



Palotekninen Insinööritoimisto Markku Kauriala Oy

Timo Jokinen

timo.jokinen@kauriala.fi

Systemaattinen menetelmä kantavien rakenteiden toiminnalliseen palomitoitukseen sprinklatuissa rakennuksissa

Määräykset: YMa 848/2017 & 927/2020

- 3§: Rakennuksen paloturvallisuus voidaan suunnitella joko käyttämällä asetuksissa esitettyjä luokkia ja lukuarvoja (taulukkomitoitus) tai käyttämällä oletettuun palonkehitykseen perustuvaa suunnittelua (toiminnallinen palomitoitus, paloluokka P0)
- 13§: Lisävaatimuksia kantavien rakenteiden toiminnalliselle palomitoitukselle

13 §

Oletettuun palonkehitykseen perustuva kantavien rakenteiden mitoitus

Kun kantavien rakenteiden mitoitus perustuu oletettuun palonkehitykseen, rakennus on riittävän paloturvallinen kantavien rakenteiden osalta, jos:

- 1) 2-kerroksinen henkilöturvallisuuden kannalta vaativa rakennus ja yli 2-kerroksinen rakennus ei riittävällä luotettavuudella sorru palon eikä jäähtymisvaiheen aikana;
- 2) 1–2-kerroksinen rakennus ei sorru poistumisen turvaamiseen, pelastustoimintaan ja palon hallintaan saamiseen tarvittavana aikana.

Palorasituksena on käytettävä oletetun palonkehityksen mukaisia olosuhteita siten, että palorasitus todennäköisesti kattaa kyseisessä rakennuksessa esiintyvät tilanteet. Mitoituksen perusteisiin sovelletaan taulukkoa 4.

Oletettuun palonkehitykseen perustuvassa kantavien rakenteiden mitoituksessa voi ottaa huomioon lämpötilan hitaamman nousun ja kantavien rakennusosien jäähtymisen, kun rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

Perustelumuistio: YMa 848/2017 & 927/2020

- Perustelumuistiossa esitetty em. kohtaan liittyviä lisävaatimuksia (epäsuorasti)
- Perustelumuistio 3§ (liittyen toiminnallisen suunnittelun dokumentointiin):

Asiakirjoista on tällöin ilmentävä ainakin seuraavat seikat:

- vikaantumistarkastelu tarvittavassa laajuudessa perusteluineen,

- Perustelumuistio 39§ (Automaattinen sammutuslaitteisto):

Automaattisen sammutuslaitteiston luotettavuus tulee ottaa suunnittelussa huomioon tulipalon mahdollisten seurausten mukaisesti: kantavien rakenteiden kestäminen sortumatta riittävän luotettavasti, suurten henkilömäärien altistuminen tulipalolle, uloskäytävien lukumäärän vähentämisen tai mitoituksen vaikutukset, jne.

- Sprinklerin vikaantuminen tulisi siis ottaa huomioon tarkasteluissa jollain tavalla.

Sprinklerin luotettavuus

- Sprinklerin luotettavuutta on tutkittu useissa tutkimuksissa.

Source	Operational [%]	Performance [%]	Overall [%]
Ahrens 2021 (USA, residential) [8,9]	95 *	97	92
Ahrens 2021 (USA, commercial, offices) [8,9]	90 *	96	86
Nieminen 2018 (Finland) [10]			98
Optimal Economics 2017 (UK, residential) [11]	97	99	96
Optimal Economics 2017 (UK, all) [11]	94	99	93
Frank et al. 2012 (New Zealand) [12]			86 *
* Failures also include cases where the system was not available			

Mitä oletuksia sprinklerin toimivuudesta siis tulisi tehdä toiminnallisessa palomitoituksessa?

- Oletus: **sprinklerjärjestelmä toimii täysin niin kuin se on suunniteltu** / sprinkleri hyödynnetään palosimuloinneissa täysimääräisesti:
 - Ei yksinään välttämättä riitä kattamaan kaikkia olennaisia skenaarioita
 - Ei yksinään välttämättä riitä täyttämään perustelumiston vaatimuksia
 - **Ei siis yksinään välttämättä riitä takaamaan riittävää paloturvallisuutta**
 - Lisäksi jos sprinklerjärjestelmä toimii täysin niin kuin on oletettu, lähes kaikki teräsrakenteet kestävät sortumatta tällä periaatteella määritetyt mitoituspalot
→ tarkempien palosimulointien tekeminen tällä oletuksella on jopa hieman turhaa.

- Oletus: **sprinklerjärjestelmä ei toimi lainkaan** / sprinkleriä ei hyödynnetä palosimuloinneissa lainkaan

- Validi mitoitus tapa, mutta jos toiminnallinen suunnittelu suoritetaan ainoastaan tämän skenaarion perusteella niin **sprinklerjärjestelmän asennuksesta ei saada mitoitushyötyä kantaville rakenteille lainkaan ja lopputulokset voivat olla ylikonservatiivisia**
 - (SFS-EN 1991-1-2 liitteen E kerroin $\delta_{n1} = 0.61$; mitoituspalokuorman pienentäminen)

- Oletus: **sprinklerjärjestelmä on osittain vikaantunut** / sprinkleriä hyödynnetään palosimuloinneissa vain osittain

- Sprinklerjärjestelmän oletetaan olevan osittain vikaantunut siten, että osa kriittisistä suuttimista jätetään pois simulointimalleista. Tämä oletus kattaa siis vialliset suuttimet, tukokset putkissa, asennusvirheet tai muut sellaiset tekijät jonka seurauksena tilaan jää alueita jonne sprinklerin vesisuihku ei yllä.

Kehitetty systemaattista menetelmää suunnittelun tueksi

- Julkaisuja:
 - **Salminen, M., Malaska, M., Jokinen, T., Ranua, R.,** (2022) Framework to incorporate sprinkler system in structural fire engineering. In: Proceedings of 12th International Conference on Structures in Fire (SiF'22). 30 November - 2 December 2022. The Hong Kong Polytechnic University. ISBN: 978-962-367-869-8.
<https://www.structuresinfire.com/corpo/conferences/SiF22.pdf>
 - **Salminen, M., Malaska, M., Jokinen, T., Ranua, R.,** (2023?) Framework to incorporate sprinkler system in structural fire engineering. Fire Technology (vertaisarvioinnissa)



Rakennusten luokittelu riskiluokkiin

- Kehitetty menetelmä pohjautuu samaan perusajatukseseen kuin asetuksen taulukkomitoitus; mitä suuremmat seuraamukset mahdollisella sortumalla voi olla sitä vähemmän suunnittelu saa nojautua sprinklerjärjestelmään
- Rakennusten luokittelu perustuu YMa 848/2017 & 927/2020 taulukon 4 luokitteluun

Basis of structural fire design

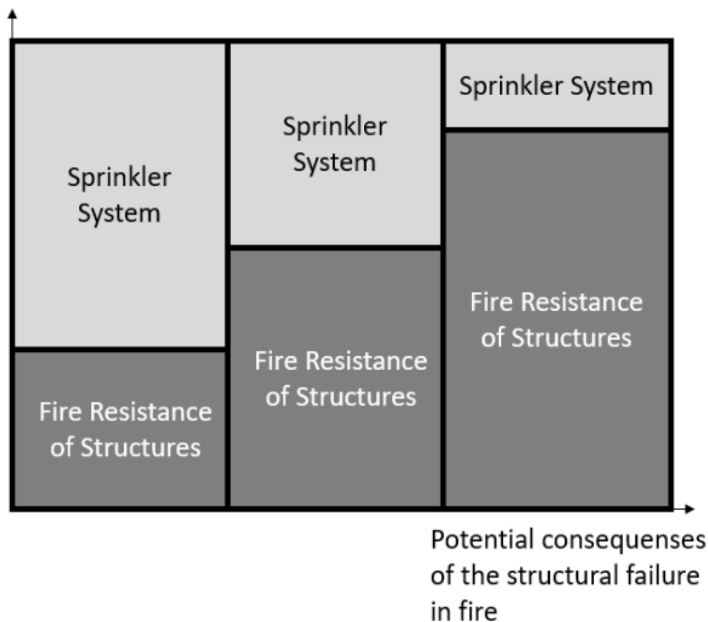


Table 2. Classification of buildings in different risk categories.

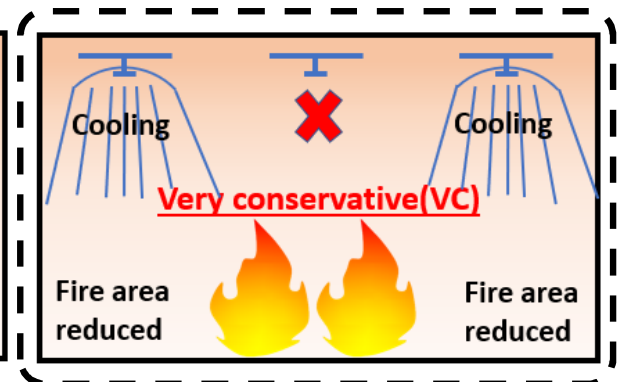
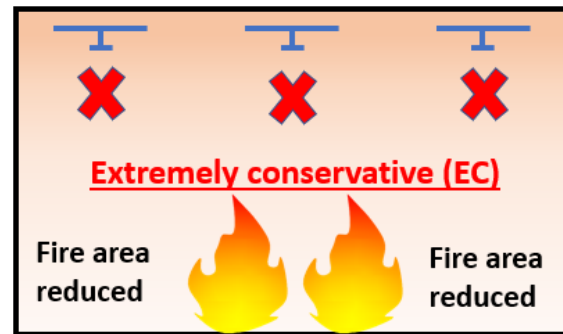
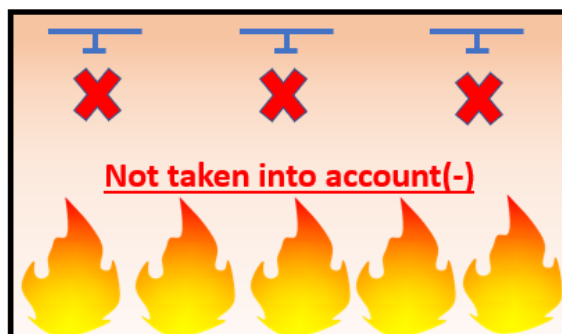
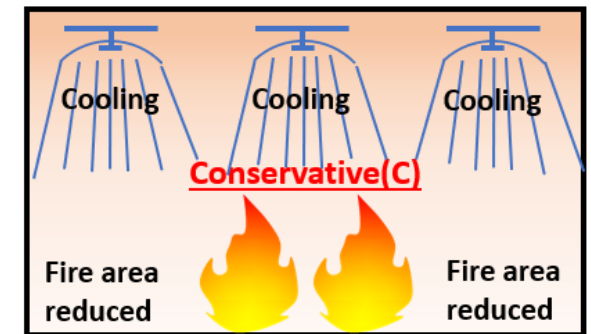
Risk Category	Exemplar building(s)	
Low	One storey, general, height no greater than 9 m	
Low+	Two-storey, general, height no greater than 9 m	
Moderate	One-storey: <ul style="list-style-type: none"> - accommodation premise with more than 50 places - institution with more than 25 places - assembly and business premise with more than 250 people 	One-storey, general, height exceeding 9 m
Moderate+	Two-storey, general, height exceeding 9 m	
High	Two-storey: <ul style="list-style-type: none"> - accommodation premise with more than 50 places - institution with more than 25 places - assembly and business premise with more than 250 people 	More than two storeys, height no greater than 28 m
High+	More than two storeys, height exceeding 28 m	

Oletukset sprinklerjärjestelmän toiminnasta laskentamalleissa

- Oletukset jaettu neljään eri varmuustasoon (level of conservatism)
- Very Conservative (VC) yleisin varmuustaso esitetyssä menetelmässä

Table 3. Recommended conservative assumptions for modelling sprinkler system in SFE.

Level of conservatism	Reduction in fire area	Cooling effect, but at least 1 critical spr-head not operating	Cooling effect as full	Reduction in HRRPUA
Conservative (C)	Yes	-	Yes	No
Very Conservative (VC)	Yes	Yes	-	No
Extremely Conservative (EC)	Yes	No	No	No
Not taken into account (-)	No	No	No	No

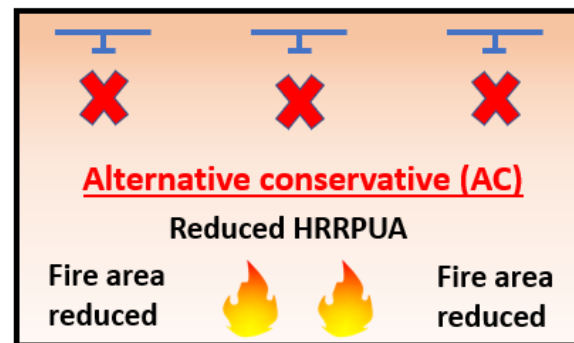
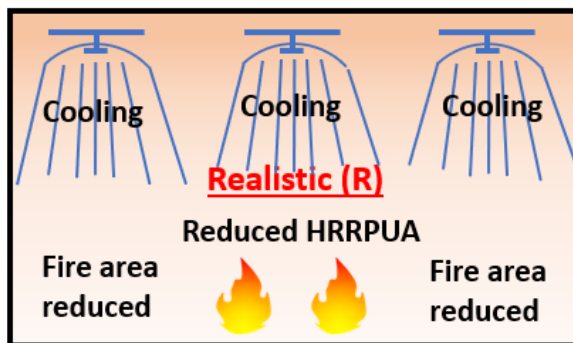


Muita mahdollisia oletuksia

- Myös muita mahdollisia oletuksia on olemassa, mutta näitä ei ole hyödynnetty esitettyssä menetelmässä

Table 4. Alternative assumptions for modelling sprinkler system in SFE.

Level of conservatism	Reduction in fire area	Cooling effect, but at least 1 critical spr-head not operating	Cooling effect as full	Reduction in HRRPUA
Realistic (R)	Yes	-	Yes	Yes
Alternative Conservative (AC)	Yes	No	No	Yes



Mitoitusperusteet: Basis of Design 1 (BOD 1a tai 1b)

- Mitoitusperuste määrittää palokuormafraktiilit, oletukset sprinklerin toiminnasta ja hyväksymiskriteerit riskiluokan perusteella
- Valitaan joko BOD 1a **TAI** BOD 1b; riippuen käytettävistä laskentamenetelmistä
- BOD 1a on suositeltu mitoitusperuste joka soveltuu CFD simulointeihin (esim. FDS)
- BOD 1b on vaihtoehtoinen mitoitusperuste joka soveltuu mm. yksinkertaisempiin laskentamenetelmiin joissa sprinkleriä ei mallinneta (parametriset mallit, vyöhykemallit)
 - BOD 1b on kutakuinkin yhdistelmä SFS-EN 1991-1-2 liitteestä E ja paloasetusten taulukosta 4.

Table 5. Basis of Design (BOD) 1A and 1B (fractile of the fire load, the level of conservatism applied for sprinkler system and the acceptance criteria by risk category of the building).

	Risk Category of the Building					
	Low	Low+	Moderate	Moderate+	High	High+
BOD 1A	80 % C	80 % * VC	80 % VC	80 % * VC	80 % * VC	95 % ** VC
BOD 1B	50 % EC	50 % -	50 % -	50 % -	50 % -	90 % -
Acceptance Criteria 1 – Required fire resistance time	30 min	30 min	60 min	60 min	Full Fire	Full Fire

* At least 600 MJ/m²

** At least 900 MJ/m²

Mitoitusperusteet: Basis of Design 2 (BOD 2)

- BOD 2 on mitoitusperuste harvinaiselle katastrofiskenaariolle, jossa **sprinklerjärjestelmä ei toimi lainkaan** (vettä ei tule suuttimista pisaraakaan)
- **BOD 2 tarkastellaan BOD 1:n lisäksi** (erillisiä BOD 2 simulointeja ei kuitenkaan välttämättä ole aina kaikissa kohteissa tarpeen suorittaa)
- **BOD 2:ssa hyväksymiskriteeri on matalampi.** Lähtökohta on että rakenteiden tulee kestää tässäkin skenaariossa vähintään poistumiseen kuluvan ajan sortumatta (RSET = Required Safe Egress Time)

Table 6. Basis of design (BOD) 2 (fractile of the fire load, the level of conservatism applied for sprinkler system and the acceptance criteria by risk category).

Risk Category	Low	Low+	Moderate	Moderate+	High	High+
BOD 2	80 % -	80 % * -	80 % -	80 % * -	80 % * -	95 % ** -
Acceptance Criteria 2 – Required fire resistance time	≥ RSET ^a	≥ RSET ^a	≥ RSET ^a	≥ RSET ^a	≥ RSET ^a	≥ RSET ^a

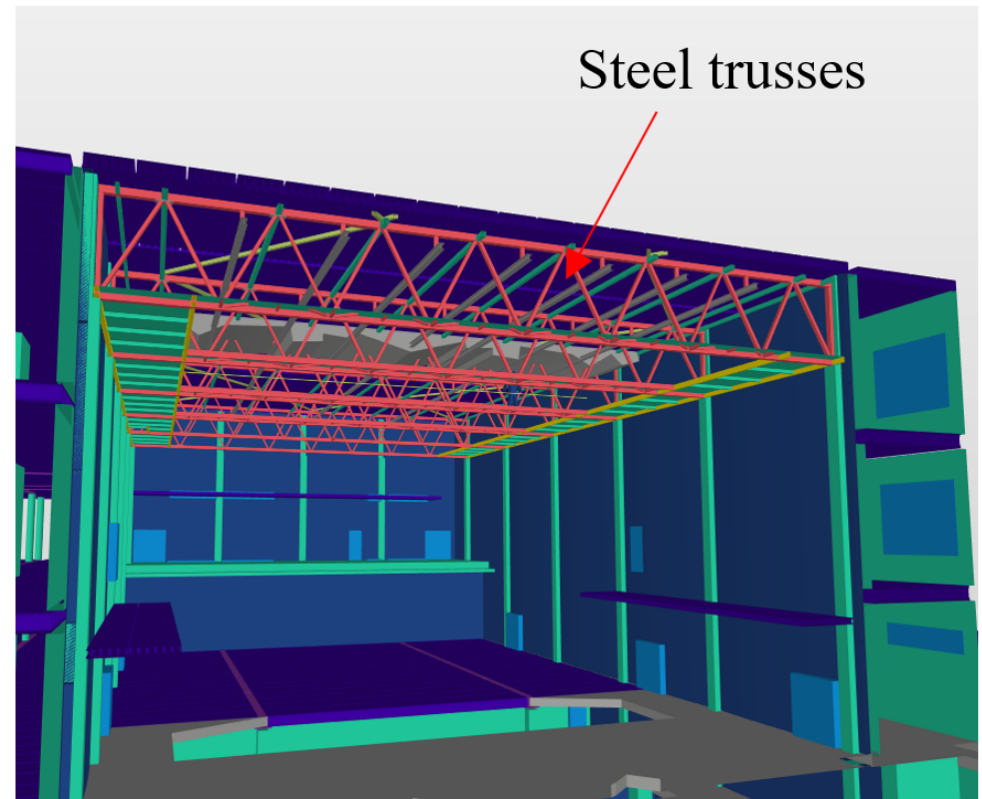
* At least 600 MJ/m²

** At least 900 MJ/m²

^a To be discussed with the relevant stakeholders including fire brigade. At minimum RSET.

Case esimerkki – Konserttisalin teräsristikot

- Sprinklattu konserttisali
- 15 m korkea tila, 3 kerrosta
- 1350 henkilöä
- Taulukkovaatimus: R60



Mitoitusperuste: Basis of Design 1 (1a tai 1b)

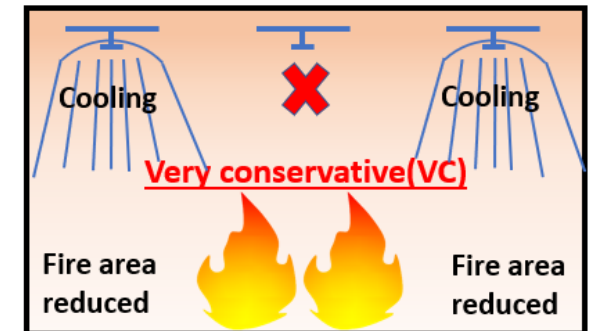
- Rakennuksen riskiluokka: **High**
- Palosimuloinnit tehdään FDS:llä, joten valitaan mitoitusperusteeksi **BOD 1a**

Table 5. Basis of Design (BOD) 1A and 1B (fractile of the fire load, the level of conservatism applied for sprinkler system and the acceptance criteria by risk category of the building).

	Risk Category of the Building					
	Low	Low+	Moderate	Moderate+	High	High+
BOD 1A	80 % C	80 % * VC	80 % VC	80 % * VC	80 % * VC	95 % ** VC
BOD 1B	50 % EC	50 % -	50 % -	50 % -	50 % -	90 % -
Acceptance Criteria 1 – Required fire resistance time	30 min	30 min	60 min	60 min	Full Fire	Full Fire

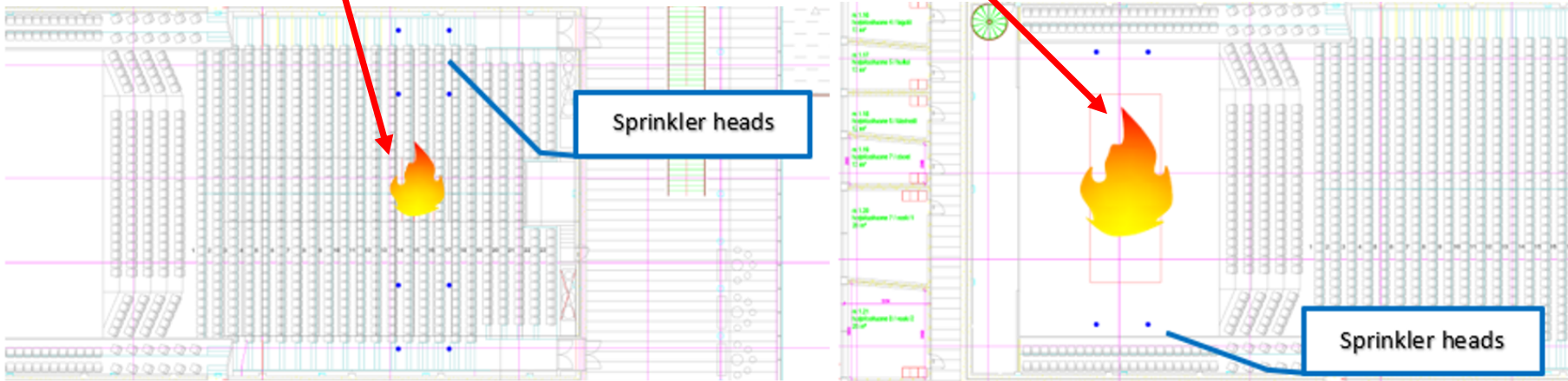
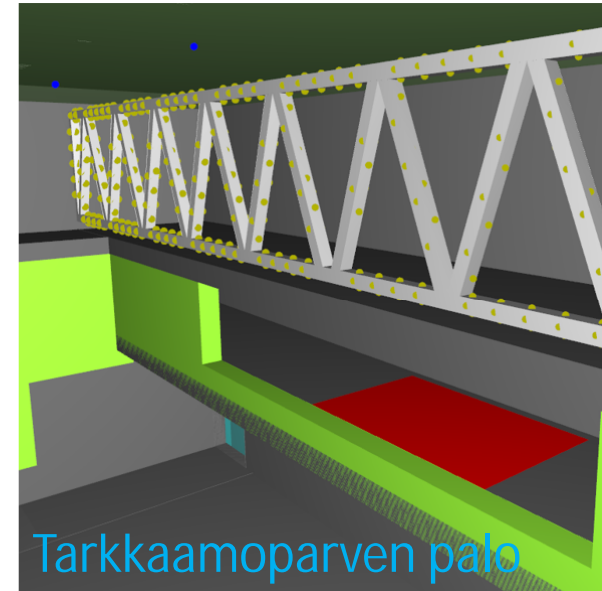
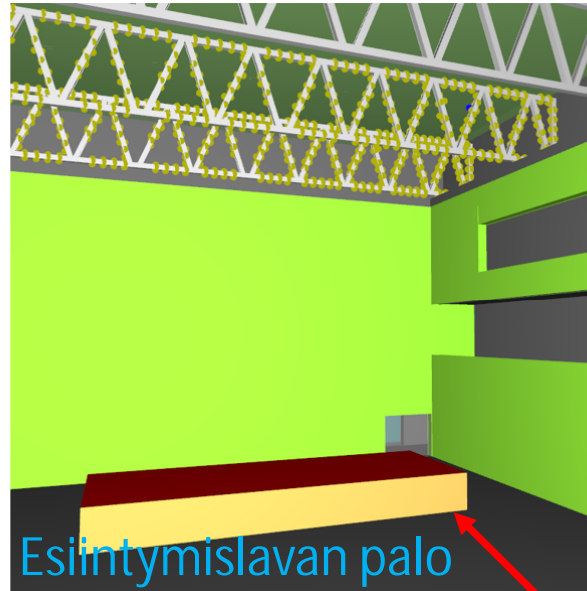
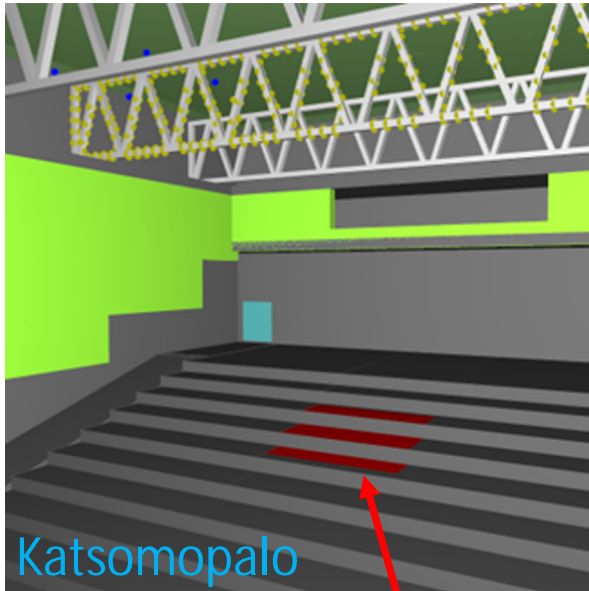
* At least 600 MJ/m²

** At least 900 MJ/m²

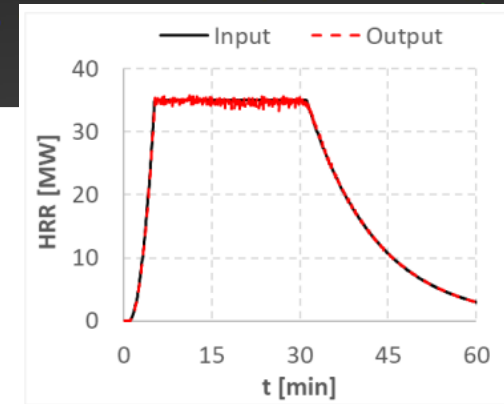
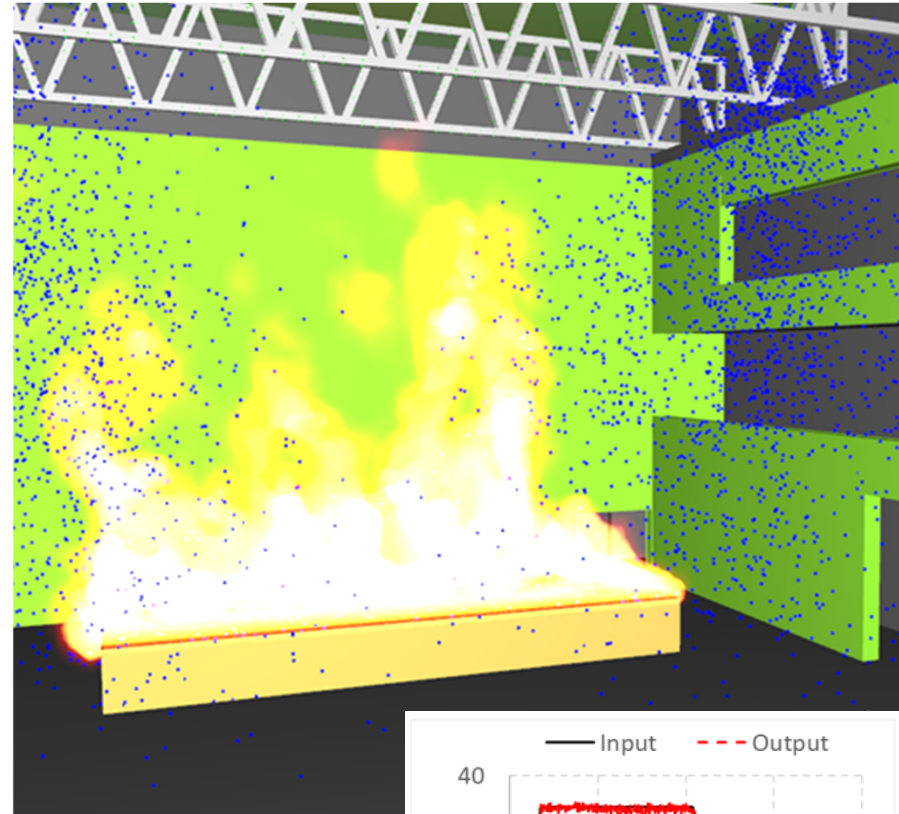
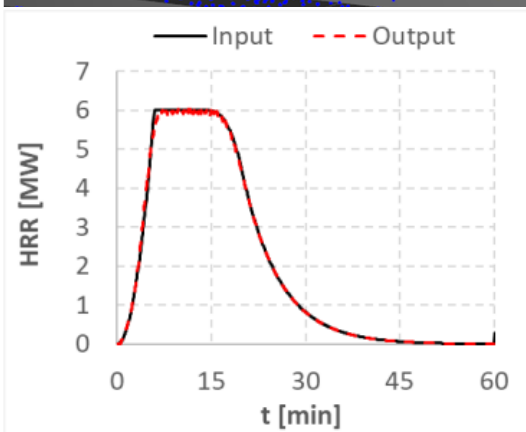
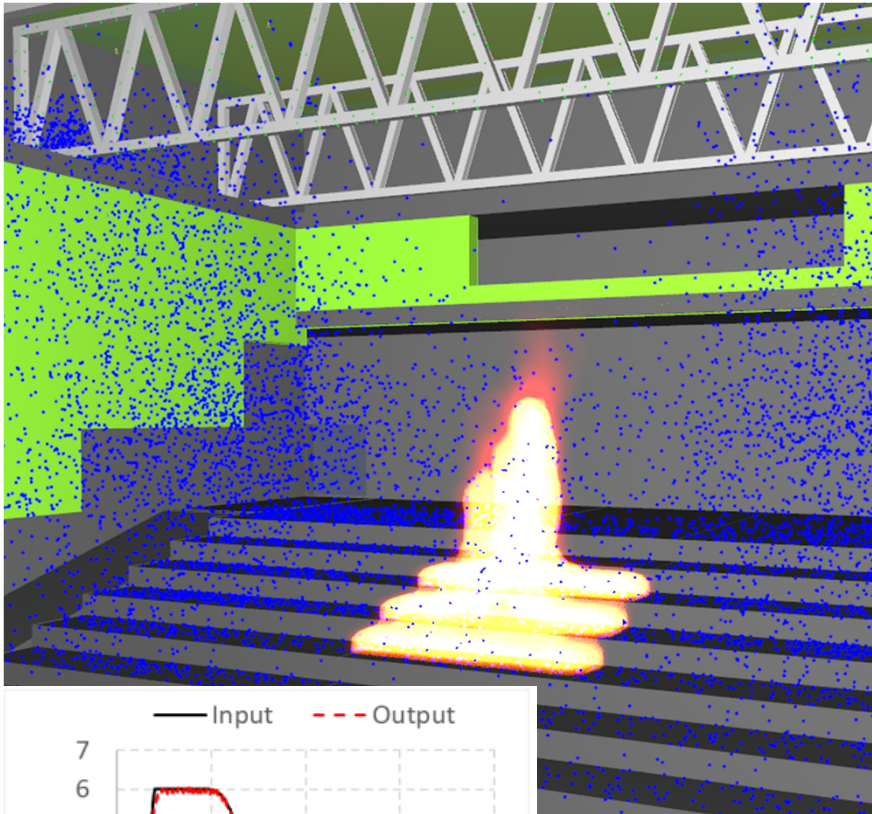


FDS simuloinnit (BOD 1a)

- Mitoituspalot paikallisia paloja

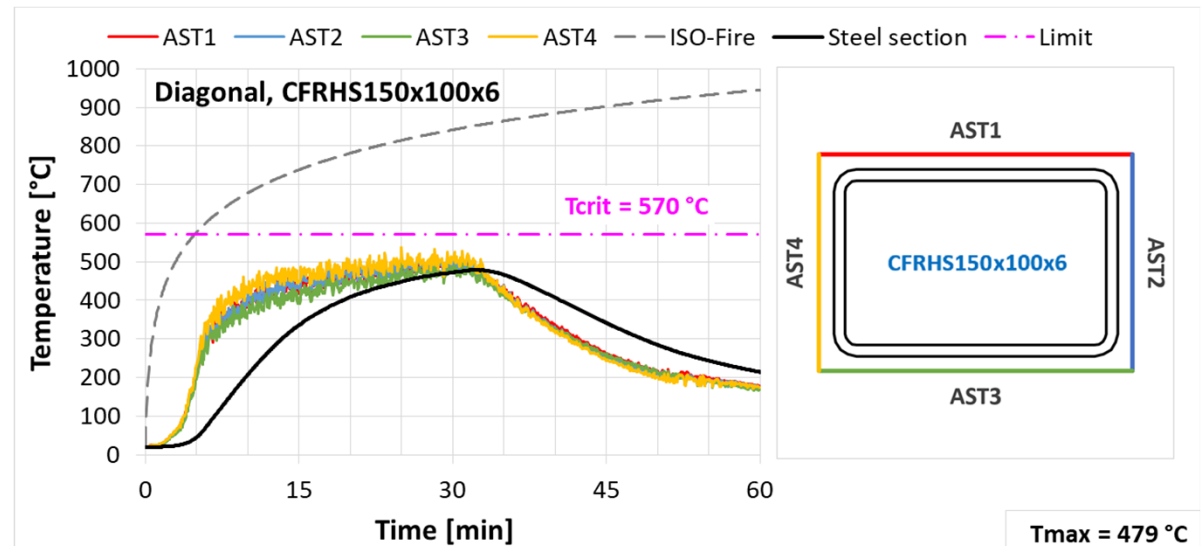
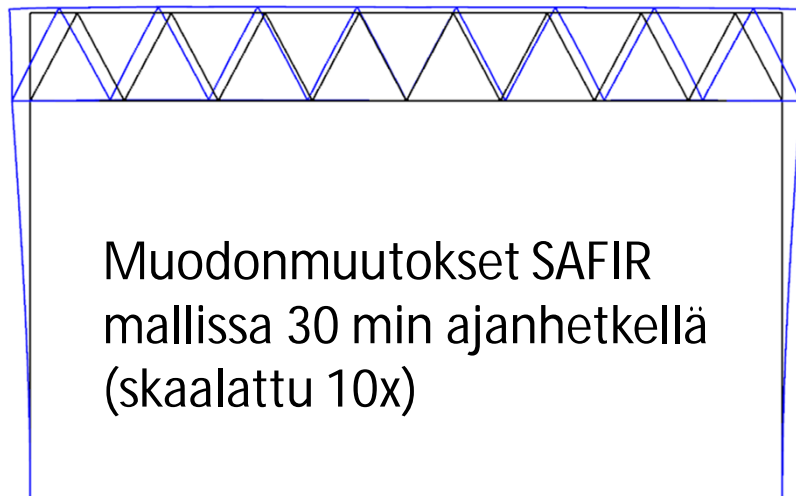


FDS simuloinnit (BOD 1a)

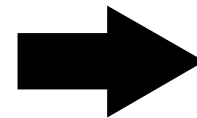


Tulokset (BOD 1a)

- Lämpötila poikkileikkauksissa jää alle kriittisten lämpötilojen
- Kehät kestävät FEM tarkastelut (SAFIR) sortumatta koko palon ajan



Lämpötilankehitys kriittisimmässä poikkileikkauksessa



BOD 1:n hyväksymiskriteerit täyttyvät palosuojaamattomilla teräsrakenteilla

Mitoitusperuste: Basis of Design 2 (BOD 2)

- **BOD 2:** Katastrofiskenaario jossa sprinklerjärjestelmä ei toimi lainkaan
- Hyväksymiskriteeri: **RSET**, määritetty poistumissimuloinneilla ajanhetkeksi **11 min 30 s** (koko rakennuskompleksi on tyhjä)

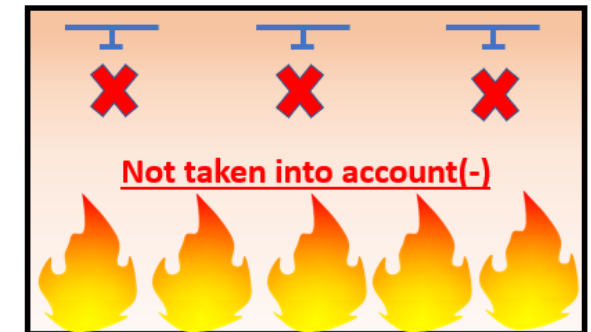
Table 6. Basis of design (BOD) 2 (fractile of the fire load, the level of conservatism applied for sprinkler system and the acceptance criteria by risk category).

Risk Category	Low	Low+	Moderate	Moderate+	High	High+
BOD 2	80 %	80 % *	80 %	80 % *	80 % *	95 % **
Acceptance Criteria 2 – Required fire resistance time	≥ RSET ^a	≥ RSET ^a	≥ RSET ^a	≥ RSET ^a	≥ RSET ^a	≥ RSET ^a

* At least 600 MJ/m²

** At least 900 MJ/m²

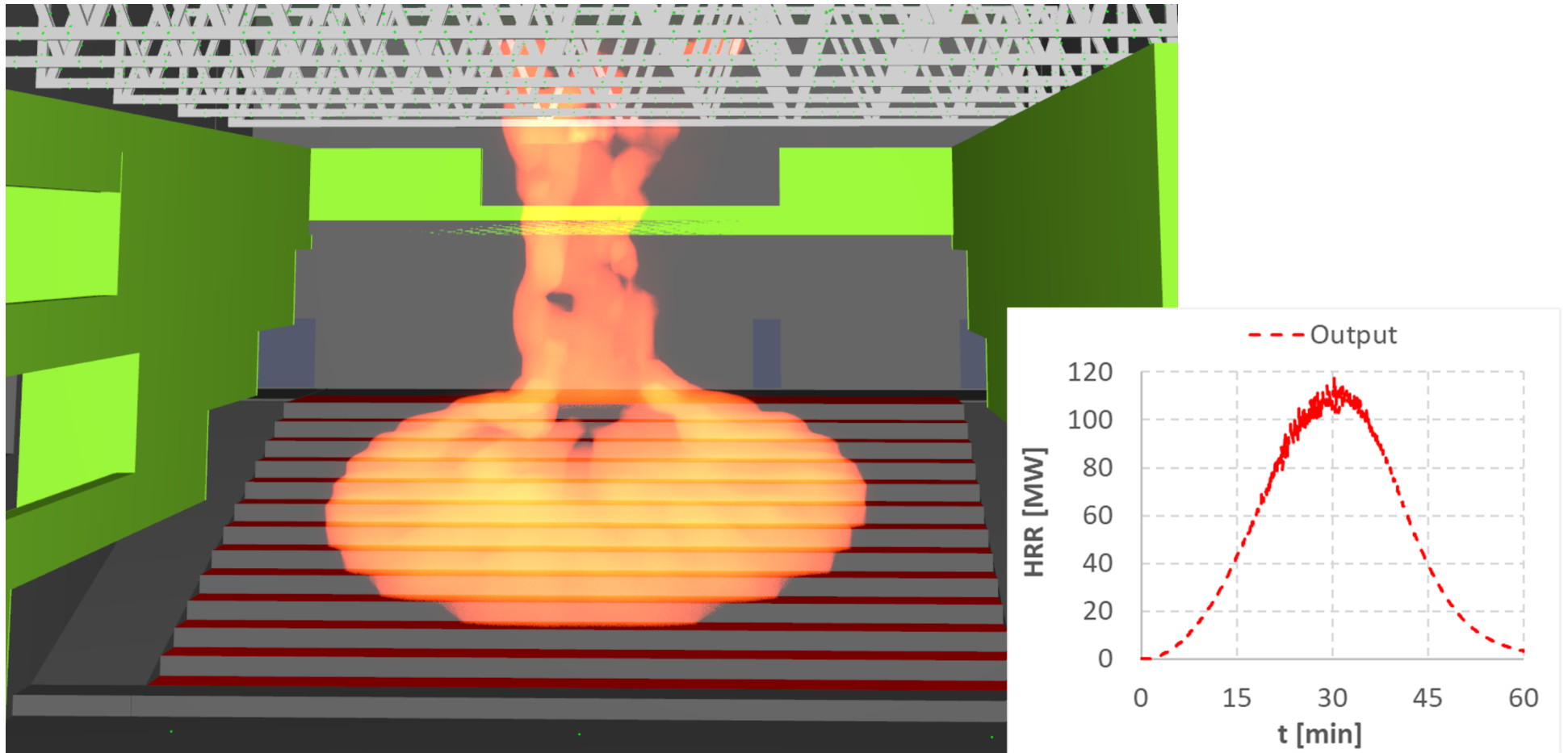
^a To be discussed with the relevant stakeholders including fire brigade. At minimum RSET.



11 min 30 s

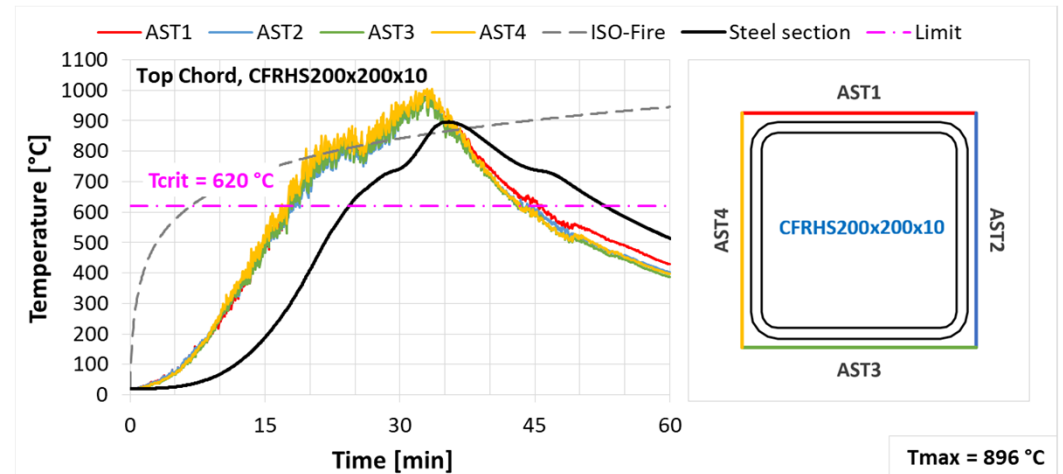
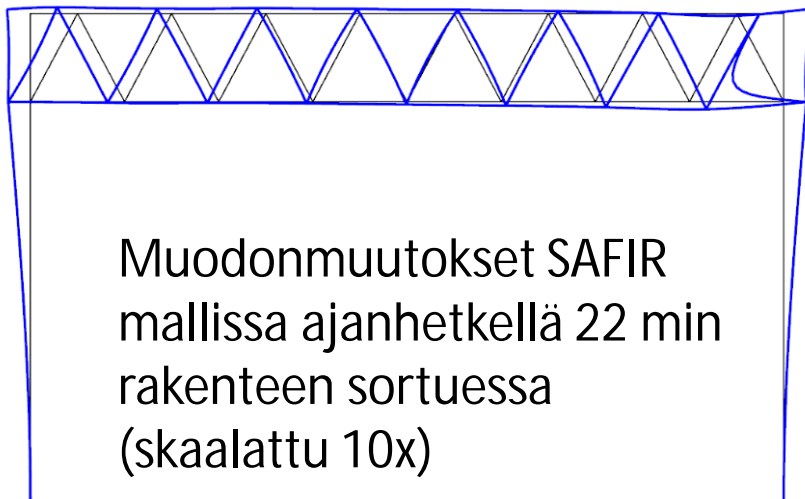
FDS simuloinnit (BOD 2)

- BOD 2:ssa mitoituspalo leviää koko konserttisaliin

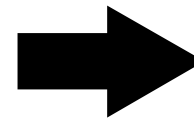


Tulokset (BOD 2)

- Kriittiset lämpötilat ylittyvät ja rakenne sortuu SAFIR analyysissä
- Sortuminen tapahtuu kuitenkin vasta BOD 2:n hyväksymiskriteerin täyttymisen jälkeen (22 min vs. 11.5 min)



Lämpötilankehitys kriittisimmässä poikkileikkauksessa



Myös BOD 2:n hyväksymiskriteerit täyttyvät palosuojaamattomilla teräsrakenteilla

Yhteenveto

- Sprinklerin hyödyntäminen kantavien rakenteiden toiminnallisessa palomitoituksessa on Suomen palomääräyksissä sallittu, mutta annettu ohjeistus on olematonta
- Sprinklerin vikaantumisen huomiointi (perustelumuition vaatimus) saattaa käytännön toiminnallisessa mitoituksessa helposti unohtua (huonosta ohjeistuksesta johtuen)
- Esitetyssä suunnittelumenetelmässä sprinkleri voidaan ottaa toiminnallisessa mitoituksessa huomioon systemaattisella ja turvallisella tavalla, mutta kuitenkin myös niin että sprinklerjärjestelmästä saadaan toiminnallisen suunnittelun lopputulokseen mitoitushyötyä.

Kiitoksia!

Timo Jokinen

timo.jokinen@kauriala.fi