ja päätökset
- Arkkitehti, rakennesuunnittelija, paloinsinööri, muut suunnittelijat
 - Käytännön ratkaisut yhteistyönä
- Viranomaiset – rakennusvalvonta/hyväksynnät, pelastuslaitos/lausunnot
 - Paloinsinööri esittelee yhdessä pääsuunnittelijan kanssa toiminnallisen palosuunnittelun lähtöoletukset, hyväksymiskriteerit, analyysit ja niiden johtopäätökset
- Toiminnallisen palosuunnittelun dokumentointia tarvitaan
 - Rakennuslupakäsittelyä varten
 - Muiden suunnittelijoiden käyttöön
 - Rakennuttajan käyttöön
 - Urakoitsijan käyttöön
 - Rakennuksen omistajan/haltijan käyttöön

Viranomaishyväksynät



Vaatimuksen täyttymisen osoittaminen

- Vertailuperiaate
 - INSTA TS 950: Fire Safety Engineering — Comparative method to verify fire safety design in buildings (2014)
 - Verrataan vastaavan käyttötavan rakennukseen – esim. puurunkoisen yli 8 kerroksisen hotellin toteutusta verrataan P1 luokan vastaavan rakennuksen paloturvallisuuteen kokonaisuutena
- Absoluuttiset kriteerit
 - Syytä varmistaa viranomaishyväksyntä jo aiesuunnittelun alussa
 - Ongelmana voi olla hyväksymiskriteerien määrittely

Toiminnallinen palomitoitus prosessina

1. Omistajan/haltijan/käyttäjän tahtotila ja toiveet
2. Arkkitehtuurin ja rakennesuunnittelun reunaehdot
3. Palosuunnittelun reunaehdot
4. Viranomaisprosessista sopiminen
 - Rakennusvalvonnan antamat reunaehdot
 - Pelastuslaitoksen rooli
 - 3. osapuolen tarkastuksen tarve & rooli
5. Lähtöoletusten ja hyväksymiskriteerien hyväksyttäminen
6. Toiminnallisten analyysien tekeminen ja yhteistyö muiden suunnittelualojen kanssa
7. Analyysien ja johtopäätösten esittely viranomaisille
8. Mahdollisten täydentävien analyysien tekeminen
9. Lopulliset analyysiraportit ja tulosten keskeiset asiat palotekniseen suunnitelmaan

Toiminnallisen suunnittelun kriittisiä/vaativia kohtia

- *Kirjataan rakennuksen käytöstä koko sen elinkaaren aikana tehdyt oletukset*
 - suunnitellaan joko jollekin rajatulle käytölle (rajaa tulevat käytöt tälle alueelle) tai laajemmalle, jolloin varautuminen vaativiin tilanteisiin yleensä johtaa lisääntyviin kustannuksiin
- *Kirjataan palokunnan toimintamahdollisuuksista tehdyt oletukset*
 - mahdolliset muutokset pelastustoimen resursseissa voivat johtaa käyttökieltoon, jos tietyt resurssit ehtona analyysissä
- *Vikaantumistarkastelu tarvittavassa laajuudessa perusteluineen*
 - etenkin uusien laitteistoratkaisujen osalta tilastotiedot puutteellisia
- *Hyväksymiskriteerit*
 - ei ole juurikaan kansallisesti (eikä kansainvälisestikään) hyväksytyjä absoluuttisia hyväksymiskriteereitä; **vertailuperiaate siten pääasiallinen menetelmä**

Vaatimusten täyttymisen osoittamistapa

Osaratkaisuja oletettuun palonkehitykseen perustuen

- Poikkeamia rajoitetusti luokista ja lukuarvoista
- Ei P0-paloluokan rakennus

Oleellisilta osin oletettuun palonkehitykseen perustuva

- Esimerkiksi kantavat rakenteet, poistuminen/suuret henkilömäärät, henkilömäärä/paikkalukurajoitusten merkittävä ylittyminen
- Kyseessä P0-paloluokan rakennus

Hyväksymisprosessi ja osapuolet

Rakennusvalvontaviranomainen hyväksyy

- Kuullaan pelastuslaitosta pelastusalaan liittyvissä asioissa
- 3. osapuoli ei yleensä mukana; lausunto, jos tarpeen

Rakennusvalvontaviranominen hyväksyy

- Yhteistyö eri viranomaiset/suunnittelija (lähtöoletukset, menetelmät, hyväksymiskriteerit, poistuminen/pelastaminen, savunpoistojärjestelyt, sammuttamisen olosuhteet, jne.)
- 3. osapuoli mukana koko prosessin ajan

Milloin toiminnallista palomitoitusta käytetään



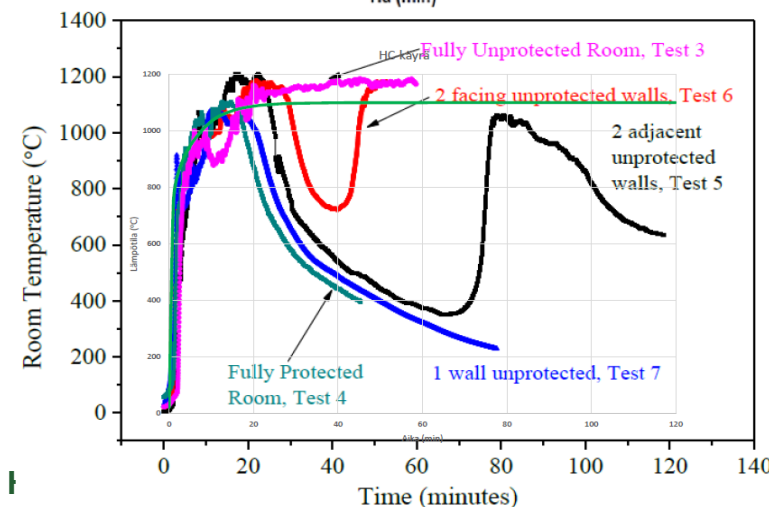
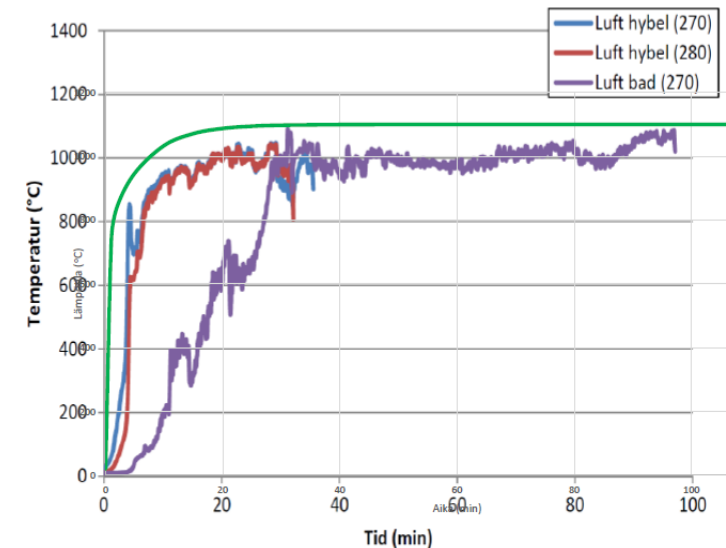
- Hyötyjä
 - Kustannussäästöjä optimoiduista ratkaisuista
 - Kun ei voida toteuttaa taulukkomitoituksella
 - Ks. alla olevia esimerkkejä ja mm. rakennusfysikaalisesti paremmin toimivia ratkaisuja
- Tyypillisiä puurakentamisen rakennuskohteita
 - Korkeat puurakennukset
 - Suuret hallimaiset rakennukset
 - Käyttötavat, joita ei ole sallittu taulukkomitoituksessa
 - Esim. Suuret henkilömäärät: Kokoontumistilat, hotellit, hoitolaitokset, jne.
- Tyypillisiä rakennekokonaisuuksia – osaratkaisuja toiminnallisista menetelmin
 - Puuparvekkeet P1 paloluokan rakennuksessa
 - Puujulkisivut – laajempi käyttö – myös eri käyttötapoja (esim. sairaalat)
 - Alakatot – suojaverhouksen korvaaminen puulevyllä
 - Palosuojattuja puupintoja porrashuoneissa
 - Massiivisten puurakenteiden pintoja näkyviin ilman suojaverhusta ja ilman R luokan nostoa
 - Rakennusten välinen etäisyys alle 8 m

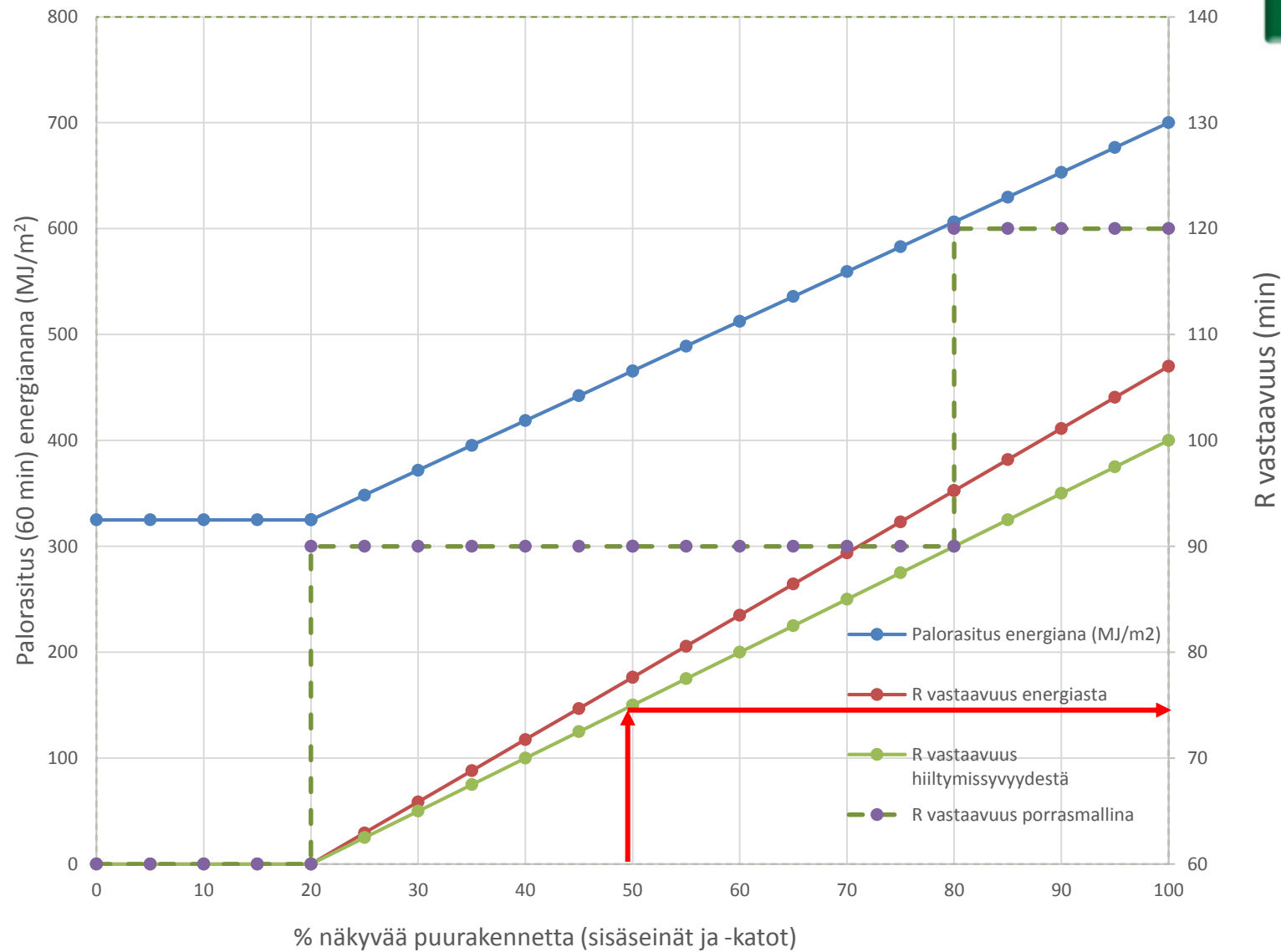
Puurakentamiseen liittyviä näkökulmia



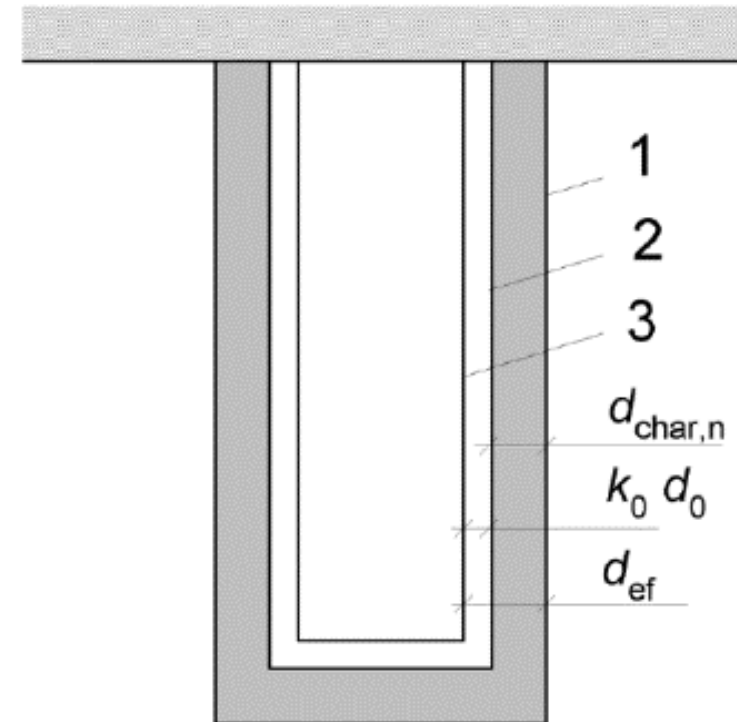
Puurakenteet ilman suojaverhousta

- Automaattisen sammutuksen luotettavuuden voidaan olettaa olevan ainakin 95 %
- Tapauksessa, jossa automaattinen sammutus ei toimi, mitoittava palo on oleellisesti standardipalorasitusta ankarampi
- Tästä kohonneesta palorasituksesta johtuva hiiltymisnopeus rakenteiden mitoituksessa voidaan ottaa huomioon R vaatimusta nostamalla





- Kun käytetään kohonneesta palorasituksesta johtuvaa korkeampaa R vaatimusta, voidaan puurakenteen hiiltymissyvyyden laskennassa käyttää Eurokoodi 5:n mukaisia standardipalorasitukseen perustuvia hiiltymisnopeuden perusarvoja sekä mahdollisten liimasaumojen delaminoitumisesta (deponding) johtuvia tuotekohtaisia laskentaohjeita.



Mitoitusperusteista; oletettu palonkehitys

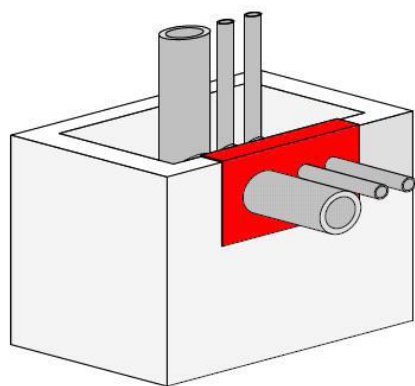


Rakennus	Rajoitukset	Olennaisten kantavien rakenteiden kestävyys palossa	Mitoituspalokuorman tiheys MJ/m ²
1-kerroksinen, yleensä	Korkeus enintään 9 m	30 minuuttia ilman jäähtymisvaihetta	$Q_{E,k}$
1-kerroksinen, yleensä	Korkeus yli 9 m	60 minuuttia ilman jäähtymisvaihetta	$Q_{E,k}$
1-kerroksinen, - majoitustila - hoitolaitos - kokoontumis- ja liiketila	Yli 50 paikkaa Yli 25 paikkaa Yli 250 henkilöä	60 minuuttia ilman jäähtymisvaihetta	$Q_{E,k}$
2-kerroksinen, yleensä	Korkeus enintään 9 m	30 minuuttia ilman jäähtymisvaihetta	$Q_{E,k}$, vähintään 600 MJ/m ²
2-kerroksinen, yleensä	Korkeus yli 9 m	60 minuuttia ilman jäähtymisvaihetta	$Q_{E,k}$, vähintään 600 MJ/m ²
2-kerroksinen, - majoitustila - hoitolaitos - kokoontumis- ja liiketila	Yli 50 paikkaa Yli 25 paikkaa Yli 250 henkilöä	Palo- ja jäähtymisvaihe	$Q_{E,k}$, vähintään 600 MJ/m ²
Yli 2-kerroksinen	Korkeus enintään 28 m	Palo- ja jäähtymisvaihe	$Q_{E,k}$, vähintään 600 MJ/m ²
Yli 2-kerroksinen	Korkeus yli 28 m	Palo- ja jäähtymisvaihe	$2,0 \cdot Q_{E,k}$, vähintään 900 MJ/m ²

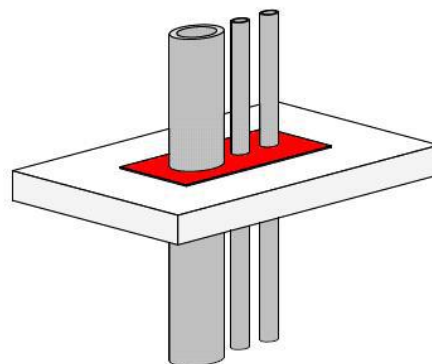
$Q_{E,k}$ on tilastollisesti tai laskennallisesti määritetty kokonaispalokuorman tiheyden ominaisarvo (80 % fraktiili). Tarkastelu tehdään täysin kehittyneelle palolle. Jos voidaan osoittaa, että lieskahtamista ei tapahdu, mitoitus voidaan tehdä paikalliselle palolle. Lieskahtamisen katsotaan tapahtuneen, kun kuumen savukerroksen keskilämpötila lämpötila saavuttaa 500 celsiusastetta tai kun säteily savukerroksesta lattiaan on yli 20 kilowattia neliölle.

Detailjiratkaisut ovat myös oleellisia

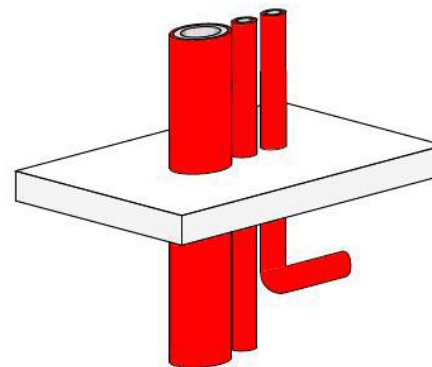
- Osastoivan rakennusosan läpi saa johtaa tarpeelliset putket, roilot, kanavat, johdot ja hormit sekä kuljetinlaitteistojen edellyttämät läpiviennit edellyttäen, ettei olennaisesti heikennetä rakennusosan osastoivuutta.
- **Tämä on toiminnallinen vaatimus!**



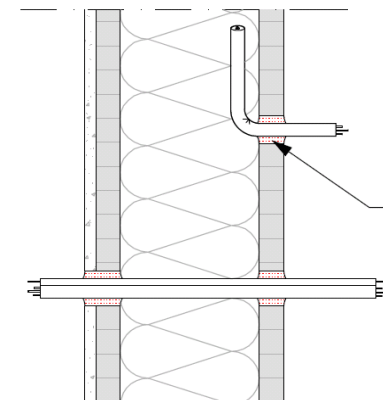
Asennuskanava,
johon läpivienti



Läpivienti osastoivassa
rakennusosassa



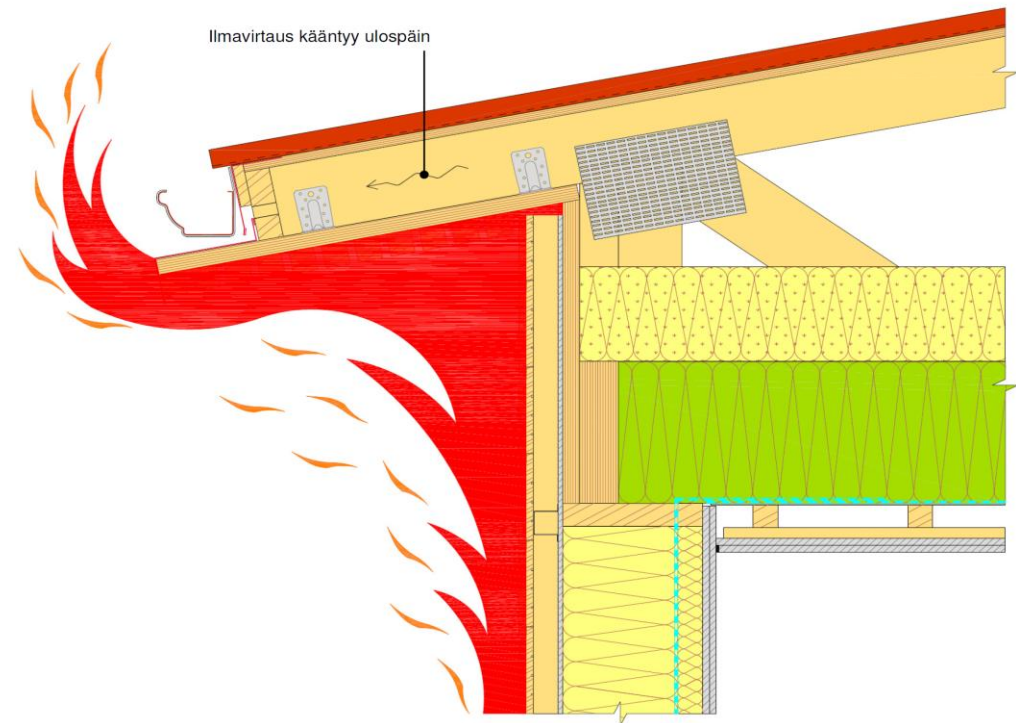
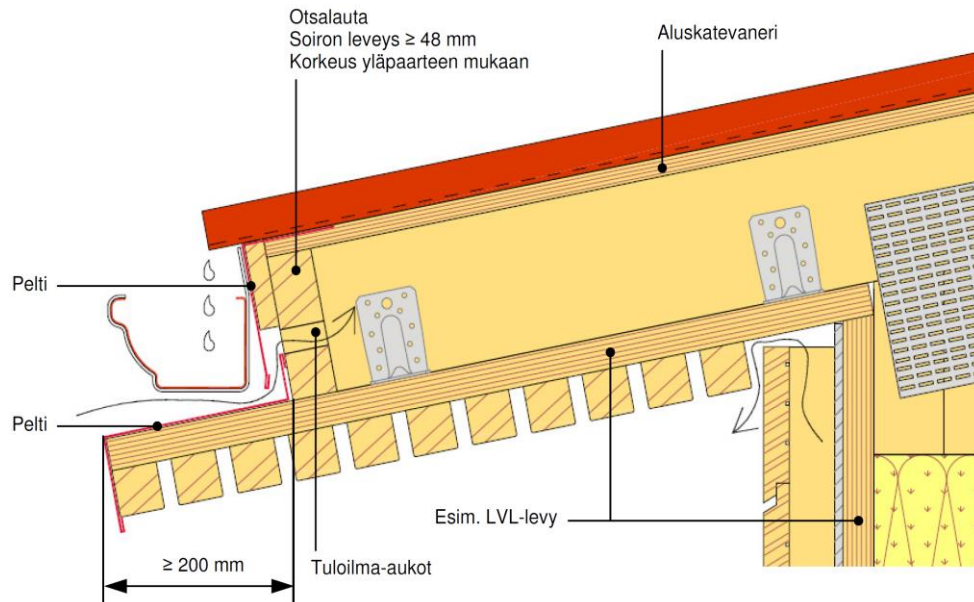
Kunkin läpimenevän
putken kotelointi



Kuvat: Fire safety in
timber buildings 2010

Onteloita rakenteissa tulee välttää tai katkaista ne tarpeen mukaan

- Esimerkkinä julkisivun ja räystään ontelon katkaisu siten, ettei palo pääse helposti ullakolle



Esimerkkejä kohteista



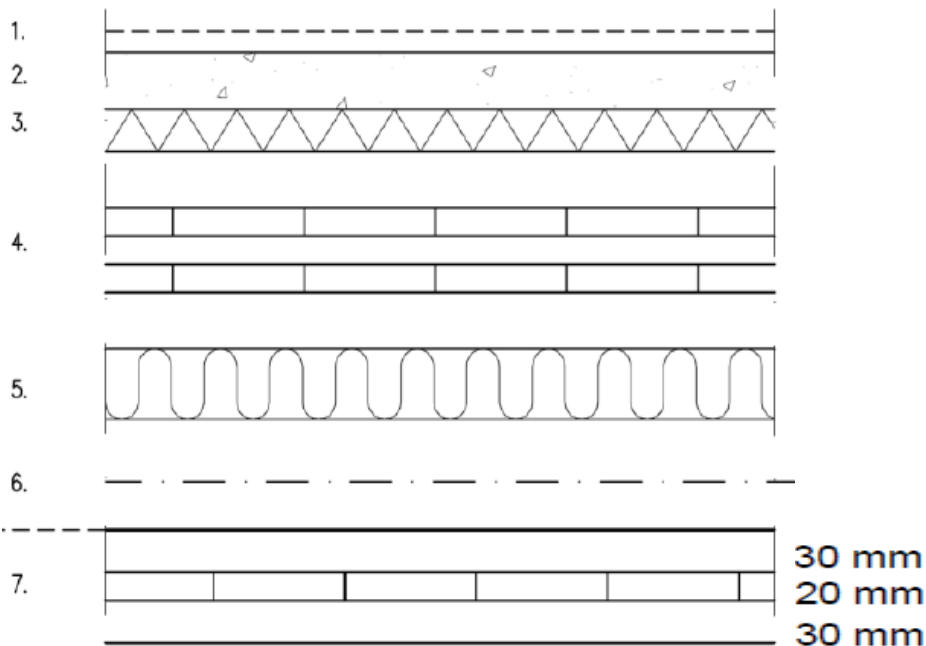
Puukuokka, Jyväskylä

- Kohde koostuu kolmesta asuinrakennuksesta ja se on korkeimmillaan kahdeksankerroksinen (ensimmäisenä rakennettu osa)
- Kellari ja ensimmäisen kerroksen varastotilat ovat betonirakenteisia
- Kerroksen 1 asuinhuoneistot ja kerrokset 2...8 ovat puurakenteisia (CLT)



Kuvat Mikko Auerniitty

- Rakennus on kellaria lukuun ottamatta varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla. Kellarin jättäminen suojaamatta sprinklauksella on perusteltu toiminnallisen palomitoituksen raportissa.
- Autohalli on varustettu autohalliin soveltuvalla savuun perustuvalla automaattisella paloilmoitinlaitteistolla.



Itsekantavan alakaton (CLT 80 mm) käyttö suojaverhouksena.

- Rakennuksen sisäpuoliset pinnat on varustettu palo-osaston kantamattomia sisäisiä väliseiniä lukuun ottamatta A2-s1, d0 luokan tarvikkeista tehdyllä K₂30 luokan suojaverhouksella.
- Poikkeamana silloisesta (2011) vaatimuksesta on huoneistojen katon suojaverhous, joka on toteutettu käyttäen alakattona CLT levyä.
 - Ylittänee vähän 2018 asetuksen 20 % rajan

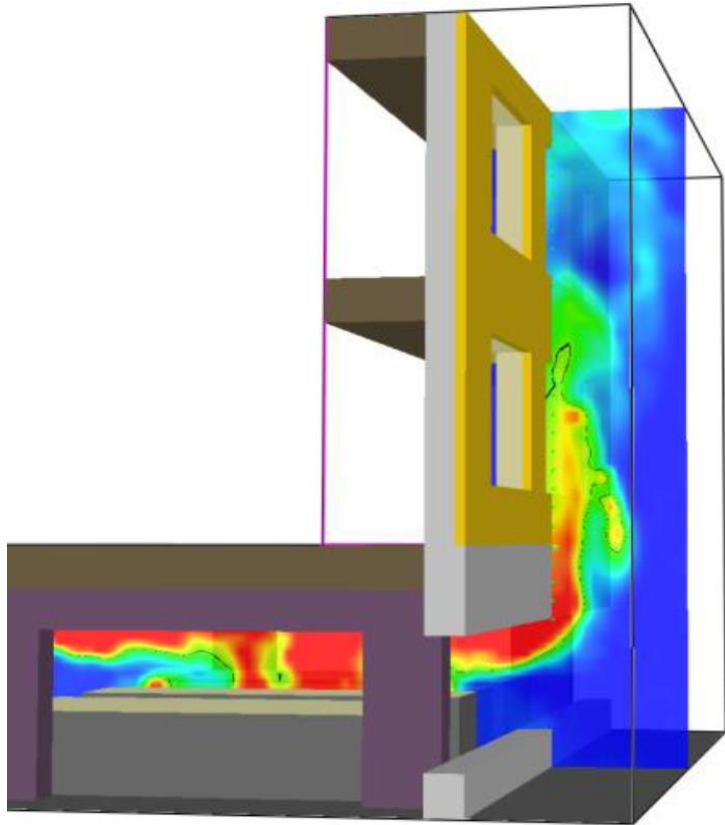


Kuvat Mikko Auerniitty

- Käytettäessä alakaton rakennetta (CLT 80 mm) suojaverhouksena ilman A2-s1, d0 luokan levytystä, voidaan K₂ 30 vaatimustason katsoa täyttyvän toiminnallisesti (oletettuun palonkehitykseen perustuen), koska 80 mm paksun CLT rakenteen ensimmäinen ristiinliimattu kerros (30 mm paksu) ei ehdi palaa läpi 30 minuutin aikana.
- Alakatto kantaa itsensä ja alakattorakenteen tiiviys ja eristävyys säilyy vaadittavan ajan.

- Julkisivulla käytetään puuverhoilua alinta kerrosta lukuun ottamatta
- Autohallipalon riskit on erikseen tutkittu simuloimalla ja todettu, että palo ei leviä vaaraa aiheuttavalla tavalla
- Autohallipalosta aiheutuva palorasitus julkisivulla on määräyksistä pääteltävää sallittua palorasitusta pienempi, joten puuverhoilun käyttö autohallikerroksen yläpuolisessa julkisivussa on mahdollista

a)



b)



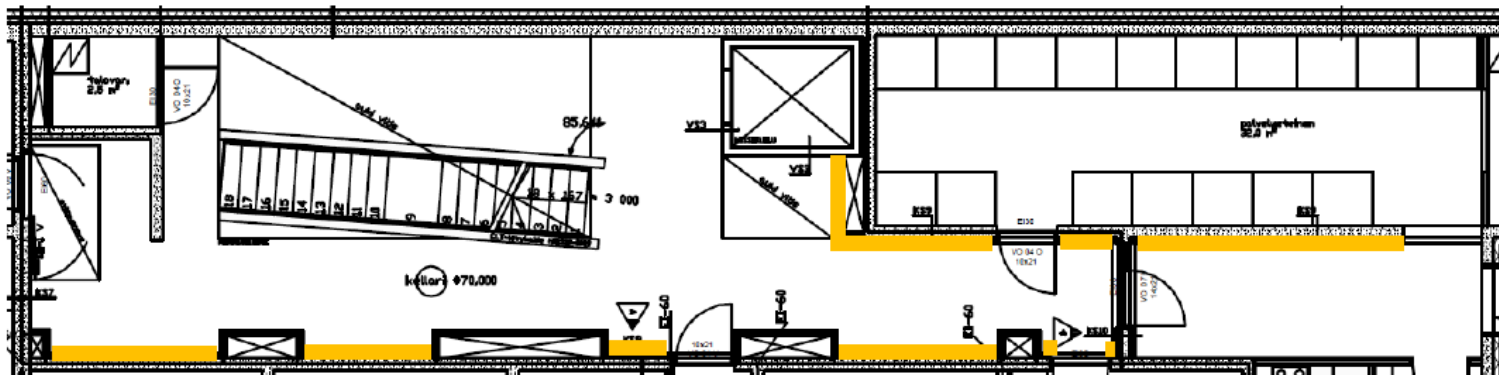
a) Autohallipalon simulointikuva. b) Autohallikerroksessa palamaton julkisivupinta ja ylempänä puuta (Kuva Mikko Auerniitty)

Seinäjoen Mäihä

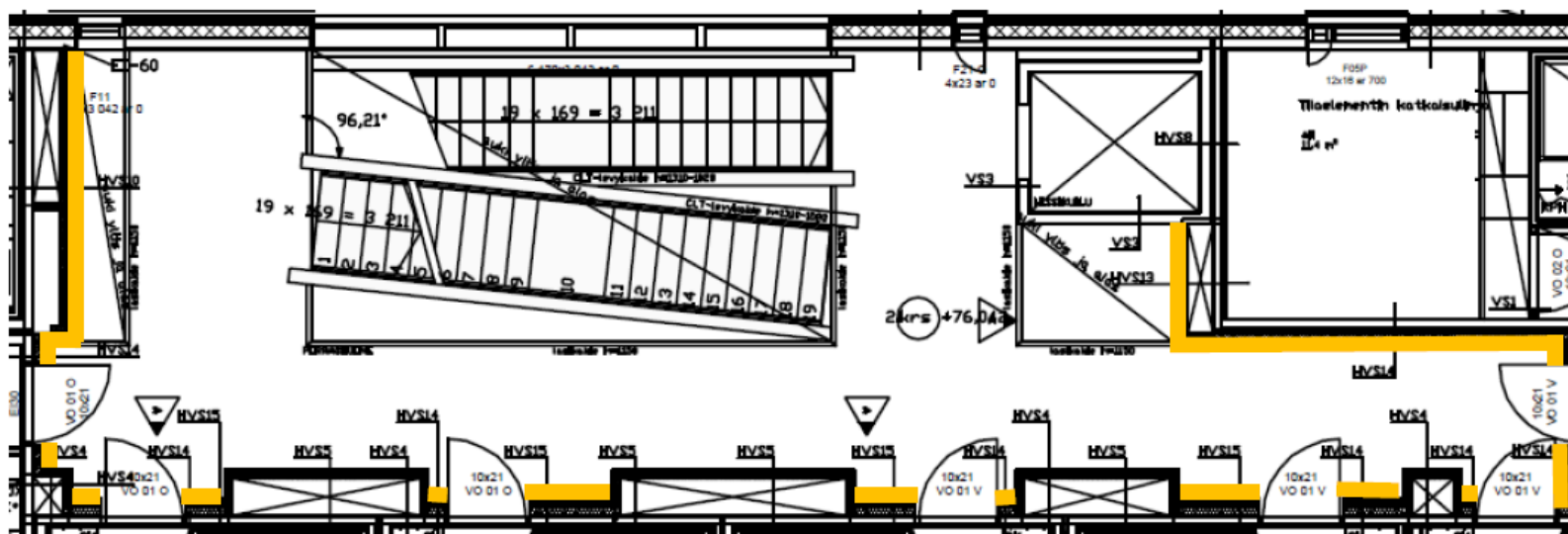
- Kohteen rakennuksessa on viisi puurunkoista (CLT) asuntokerrosta
- Osassa porrashuoneen seiniä, portaissa ja porrashuoneeseen liittyvän käytävän seiniä on B-s1, d0 luokkaan palosuojakäsiteltyä puuta



Kuva: Mikko Auerniitty



B-s1, d0 luokan puupinnat (■) seinissä; kellarikerros.



B-s1, d0 luokan puupinnat (■) seinissä; kerrokset 1-5.



Kuvat: Mikko Auerniitty

- Porrassyöksyt ja -tasanteet (portaisen yläpintaa lukuun ottamatta) ovat B-s1, d0 luokkaan palosuojattua puuta

Kirjallisuutta



- Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017).
- Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Muistio 28.11.2017.
- Paloturvallinen puutalo – asuin- ja toimitilarakentaminen. Puuinfo 2018.
- Puukerrostalon palosuunnitteluohje - toiminnallinen suunnittelu. Finnish Wood Research Oy, Palotekninen Insinööritoimisto Markku Kauriala Oy. 28.8.2015.
- Hietaniemi J., Mikkola E. Design fires for fire safety engineering, VTT Working papers 139, 2010.
- Eurocode 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset.
- Eurocode 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus.

Paloturvallisen puurakentamisen käsikirja

- *Fire resistance of Innovative Timber structures (FireInTimber)*
Hankkeen toteuttajina oli 14 tutkimustahoa yhdeksästä maasta: Ruotsi, Suomi, Saksa, Ranska, Norja, Iso-Britannia, Itävalta, Sveitsi ja Viro
 - Hanke osa puuteollisuuden Building With Wood (BWW) ohjelmaa
- Sisältönä eurooppalaisessa kirjassa mm.:
- Eurooppalaiset rakennustuotteiden vaatimukset (palon kannalta)
- Paloturvallisuuden tavoitteiden saavuttamisen keinot
- Puutuotteiden paloturvallisuus pintamateriaalina
- Kantavat puurakenteet
- Osastoivat puurakenteet
- Puurakenteiden liitokset
- Läpiviennit puurakenteissa
- Aktiivisen palontorjunnan keinot
- Toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun mahdollisuudet
- Uusien puutuotteiden käyttöönotto

Fire safety in timber buildings



Technical guideline for Europe

