

Teräsrakenteiden kokonaisvaltainen toiminnallinen palomitoitus

Timo Jokinen

Toiminnallisen
paloturvallisuussuunnittelun
suunnittelupäällikkö

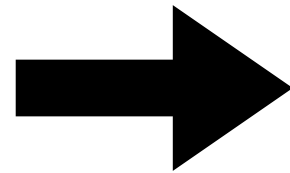
timo.jokinen@ains.fi



Kauriala osaksi A-insinöörejä 1.1.2025 alkaen



Palotekninen Insinööritoimisto
Markku Kauriala Oy

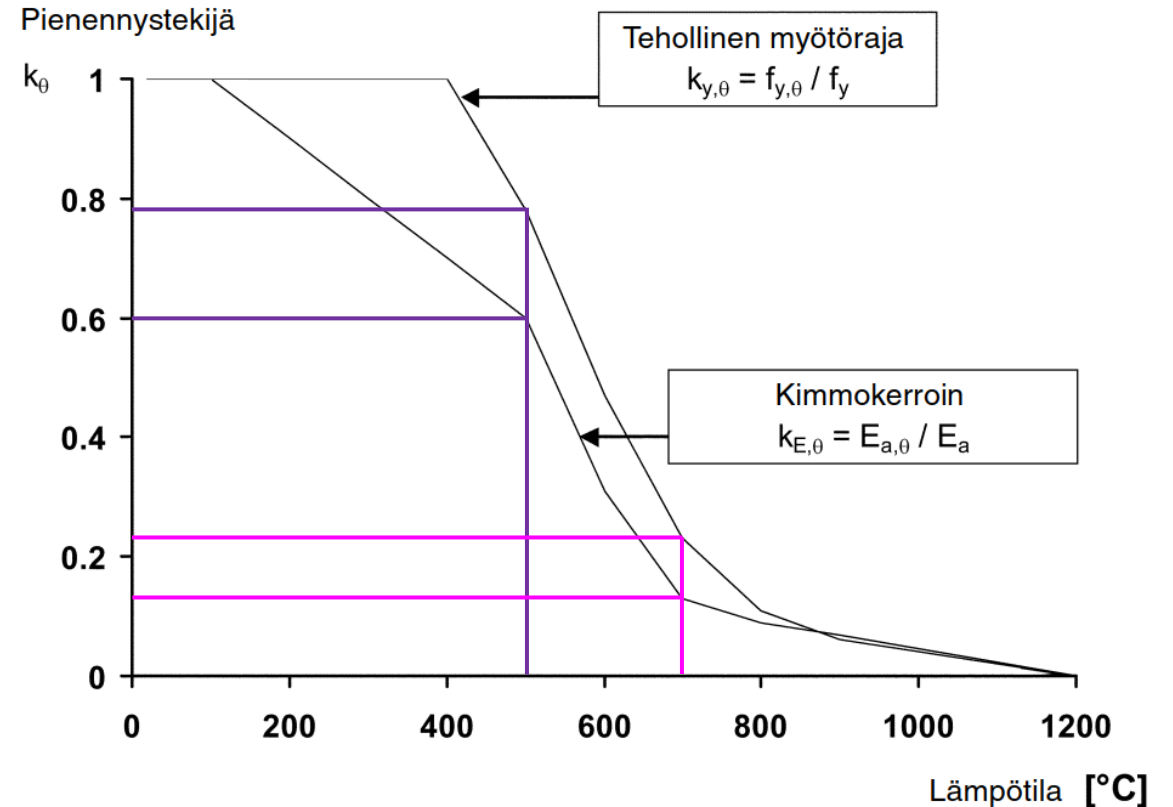


 **A-INSINÖÖRIT**
Palo yksikkö

Teräksen palonkestävyys

- Teräs ei pala, mutta (kuormitettu) teräs kestää tulipaloa vain rajoitetusti.
- Esim. 500 °C lämpöisen normaalin rakenneteräksen kapasiteetista on jäljellä 60–78 % rakenteen alkuperäisestä kapasiteetista.
- 700 asteessa kapasiteetissa on jäljellä enää vain 13–23 %

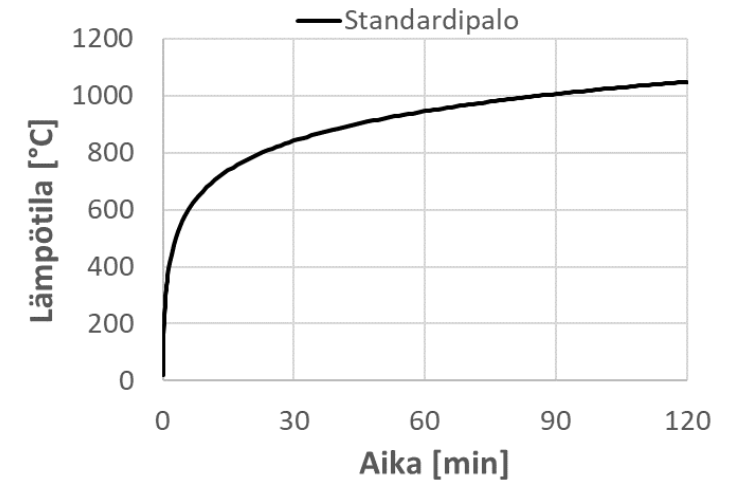
→ Usein teräsrakenteiden palonkestävyyttä tulee parantaa palosuojauksilla.



Riittävän palonkestävyyden osoittaminen

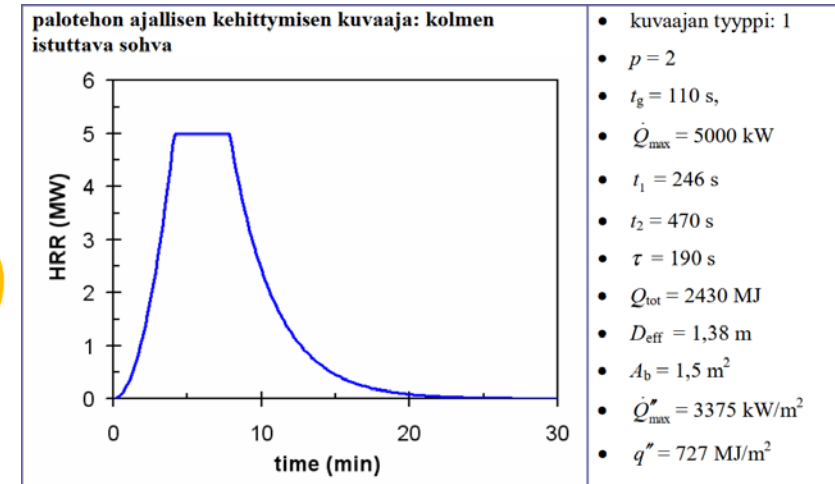
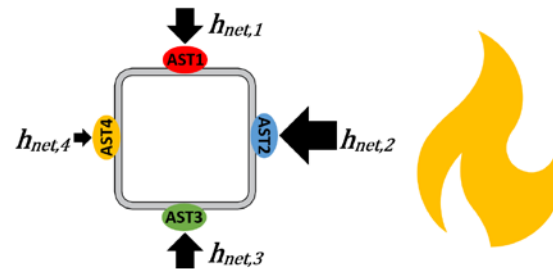
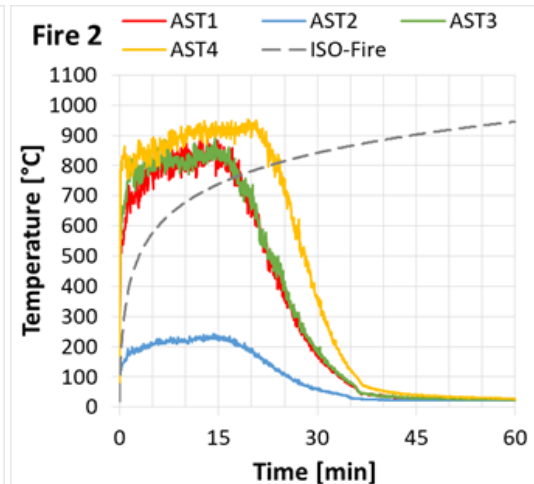
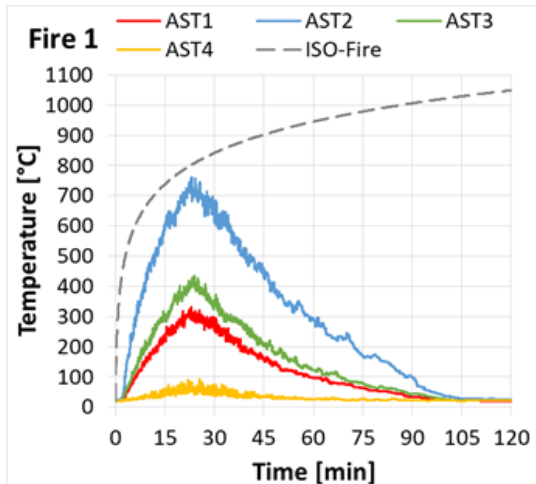
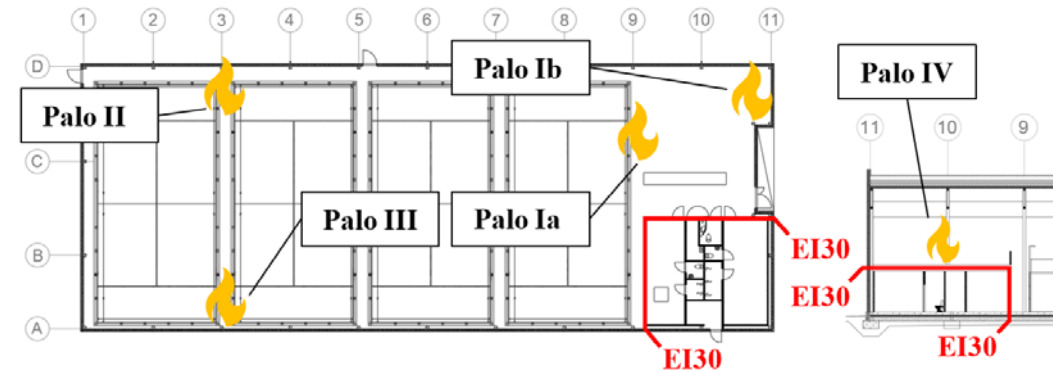
- YMa 848/2017 & 927/2020 3§: Rakennuksen paloturvallisuus voidaan suunnitella joko käyttämällä asetuksissa esitettyjä luokkia ja lukuarvoja (**taulukkomitoitus**) tai käyttämällä oletettuun palonkehitykseen perustuvaa suunnittelua (**toiminnallinen palomitoitus**, palosimulointi, P0 paloluokan tarkastelut, yms.)
- Taulukkomitoituksessa paloskenaariona on aina standardipalokäyrä.
- Taulukkomitoituksen edut:
 - Helppo ja nopea tapa
 - Suunnittelukustannuksiltaan halpa
- Taulukkomitoituksen huonot puolet:
 - Saattaa johtaa ylikonservatiivisiin rakenneratkaisuihin (eli kalliisiin palosuojauksiin jotka saattavat olla tarpeettomia)
 - Teräsrakenteen käyttäytyminen todellisessa kohteessa todennäköisessä tulipalossa jää selvittämättä.

Rakennus	Rakennuksen paloluokka ja palokuormaryhmät MJ/m ²			
	P1			P2
	yli 1 200	600–1 200	alle 600	–
1–2 kerroksinen rakennus, yleensä	R 120 (R60 *)	R 90 (R60 *)	R 60	R 30
– hoitolaitokset, majoitustilat	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 30
– ylin kellarikerros	R 120, A2 (R90 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60, A2
– yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne on kantavan rungon olennainen osa ¹⁾	R 60	R 60	R 60	R 30
– yksikerroksinen tuotanto- ja varastorakennus	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 30 (R15 *) (R15, A2)
– yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne ei ole kantavan rungon olennainen osa ¹⁾	R 15	R 15	R 15	R 15
Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on enintään 28 m, yleensä	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * # ^{3) 4)}
– ylin kellarikerros	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * A2
– asuinrakennus, asunto, ylin kerros	R 60 +	R 60 +	R 60 +	R 60 * # ³⁾
– asuinrakennus, asunto, kaksi ylintä kerrosta ²⁾	R60 * #	R60 * #	R60 * #	R 60 * # ³⁾
– yli 2-kerroksinen asuinrakennus, jonka korkeus on enintään 14 m ja jonka kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan huoneistoon	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45 # (R30 * #)
Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on yli 28 m mutta enintään 56 m	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2 (R90 *, A2)	ei mahdollinen
Yli 2-kerroksinen rakennus jonka korkeus on yli 56 m	R180 *, A2	R120 *, A2	R 120 *, A2	ei mahdollinen
Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2	R 120, A2 (R90 *, A2)



Teräsrakenteiden toiminnallinen palomitoitus

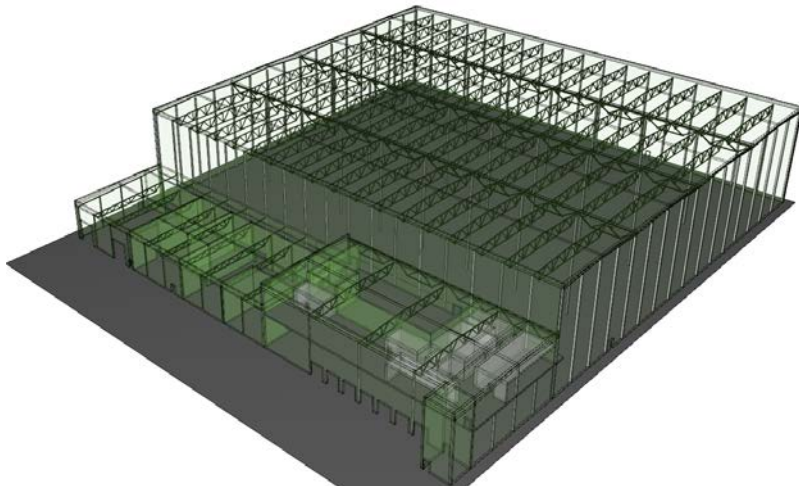
- Toiminnallisessa mitoituksessa teräsrakenteiden riittävä paloturvallisuus selvitetään hyödyntäen palosimulointeja ja muita kehittyneempiä laskentamenetelmiä.
- Toiminnallinen palomitoitus on aina kohdekohtainen.
- Teräsrakenteiden toiminnallisessa palomitoituksessa rakenteisiin vaikuttavat lämpötilat määritetään kohteessa todennäköisissä paloskenaarioissa (tarkasteltavat paloskenaariot valitaan yhteistyössä pelastuslaitoksen kanssa).
- Toiminnallisessa mitoituksessa rakenteisiin vaikuttavat lämpötilakäyrät saattavat poiketa merkittävästi standardipalokäyrästä.



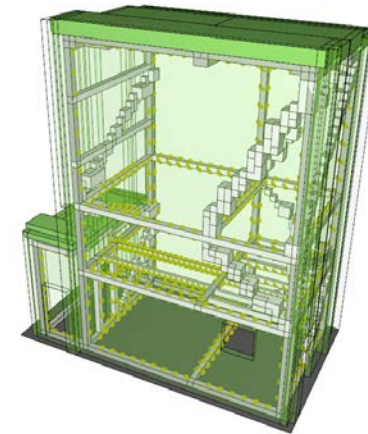
Teräsrakenteiden toiminnallisen palomitoituksen edut

Teräsrakenteiden toiminnallisella mitoituksella voidaan saavuttaa seuraavia etuja verrattuna perinteiseen rakenteiden taulukkomitoitukseen:

- Teräsrakenteen palosuojausta voidaan saada optimoitua tai rakenne toteutettua jopa kokonaan ilman ylimääräistä palosuojausta. Koska teräsrakenteen palosuojaus muodostaa hyvin suuren osan koko rakenteen kustannuksista, voidaan siis kohteesta riippuen tällä menettelyllä saavuttaa **hyvin merkittäviä kustannussäästöjä** turvallisuustasosta kuitenkin tinkimättä (oikein tehtynä).



Säästöt voivat olla isoissa kohteissa parhaimmillaan satoja tuhansia euroja, tai jopa yli miljoonan.

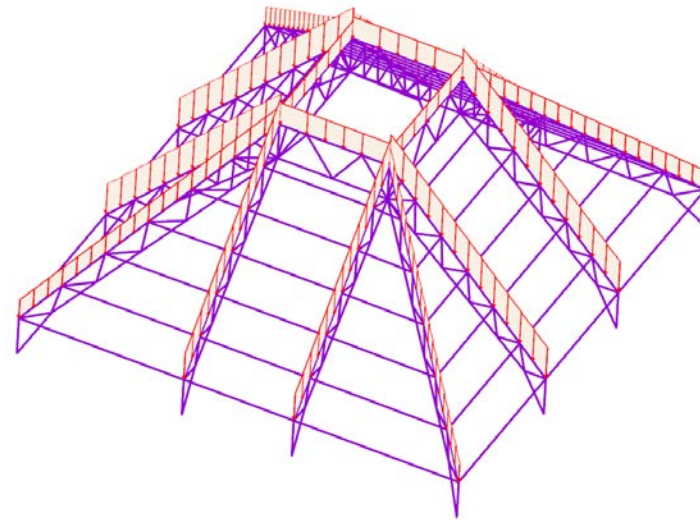
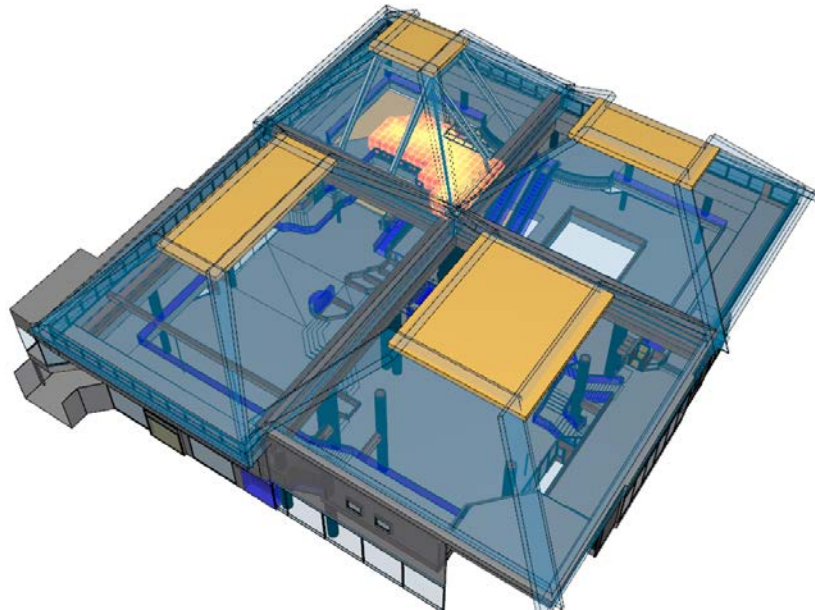


Mutta tarkastelut saattavat olla kaupallisesti kannattavia myös jopa hyvinkin pienissä kohteissa (kuvassa 45 m² toiminnallisesti mitoitettu kohde).

Teräsrakenteiden toiminnallisen palomitoituksen edut

Teräsrakenteiden toiminnallisella mitoituksella voidaan saavuttaa seuraavia etuja verrattuna perinteiseen rakenteiden taulukkomitoitukseen:

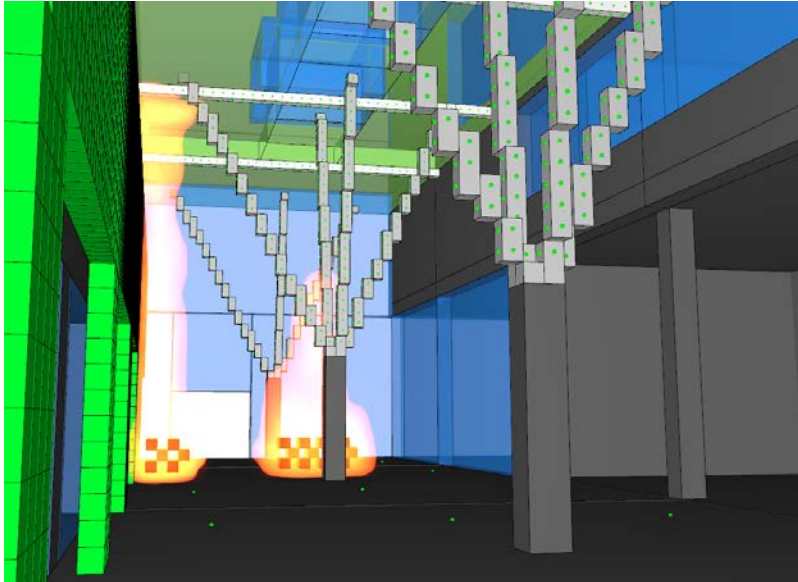
- Korjauskohteissa on mahdollista, että toiminnallisella mitoituksella käyttöiän päähän tulleiden **palosuojamaalien huoltomaalaukselta voidaan välttyä**, jos kyseiset teräsrakenteet sijaitsevat tarkasteluille edullisissa paikoissa. Eli menetelmän hyödyntäminen ja sen potentiaaliset kustannussäästöt eivät siis rajoitu pelkästään uudisrakentamiseen.



Teräsrakenteiden toiminnallisen palomitoituksen edut

Teräsrakenteiden toiminnallisella mitoituksella voidaan saavuttaa seuraavia etuja verrattuna perinteiseen rakenteiden taulukkomitoitukseen:

- Näyttävissä kohteissa on mahdollista saavuttaa **lisävapautta arkkitehtonisiin valintoihin myös kantavien rakenteiden osalta** (esim. palosuojaamattomat Cor-Ten teräksestä tai ruostumattomasta teräksestä tehdyt kantavat yksityiskohdat, yms.).

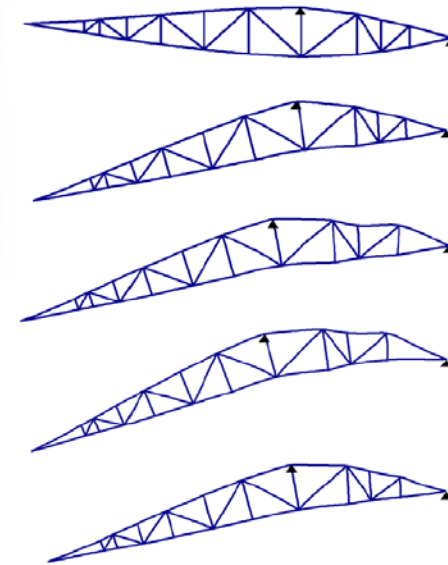
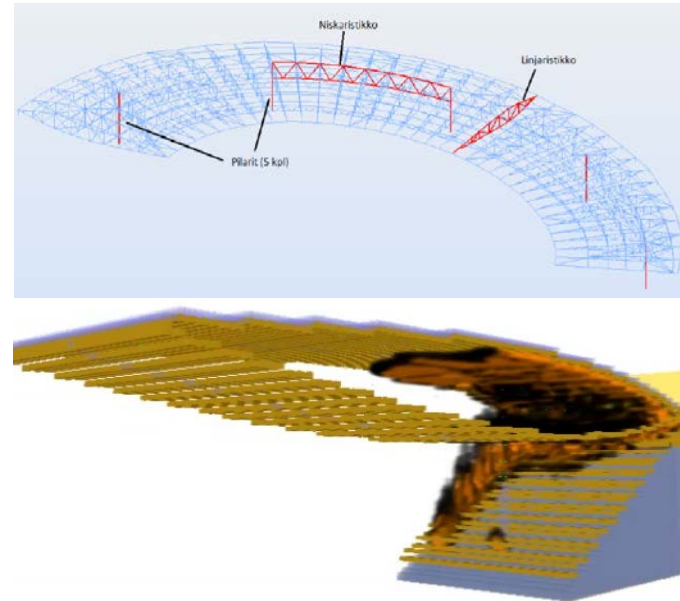


(esimerkki COR-TEN rakenteesta, ei meidän suunnittelema).

Teräsrakenteiden toiminnallisen palomitoituksen edut

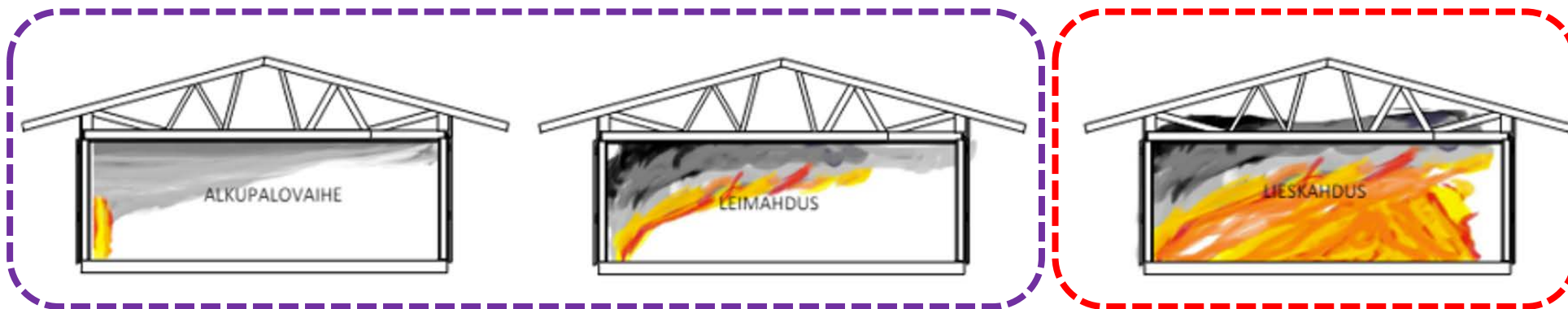
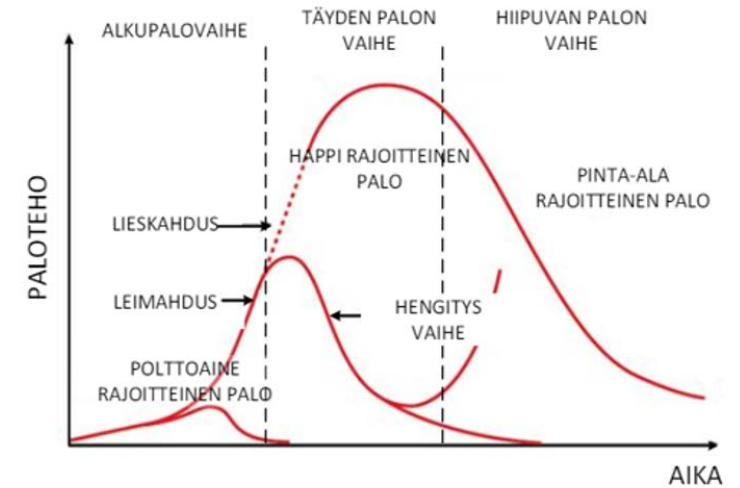
Teräsrakenteiden toiminnallisella mitoituksella voidaan saavuttaa seuraavia etuja verrattuna perinteiseen rakenteiden taulukkomitoitukseen:

- Teräsrakenteiden realistinen käyttäytyminen tulipalossa tulee selvitettyä ja mahdolliset ongelmatkohdat löydettyä (taulukkomitoituksessa käytetty standardipalo ei kuvaa mitään todellista tulipaloa, eikä standardipalossa määräykset edellytä lämpölaajenemisien huomioimista), joka on **erityisesti vaativissa ja merkittävässä teräsrakenteissa voi olla turvallisuusetu jo itsessään.**



Teräsrakenteiden toiminnallisen palomitoituksen soveltuvuus

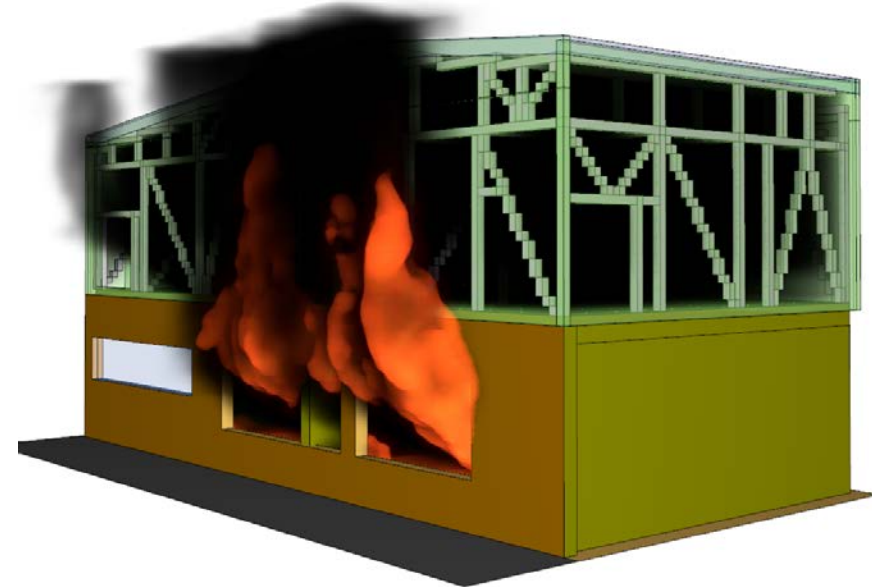
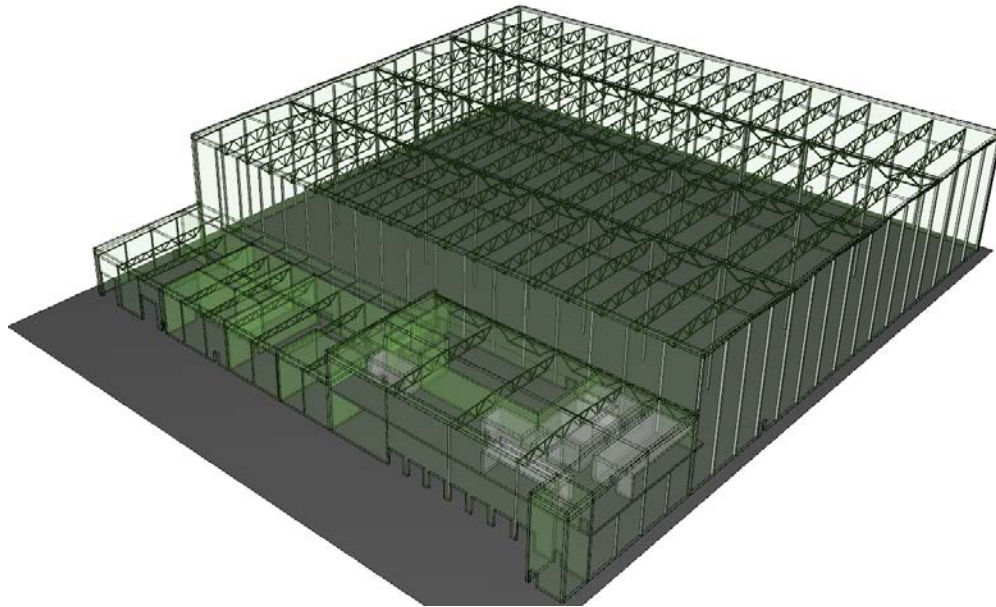
- Ei kuitenkaan pidä olettaa, että toiminnallisella suunnittelulla päästäisiin aina lähtökohtaisesti edullisempaan ratkaisuun kuin taulukkomitoituksella. Asia riippuu voimakkaasti tarkasteltavasta kohteesta ja jo ennen tarkastelujen aloittamista tulisi miettiä saadaanko toiminnallisella suunnittelulla kyseissä kohteessa etuja.
- Rakenteiden toiminnallisen mitoituksen lopputuloksen kannalta on oleellista se, että voiko tarkasteltavan tilan tulipalo **lieskahtaa** vai pysyykö se paikallisena palona?
- Jos palo pysyy paikallisena teräsrakenteiden toiminnallinen suunnittelu on todennäköisesti kannattavaa, jos taas lieskahdus todennäköisesti tapahtuu teräsrakenteiden toiminnalliseen suunnitteluun ei välttämättä kannata lähteä (ainakaan kustannussäästöjen näkökulmasta).



Teräsrakenteiden toiminnallisen palomitoituksen soveltuvuus

Nyrkkisääntönä voidaan pitää: mitä korkeampi tila ja mitä matalampi palokuorma, sitä todennäköisemmin toiminnallinen palomitoitus on kannattavaa ja sitä todennäköisemmin on mahdollista toteuttaa teräsrakenteita ilman palosuojauksia.

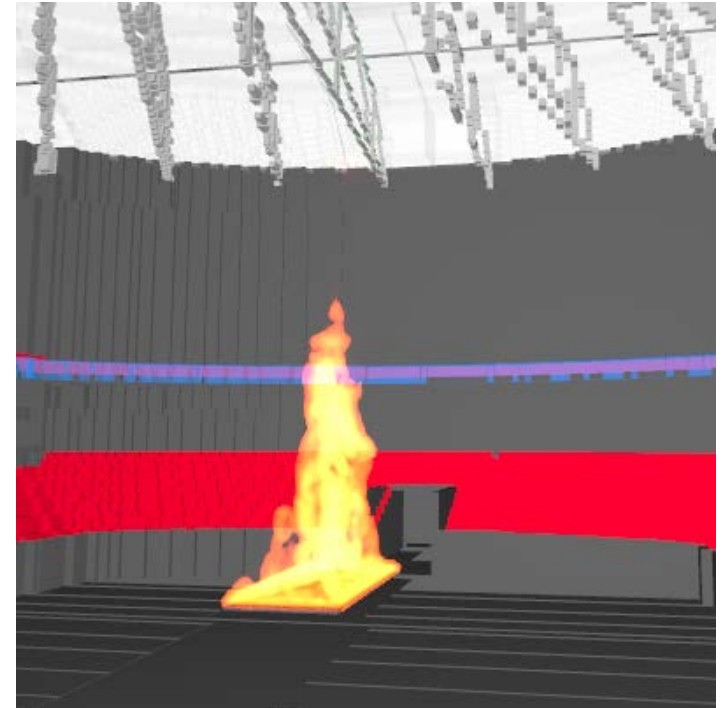
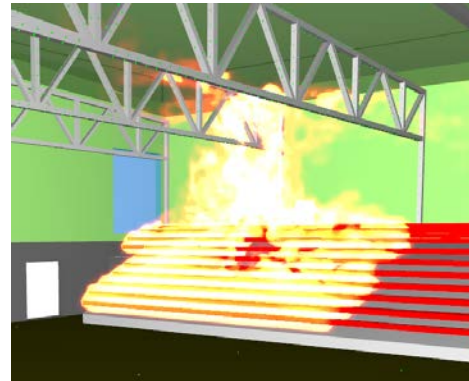
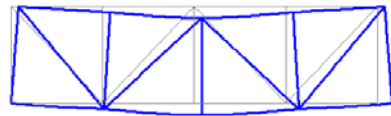
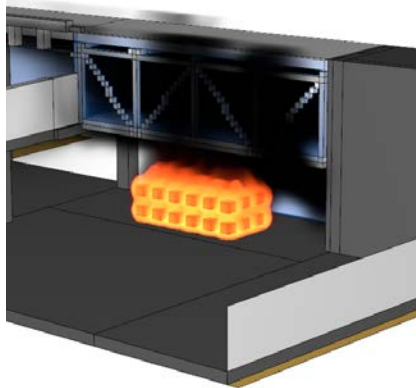
Sprinklaus lisää merkittävästi todennäköisyyttä siitä, että tulipalot pysyvät paikallisina, mutta merkittäviä säästöjä on saavutettavissa myös hyvin monenlaisissa sprinklaamattomissa kohteissa.



Parhaat kohteet teräsrakenteiden toiminnalliselle mitoitukselle

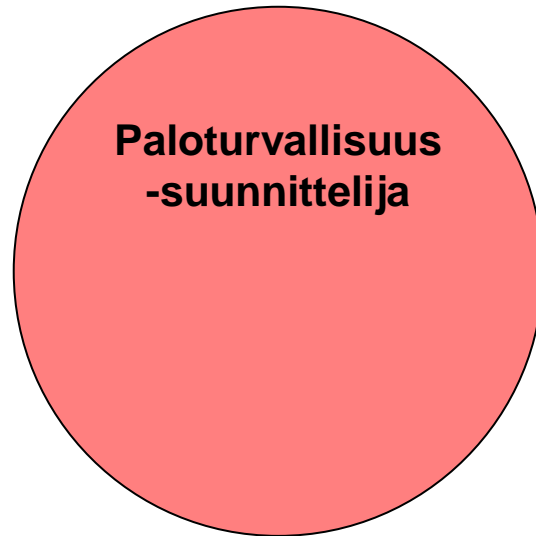
Esimerkkejä kohteista, joihin teräsrakenteiden toiminnallinen palomitoitus soveltuu tyypillisesti hyvin:

- Vähäisen palokuorman teollisuushallit (metallikonepajat yms.)
- Voimalaitokset (kattilalaitokset, savukaasupesurit yms.)
- Urheiluhallit ja stadionit (jalkapallo, jääkiekko, tennis, padel yms.)
- Monitoimihallit (esim. urheilu-, konsertti- ja messukäyttö).
- Uimahallit
- Korkeat atrium ja aulatilat (lasikatot yms.)
- Ulkoilmaan avoimet rakenteet (kulkusillat, suuret katokset yms.)
- Monen tyyppiset sprinklatut rakennukset
- + Monia muita erilaisia kohteita



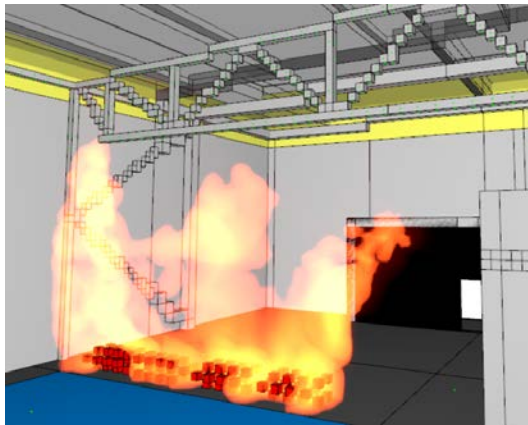
Teräsrakenteiden kokonaisvaltainen toiminnallinen palomitoitus

- Kantavien rakenteiden toiminnallisessa palomitoituksessa tarvitaan asiantuntemusta sekä **paloturvallisuussuunnittelusta** että **rakennesuunnittelusta**.
- Jos rakennesuunnittelija ja paloturvallisuussuunnittelija keskustelevat keskenään ainoastaan teräsrakenteen poikkileikkauslämpötilan ja kriittisen lämpötilan välityksellä osa informaatiosta katoaa matkalla.
- **Kokonaisvaltaisessa** toiminnallisessa palomitoituksessa paloturvallisuussuunnittelijan ja rakennesuunnittelijan välistä rajapintaa pyritään hieman häivyttämään.

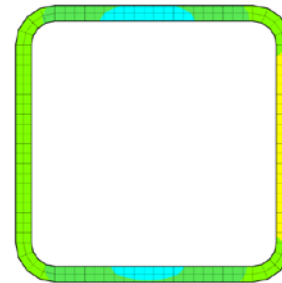
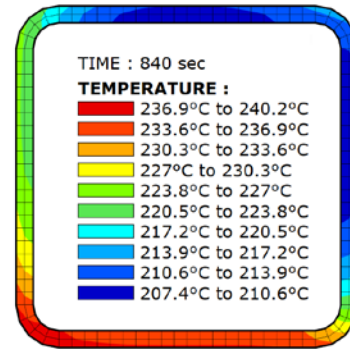
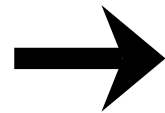


Teräsrakenteiden kokonaisvaltainen toiminnallinen palomitoitus

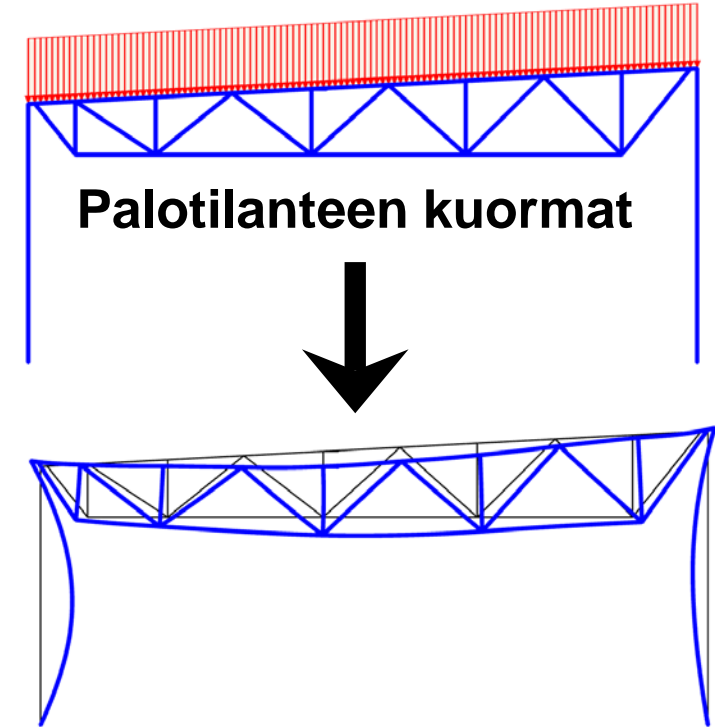
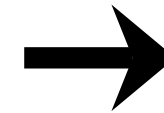
- Teräsrakenteiden kokonaisvaltaisessa toiminnallisessa palomitoituksessa pelkkien teräslämpötilojen lisäksi tarkastellaan teräsrakenteen todellista käyttäytymistä palo- ja rakennepuolen yhdistävänä kokonaisuutena huomioiden lämpölaajenemiset, lämpöjännitykset, epätasaiset lämpötilakentät teräsprofiileissa, yms.



Palosimuloinnit
(FDS)

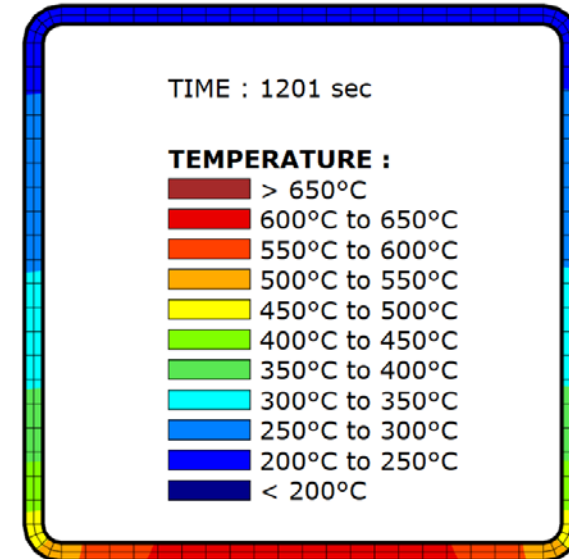
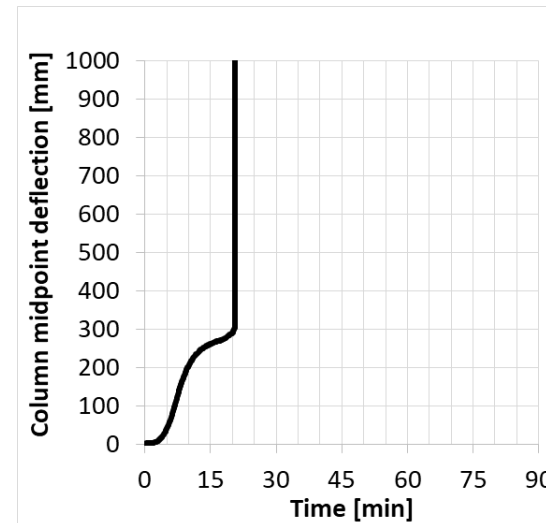
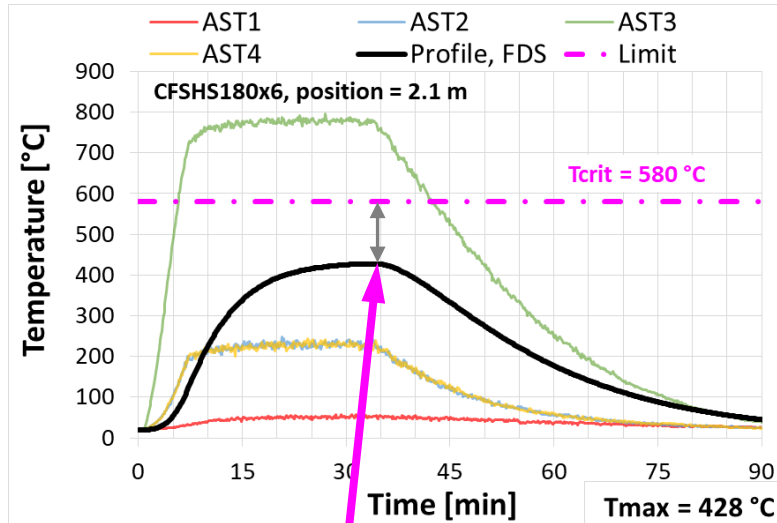
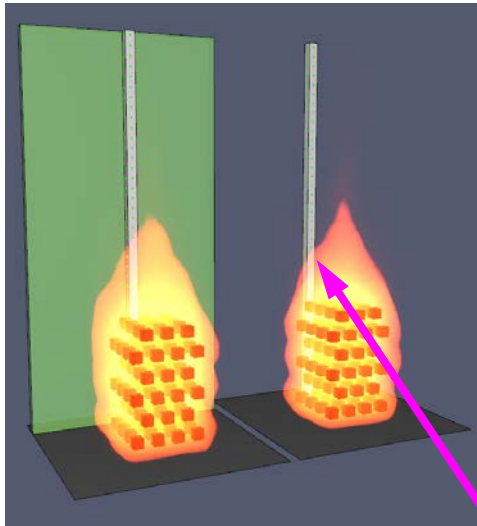


Profiilien
lämpötilakehitys



Esimerkkejä epätasaisen tulipalon vaikutuksista teräsrakenteeseen

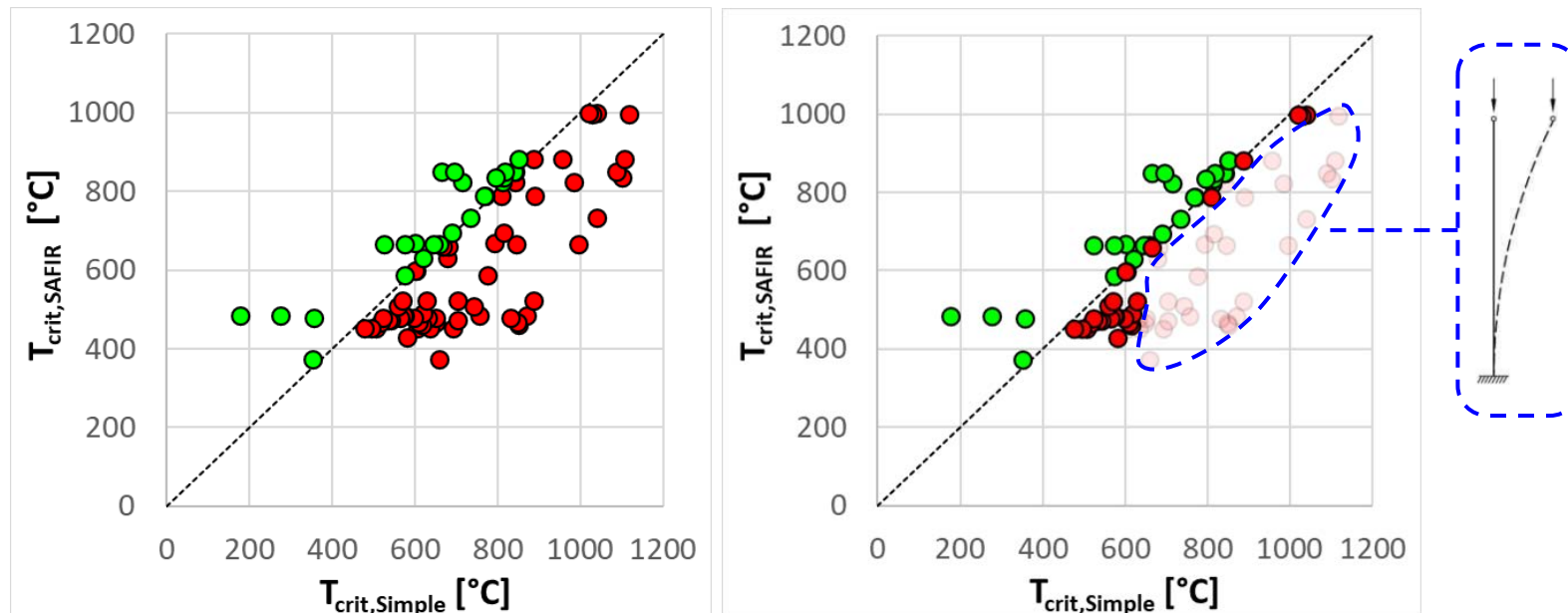
- Kaurialan kesätyöntekijä tutki 85 erilaista teräspilaria paikallisessa paloaltistuksessa.
- Palosimuloinnit FDS:llä, FEM-analyysit SAFIR:lla. Saatujen kestävyyksien vertailu yksinkertaisiin Eurokoodin laskentakaavoilla saatuihin kriittisiin lämpötiloihin (keskeisesti kuormitetun pilarin nurjahdus).
- Tutkitut parametrit: seinäpilarit ja keskipilarit, erilaiset mitoituspalot, erilaiset teräspoikkileikkaukset (vain putkia), erilaiset nurjahduspituudet ja päiden tukiehdot. Vain normaalivoimakuormitusta tutkittiin tässä vaiheessa.



Tässä esimerkissä, keskipilarin pitäisi kestää tulipalo kriittisen lämpötilan perusteella, jos teräksen poikkileikkauslämpötila oletetaan tasan jakautuneeksi. FEM-analyysissä pilari kuitenkin nurjahtaa n. 20 minuutin ajanhetkellä (sortuma lämpötilassa $\theta_{a,avg} = 396 \text{ °C}$)

Esimerkkejä epätasaisen tulipalon vaikutuksista teräsrakenteeseen

- Tehdyissä tarkasteluissa löydettiin runsaasti tapauksia, joissa “todellinen” kriittinen lämpötila poikkeaa merkittävästi “yksinkertaisesta” kriittisestä lämpötilasta epäkonservatiiviseen suuntaan (punaiset pisteet).
- Suurimmat erot löytyivät mastopilareilla (pitkät nurjahduspituudet, kuumin kohta juuri pahimmassa paikassa).
- Tutkimuksen tarkoituksena oli nimenomaan löytää ko. punaisia pisteitä; todellisissa kohteissa näitä löytyy melko harvoin.



- **TRY:n paloryhmän EsTer-hankkeessa** olisi tarkoitus tutkia juuri tähän aiheeseen liittyviä kysymyksiä (aloitus 2025 aikana?).

Viimeaikaisia tieteellisiä julkaisuja

Olemme viime vuosina olleet mukana tekemässä useita tieteellisiä julkaisuja (sekä vertaisarvioituja journal-artikkeleita että konferenssipapereita), joissa erilaisiin teräsrakenteiden palomitoituksessa vastaan tulleisiin kysymyksiin on yritetty löytää vastauksia.

Fire Technology
© 2023 The Author(s), under exclusive license to Springer Science + Business Media, LLC, part of Springer Nature
Manufactured in The United States
https://doi.org/10.1007/s12018-023-01157-7



Holistic Performance-Based Fire Design of Steel Structures—Case Study: Sports Hall

Timo Jokinen¹* and Risto Ramu², Markku Kauriala Ltd Fire Engineering and Fire Safety Design Consultants, Tampere, Finland
Mikko Salminen, Jensen Hughes, Tampere, Finland

Received: 30 March 2023/Accepted: 13 November 2023

Abstract. This paper presents the performance-based fire safety analysis of steel structures of padel-center built in Nokia, Finland. The analyses are conducted using advanced calculation models (fire simulations using Fire Dynamics Simulator, FDS, and finite element method, FEM, based analyses of the steel frames in elevated temperatures using SAFIR software, including joint analysis) in support with less sophisticated models (critical temperatures of steel members). The following localized fire scenarios are studied: lounge area furniture fire (4 sofas), sporting equipment fire (10 sporting bags filled with flammable clothing), fire during maintenance (scissor lift fire with miscellaneous temporary fire load) and a fire on HVAC balcony near the trusses. The aim of the paper is showcase recent developments in design processes and methods that are in practical use today in performance-based fire design (PBD), to demonstrate that relatively extensive performance-based studies can be (commercially) viable also in relatively small and mundane steel buildings, and to present a fairly robust framework for PBD of similar steel structures. As a result of the performance-based design, most of the steel structures in the case building could be constructed without fire protection, but some critical structures were identified and protected to class R30. The proposed design was approved by the local municipal authorities.

Fire Technology
© 2023 The Author(s)
Manufactured in The United States
https://doi.org/10.1007/s12018-023-01157-7



Framework to Incorporate Sprinkler System in Structural Fire Engineering

Mikko Salminen¹, Jensen Hughes, Tampere, Finland
Mikko Malaska², Tampere University, Tampere, Finland
Timo Jokinen³ and Risto Ramu⁴, Markku Kauriala Ltd Fire Engineering and Fire Safety Design Consultants, Tampere, Finland

Received: 31 March 2023/Accepted: 3 October 2023

Abstract. Sprinkler system can be very reliable and effective way to reduce fire risks in buildings if maintained properly. When the sprinkler system operates as designed, the temperatures affecting the load-bearing structures are often relatively low and the structural resistance is typically not compromised. Holistic Structural Fire Engineering (SFE) provides an opportunity to take active systems, like sprinklers, into account in the design. However, it is important to ensure that if the sprinkler system does not operate as designed, the consequences are still tolerable. Even though there are options to account sprinkler system in SFE, there is a lack of consistent guideline (at least in Finland). This can lead to totally different structural fire design and safety in similar buildings, depending on the interpretation and assumptions made. This paper presents a framework to take the effect of the sprinkler system consistently into account in SFE. The framework is based on Finland's fire regulations and on experience of multiple projects. Two case-examples, where this framework has been applied are presented in the paper.

Keywords: Sprinkler system, Structural fire engineering, Sprinkler reliability, Case study

1. Introduction

Automatic sprinkler systems are an effective way to reduce the fire risks in buildings. Recent study from Finland (main results presented e.g. in [1]) shows that sprinkler system can be very reliable if maintained properly and that sprinkler system may have considerable effect on structural fire safety. Moreover, it has been shown that when the sprinkler system operates fully as designed, the temperatures affecting the load-bearing structures are often relatively low and the structural resistance is typically not compromised as shown e.g. in [2–4]. In holistic (i.e. addressing the whole system) Structural Fire Engineering (SFE) it does not make sense to ignore an active system which is reliable and efficient. On the other hand, it should be ensured that if the sprinkler system does not operate as designed, the

* Correspondence should be addressed to: Mikko Salminen, E-mail: mikko.salminen@jensenhughes.com

Published online: 31 October 2023



Fire Technology
© 2023 The Author(s)
Manufactured in The United States
https://doi.org/10.1007/s12018-023-01157-7



Fire Performance of Steel-Timber Hybrid Beam Section

Mikko Malaska¹* and Mika Alanen², Tampere University, Tampere, Finland
Mikko Salminen, Jensen Hughes, Tampere, Finland
Timo Jokinen³ and Risto Ramu⁴, Markku Kauriala Ltd Fire Engineering and Fire Safety Design Consultants, Tampere, Finland

Received: 21 March 2023/Accepted: 19 July 2023

Abstract. Slim-floor-type of steel-timber hybrid floor systems which use steel beams contained within the depth of the cross-laminated timber (CLT) floor slab offer many benefits, but there is still very little research available on the fire resistance performance of these systems. In the study presented in this paper two furnace tests and numerical simulations have been conducted to investigate the thermal profiles of the steel member and CLT slabs and to obtain information on the temperature development and charring of the hybrid beam section when it is exposed to standard fire conditions. Also, the effects of intumescent fire protection on temperatures and charring performance were investigated. Numerical 2D thermal simulations for unprotected and protected cases were conducted using SAFIR software, and the agreement between experiments and numerical-analysis predictions were in general very good. The results show that intumescent protection reduces the temperatures of the steel and CLT components as well as charring depth significantly, and the start of charring at CLT slab support may be delayed if intumescent paint protection thicker than that required for the load bearing steel member is used. The result also showed that CLT temperatures exceed 100°C already in the early stages of the fire which decrease the strength and stiffness properties of CLT much before the start of charring. Therefore, the fire design of the CLT slab support should not only consider the char depth and residual cross-section analysis but also the reduction in strength.

Keywords: Steel-timber, Composite beam, Hybrid beam, Slim floor, CLT, Fire resistance, Charring

1. Introduction

Steel-timber hybrid beam systems have recently been studied and developed in many configurations as they enable light and shallow floor construction with longer spans compared to traditional timber construction. Other benefits include high speed in installation, dry construction, recyclable components and, in the case of slim-floor-type of construction, a flat soffit. In the slim floor construction, the steel sections are encased partially within the timber floor and the good fire

*Correspondence should be addressed to: Mikko Malaska, E-mail: mikko.malaska@tuni.fi

Published online: 03 August 2023



SIF 2022—The 12th International Conference on Structures in Fire
The Hong Kong Polytechnic University, Nov 30 - Dec 2, 2022

STEEL SECTION EQUIVALENT UNIFORM TEMPERATURE DISTRIBUTION IN PERFORMANCE-BASED FIRE DESIGN – EC3 CALCULATION METHOD GENERALIZED FOR NON-UNIFORM FIRE EXPOSURE

Timo Jokinen¹, Risto Ramu², Mikko Salminen³

ABSTRACT

This paper presents modifications for Eurocode 3 (EC3) unprotected steel section equivalent uniform temperature distribution formulas, that generalizes them for non-uniform fire exposure to better serve the demands in performance-based fire design. The validation for these formulas is also presented by using 2D FEM (Finite Element Method) temperature analysis (with SAFIR software). The modified formulas are designed to fit well with FDS (Fire Dynamics Simulator) fire simulations, and they should not be limited to specific type of fire (i.e. they should work with localized fire, fully developed fire, travelling fire, etc.). The modified formulas are presented as a supplementary tool for determining the section temperatures that are compared against member critical temperatures, and they should be used in tandem (not as a substitute) with more advanced structural analysis as required in EC3 for performance-based structural fire design.

Keywords: steel structures, section temperature, performance-based fire design, SAFIR, FDS, Eurocode

1 EQUIVALENT UNIFORM TEMPERATURE DISTRIBUTION FORMULAS

1.1 Calculation formulas presented in EC3

If the conditions outside the steel section have uniform temperature distribution, the development of the equivalent uniform temperature distribution in the unprotected steel section θ_e can be calculated using the formulas in Eurocodes EN 1993-1-2 section 4.2.5.1 and EN 1991-1-2 section 3.1 [1, 2].

$$\theta_e(t + \Delta t) = \theta_e(t) + k_{in} \frac{A_{m,f}}{c_p \rho A} \int_{t_0}^t h_{net} dt \quad (1)$$

$$h_{net} = h_{net,L} + h_{net,R} = \alpha_s (\theta_g - \theta_a) + \phi_{e,m} \sigma_s (\theta_s + 273^\circ\text{C})^4 - (\theta_a + 273^\circ\text{C})^4 \quad (2)$$

$$k_{in} = \begin{cases} 0.9 \cdot (A_{m,f}/V)_s / (A_{m,f}/V)_e & \text{for I-sections} \\ 1.0 & \text{for other sections} \end{cases} \quad (3)$$

where

θ_e is the equivalent uniform temperature distribution in the unprotected steel section (shortened also to just "section temperature" in this paper) [°C].
 t is the time [s].

¹ Senior Fire Safety Specialist, M.Sc. Markku Kauriala Ltd. Fire engineering and fire safety design consultants, Finland

e-mail: timo.jokinen@kauriala.fi

² Senior Fire Safety Consultant, M.Sc. Markku Kauriala Ltd. Fire engineering and fire safety design consultants, Finland

e-mail: risto.ramu@kauriala.fi

³ Senior Fire Safety Specialist, D.Sc. Markku Kauriala Ltd. Fire engineering and fire safety design consultants, Finland

e-mail: mikko.salminen@kauriala.fi

SIF 2024 – The 13th International Conference on Structures in Fire
University of Coimbra, Portugal, 19 to 21 June 2024

CALCULATION OF FIRE PROTECTED STEEL SECTION TEMPERATURES IN PERFORMANCE-BASED FIRE DESIGN – EC3 CALCULATION METHOD GENERALIZED FOR NON-UNIFORM FIRE EXPOSURE

Timo Jokinen¹, Risto Ramu²

ABSTRACT

This paper presents modifications to the Eurocode 3 (EC3) temperature development calculation method for fire protected steel sections, that try to generalize the method for non-uniform fire exposure to better serve the demands in performance-based fire design (PBD). This paper expands a previous study (Jokinen, Ramu, Salminen, 2022), which only considered unprotected steel sections. A simple procedure for determining the required fire protection ratings in PBD is also presented. The validation studies for the modified method are presented utilizing 2D FEM (Finite Element Method) heat transfer analyses with SAFIR software. 36 different validation cases were studied with rock wool fire protection or with intumescent paint fire protection. The modified method was also benchmarked against a simplified application of the original EC3 method. The proposed calculation method had moderately good agreement with FEM validation. However, in some cases the modified method tended to produce notably better temperatures than with FEM, but this is conservative in terms of practical designs. The proposed method is presented only as a supplementary tool for determining appropriate fire protections in PBD, and it should be used in tandem (not as a substitute) with more advanced structural analysis to better account for the indirect effects of the design fire in PBD (i.e. using FEM to also account indirect actions and displacements from thermal expansions, thermal gradients within cross-sections, non-linear material models, etc.).

Keywords: steel structures, fire protected section temperature, performance-based fire design, SAFIR, FDS

1 INTRODUCTION

The calculation methods presented in the Eurocodes do not fully explain how to calculate the temperature development of fire protected steel sections for the members exposed to non-uniform fire in performance-based fire design (PBD). Therefore, this paper aims to present modified calculation formulas for these situations and tries to validate them against 2D FEM (Finite Element Method) heat transfer analyses. A simple procedure for determining the required fire protection ratings in PBD is also presented. This paper expands the studies shown in [1], which only considered unprotected steel sections.

2 CALCULATION METHODS

2.1 Calculation method presented in EC3

If the conditions outside a fire protected steel section have uniform temperature distribution, the temperature development of the steel section can be calculated using the formulas given in Eurocode

¹ Senior Fire Safety Specialist, M.Sc. Markku Kauriala Ltd. Fire engineering and fire safety design consultants, Finland

e-mail: timo.jokinen@kauriala.fi

² Senior Fire Safety Consultant, M.Sc. Markku Kauriala Ltd. Fire engineering and fire safety design consultants, Finland

e-mail: risto.ramu@kauriala.fi

* Correspondence should be addressed to: Timo Jokinen, E-mail: timo.jokinen@kauriala.fi

Published online: 03 January 2024



Julkaisut: Teräspoikkileikkauksen lämpenemisen laskenta toiminnallisessa mitoituksessa

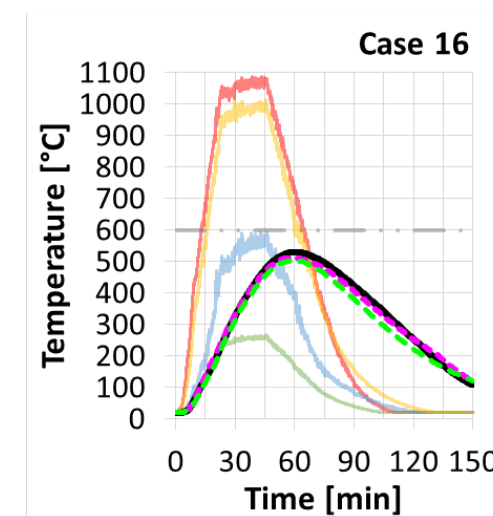
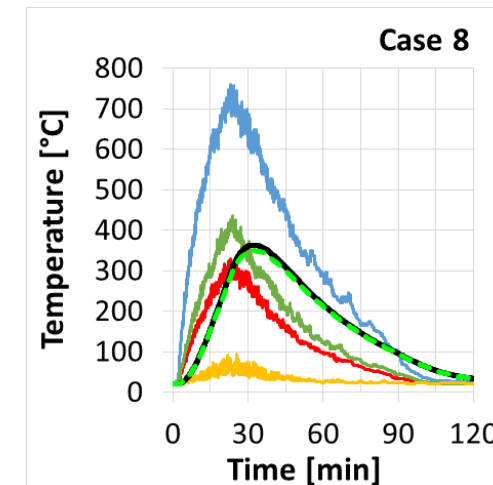
- 2 kpl konferenssipapereita, joissa kehitetty toiminnalliseen palomitoitukseen paremmin soveltuvat laskentakaavat teräspoikkileikkauksen lämpenemisen laskentaan muokkaamalla EC3:n kaavoja:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m N}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t \qquad \Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p N}{d_p c_a \rho_a} \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{(1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t}$$

- Toisessa näistä papereista palosuojaamattomat poikkileikkaukset ja toisessa palosuojatut poikkileikkaukset.
- Tarkastelut sisälsivät muokattujen kaavojen validoinnit FEM-analyyseihin.

• <https://www.researchgate.net/publication/366199960>

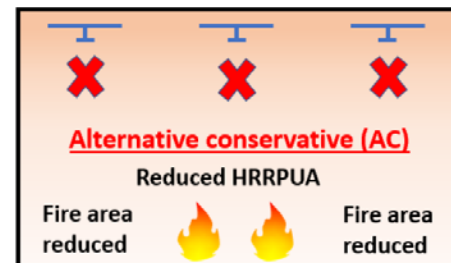
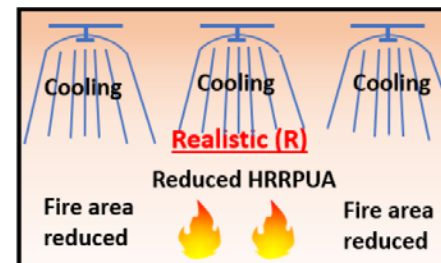
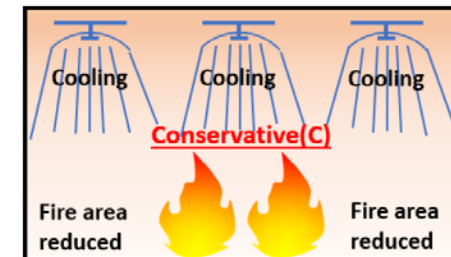
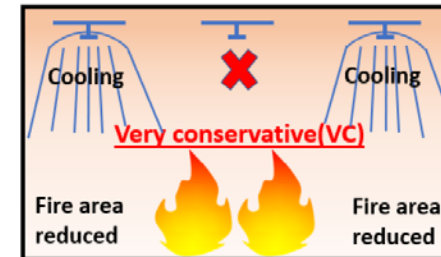
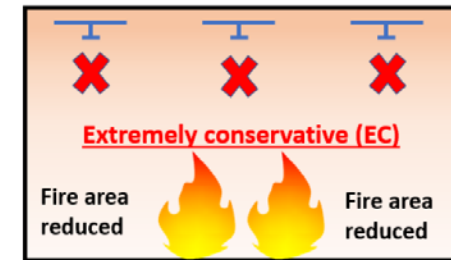
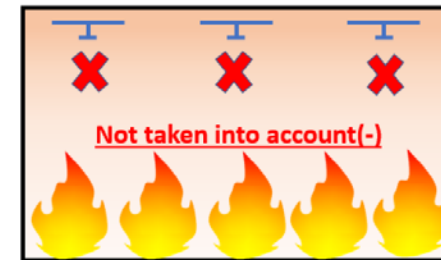
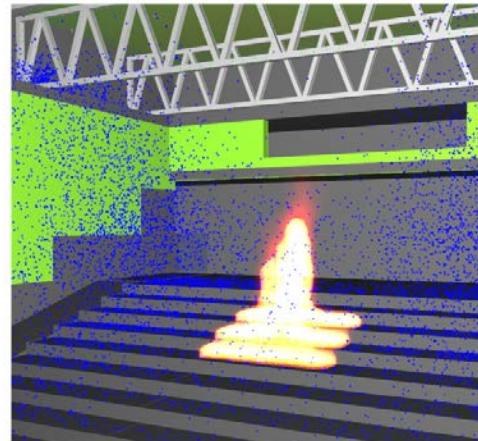
• <https://www.researchgate.net/publication/382880932>



Julkaisu: Sprinklerilaitteiston hyödyntäminen rakenteiden toiminnallisessa mitoituksessa

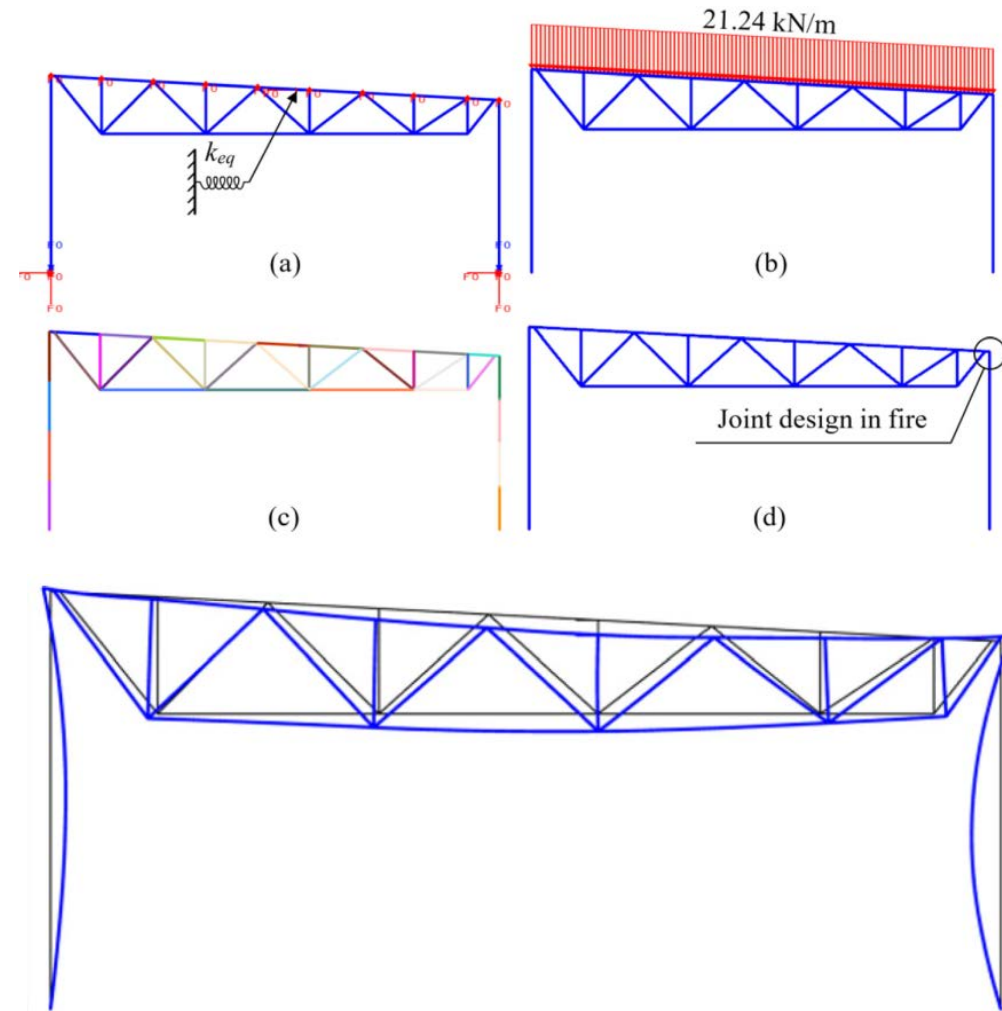
- Vertaisarvioitu artikkeli, jossa on kehitetty viitekehys automaattisen sammutusjärjestelmän hyödyntämiselle kantavien rakenteiden toiminnallisissa tarkasteluissa.
- Artikkelissa esitetään menetelmä, jolla sprinklerin mahdollinen vikaantumisen voitaisiin toiminnallisessa suunnittelussa huomioida systemaattisesti.

- <https://www.researchgate.net/publication/375155382>



Julkaisu: Case esimerkki urheiluhallin teräsrakenteiden kokonaisvaltaisesta toiminnallisesta mitoituksesta

- Vertaisarvioitu artikkeli case-kohteesta, jossa oikean rakennuksen teräsrakenteiden toiminnallinen mitoitus käydään läpi alusta loppuun.
- Sprinklaamaton urheiluhalli.
- <https://www.researchgate.net/publication/377201137>



Julkaistu: Case esimerkki urheiluhallin teräsrakenteiden kokonaisvaltaisesta toiminnallisesta mitoituksesta


Fire Technology

© 2024 The Author(s), under exclusive licence to Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature

Manufactured in The United States

<https://doi.org/10.1007/s10694-023-01519-z>

Holistic Performance-Based Fire Design of Steel Structures – Case Study: Sports Hall

Timo Jokinen  and Risto Ranua, Markku Kauriala Ltd Fire Engineering and Fire Safety Design Consultants, Tampere, Finland
Mikko Salminen, Jensen Hughes, Tampere, Finland*

Received: 30 March 2023/**Accepted:** 13 November 2023



Kiitos!

Timo Jokinen

Toiminnallisen
paloturvallisuussuunnittelun
suunnittelupäällikkö
timo.jokinen@ains.fi

