

ECSC-PROJEKTI "ULKOPUOLISTEN TERÄSRAKENTEIDEN KESTÄVYYS TULIPALOSSA"

Olli Kaitila
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT

Tiivistelmä

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka on mukana eurooppalaisessa yhteistyöprojektissa "Development of design rules for the fire behaviour of external steel structures", jossa muina osapuolina ovat CTICM (Ranska, puheenjohtaja), TNO (Hollanti), LABEIN (Espanja) ja ProfilARBED (Luxembourg). Projekti on kolmivuotinen ja päättyy kuluvana vuonna.

Projektin tavoitteena on kehittää nykyisiä ulkopuolisia teräsrakenteita koskevia suunnitteluohjeita siten, että ne antaisivat tarkemman kuvan todellisesta tulipalotilanteesta ja johtaisivat realistisempaan suunnitteluun, joka mahdollistaisi teräsrakenteiden laajemman ja kilpailukykyisemmän käytön rakennuksen ulkopuolisina kantavina rakenteina. VTT:n osuus projektissa keskittyy yksinkertaisten laskentamenetelmien kehittämiseen ulkopuolisten kotelosuojattujen pilarien ja parvekerakenteiden lämpötilojen määrittämiseksi. Pilareina ja palosuojakoteloiden materiaaleina käytetään sekä rakenneterästä että ruostumatonta terästä.

PROJEKTIN TAUSTA

Euroopan hiili- ja teräsyhteisön (ECSC) tutkimusprojekti "Development of design rules for the fire behaviour of external steel structures" alkoi 1.7.2002 ja päättyy 31.12.2005. Projektin koordinaattorina toimii CTICM (Ranska) ja partnereina ovat VTT:n lisäksi TNO (Hollanti), LABEIN (Espanja) sekä ProfilARBED (Luxemburg). Suomalaisena yritysedustajana on projektissa mukana Outokumpu Stainless Oy.

Ulkopuolisten teräsrakenteiden käyttö mahdollistaa teräsrakenteiden korostamisen rakennusten suunnittelussa, rakennuksen sisätilojen joustavamman käytön sekä rakenteiden suunnittelun joko kokonaan ilman palosuojasta tai ainakin vähemmällä palosuojauksella. Nykyisissä teräsrakenteiden palomitoitusta käsittelevissä Eurocode-normeissa [1], [2] esitetyt laskentamenetelmät eivät kuitenkaan käsittele palosuojamaalattuja tai kotelosuojattuja ulkopuolisia teräsrakenteita, eivätkä parvekerakenteita, ja ovat kokemusten mukaan varsin konservatiivisia suojaamattomien teräsrakenteiden kestävyyslaskennassa.

Nykyisten laskentamenetelmien rajallisuus johtaa käytännössä usein siihen, että ulkopuolisten teräsrakenteiden palonkestävyyden varmistamiseksi joudutaan käyttämään yhtä voimakasta palosuojasta kuin tapauksessa, jossa pilari kohdistuu EN 1363-1:1999 (ISO 834) [3] mukaiselle standardipalolle. Tämä vaikuttaa paitsi rakentamisen kustannuksiin, myös valittuihin rakenneratkaisuihin, ja asettaa ulkopuoliset teräsrakenteet epäedulliseen asemaan.

PROJEKTIN PÄÄTAVOITTEET

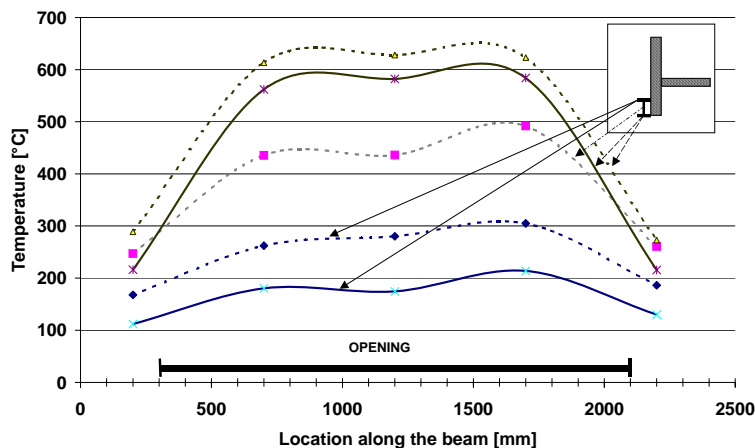
Projektin päätavoitteet ovat:

- teräsrakenteiden lämpötilan laskentamenetelmien tarkentaminen
- rakenteiden sisäisen lämpötilajakauman fysikaalisten mallien parantaminen
- kehitettyjen mallien varmentaminen olemassaolevien ja uusien koetulosten perusteella
- yksinkertaisten laskentamenetelmien kehittäminen rakennuksen ulkopuolisille kotelosuojatuille rakenteille ja parvekerakenteille.

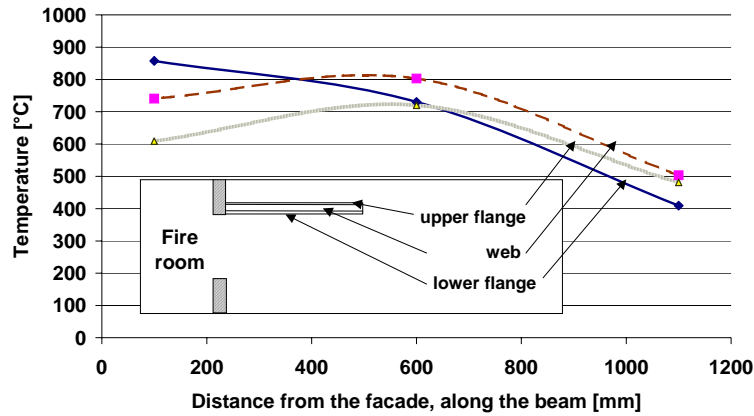
VTT:n osuus projektissa keskittyy yksinkertaisten laskentamenetelmien kehittämiseen ulkopuolisten kotelosuojattujen pilarien ja parvekerakenteiden lämpötilojen määrittämiseksi. Pilareina ja palosuojakoteloiden materiaaleina käytetään sekä rakenneterästä että ruostumatonta terästä.

LÄMMÖN SIIRTYMINEN ULKOPUOLISIIN TERÄSRAKENTEISIIN

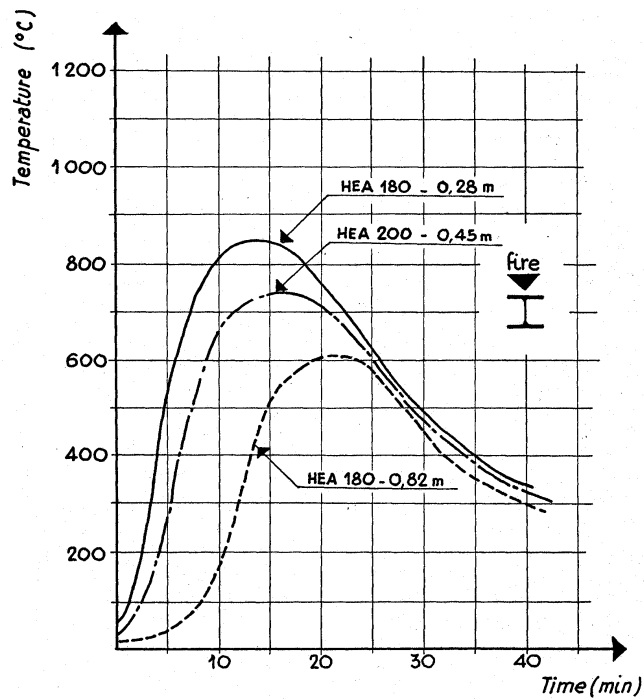
Eurocode-suunnittelunormien [1], [2] liitteissä B annetut ohjeet perustuvat ns. steady-state tilanteeseen, jossa koko teräsrakenne on samassa lämpötilassa. Todellisessa tulipalossa lämpötilarasitus ulkopuoliselle teräsrakenteelle on kuitenkin yleensä hyvin paikallinen ja lämpötilat sekä teräsrakenteen leikkauksessa että sen pituuden funktiona voivat vaihdella huomattavasti, kuten esimerkeistä kuvissa 1-3 käy ilmi. Kuva 1 esittää rakennuksen seinän suuntaisen I-palkin laippojen ja uuman kuumenemisen eri kohdissa ikkuna-aukkoa, kun rakennuksen sisällä on tulipalo. Kuva 2 esittää vastaavan tilanteen palkin ollessa kohtisuoraan ikkunan tasoa vastaan. Teräksen lämpötilat laskevat nopeasti siirryttäessä etäämmäksi palolähteestä. Kuva 3 esittää seinän suuntaisen palkin lämpötiloja palkin sijaitessa eri etäisyyksillä ikkunasta.



Kuva 1. Seinän suuntaisen palkin lämpötila ikkunan kohdalla, kun rakennuksessa palaa [4].



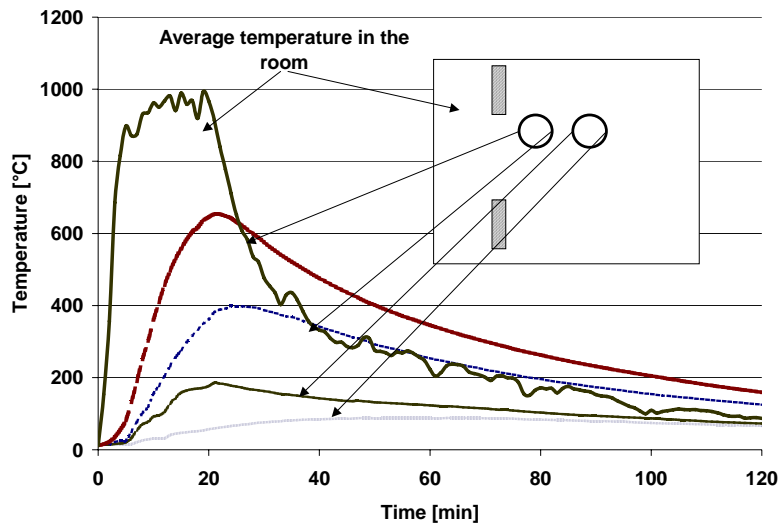
Kuva 2. Seinää vastaan kohtisuoran palkin lämpötila ikkunan kohdalla etäisyyden funktiona [4]



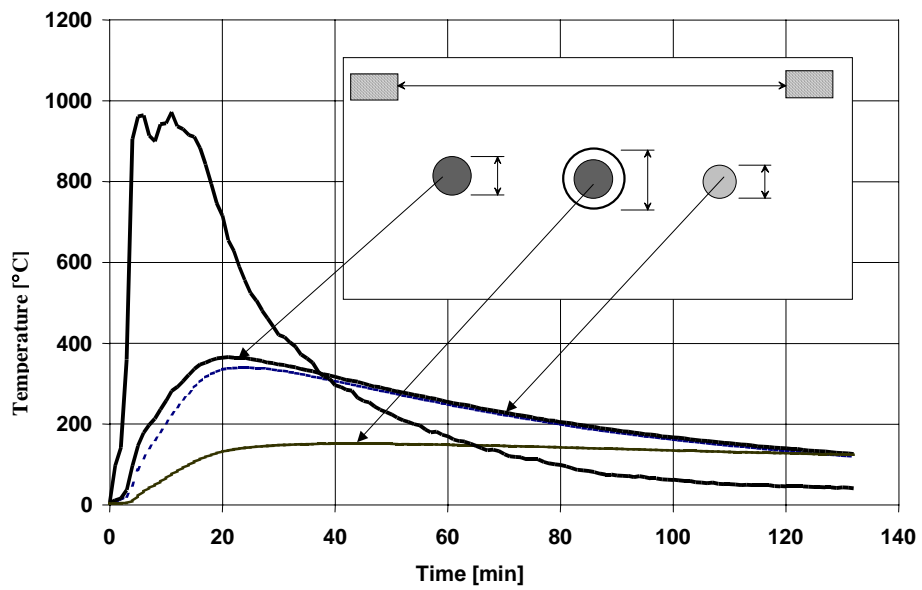
Kuva 3. Palkin lämpötilat, kun etäisyys ikkunasta on 0.28 m, 0.45 m ja 0.82 m [4].

Kuvassa 4 nähdään lämpötilan vaihtelu rakenteen eri puolilla sen altistuessa tulipalolle vain yhdeltä puolelta, kuten ulkopuolisten teräsrakenteiden tapauksessa yleensä käy. Lisäksi nähdään, että varjostuksen vaikutus on suuri. Toisen pilarin varjoon jäävän pilarin lämpötilat ovat merkittävästi alhaisemmat kuin suoraan palolle altistuvan pilarin lämpötilat.

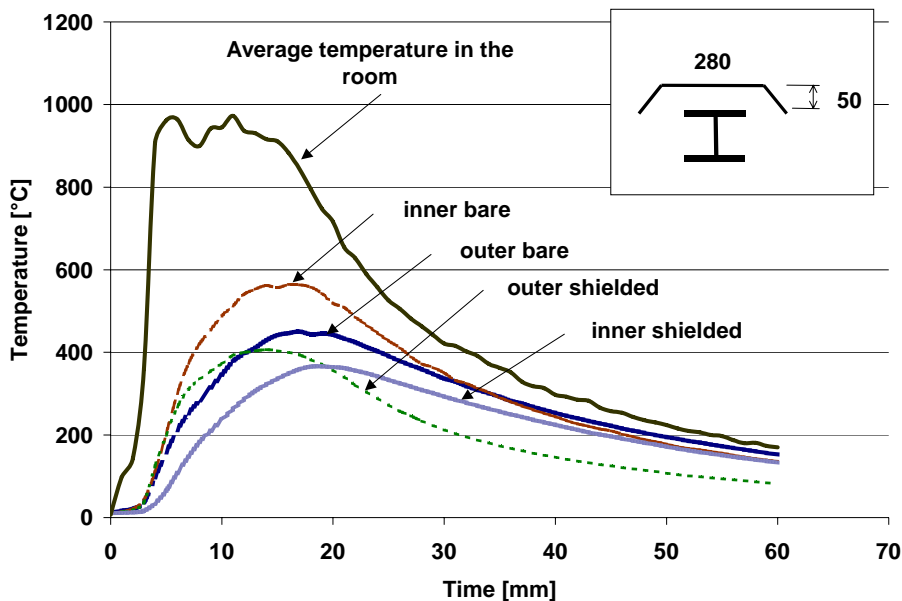
Kuvissa 5 ja 6 esitetään umpinaisen suojakotelon ja pelkän yksinkertaisen avonaisen suojalevyn vaikutus teräspilarin lämpötiloihin. Voidaan nähdä, että vaikutus voi tapauskohtaisesti olla merkittävä.



Kuva 4. Varjostuksen vaikutus ohutseinämaisten pilarien lämpötiloihin [4].



Kuva 5. Kotelosuojausten vaikutus teräspilarin lämpötiloihin [4].



Kuva 6. Yksinkertaisen varjostuslevyn vaikutus pilarin lämpötiloihin [4].

PROJEKTIN OSATEHTÄVÄT

Projekti on jaettu 6 osatehtävään (work package, WP), joista yksi käsittää projektin koordinoinnin, yksi keskittyy luonnollisen palon aiheuttamiin lämpörasituksiin ja muut käsittelevät eri tyyppisten tai erilaisille lämpörasituksille altistuneiden rakenteiden kestävyysmäärittämistä. Osatehtävät ja niiden vastuulliset osapuolet ovat:

WP 1: Rakennusten aukoista ulos tulevien liekkien aiheuttamat lämpörasitukset rakenteille (Projection of external flames by openings)

Vastuullinen osapuoli: TNO

Muut osapuolet: CTICM, LABEIN, VTT

WP 2: Palosuojaamattomien teräs- ja liittorakenteiden lämpeneminen tulipalossa (Heating up of steel or composite bare sections)

Vastuullinen osapuoli: LABEIN

Muut osapuolet: ProfilARBED, CTICM, TNO

WP 3: Palosuojattujen teräsrakenteiden lämpeneminen tulipalossa (Heating up of protected steel sections)

Vastuullinen osapuoli: CTICM

Muut osapuolet: ProfilARBED, VTT

WP 4: Kotelosuojattujen teräsprofiilien ja parvekerakenteiden lämpeneminen tulipalossa (Heating up of external steel sections protected with steel box and of balconies)

Vastuullinen osapuoli: VTT

Muut osapuolet: CTICM, LABEIN

WP 5: Teräsprofiilien lämpeneminen paikallisissa paloissa (Heating up of sections from localised fires)

Vastuullinen osapuoli: ProfilARBED

Muut osapuolet: TNO

WP6: Projektin koordinointi (Project coordination)

Vastuullinen osapuoli: CTICM

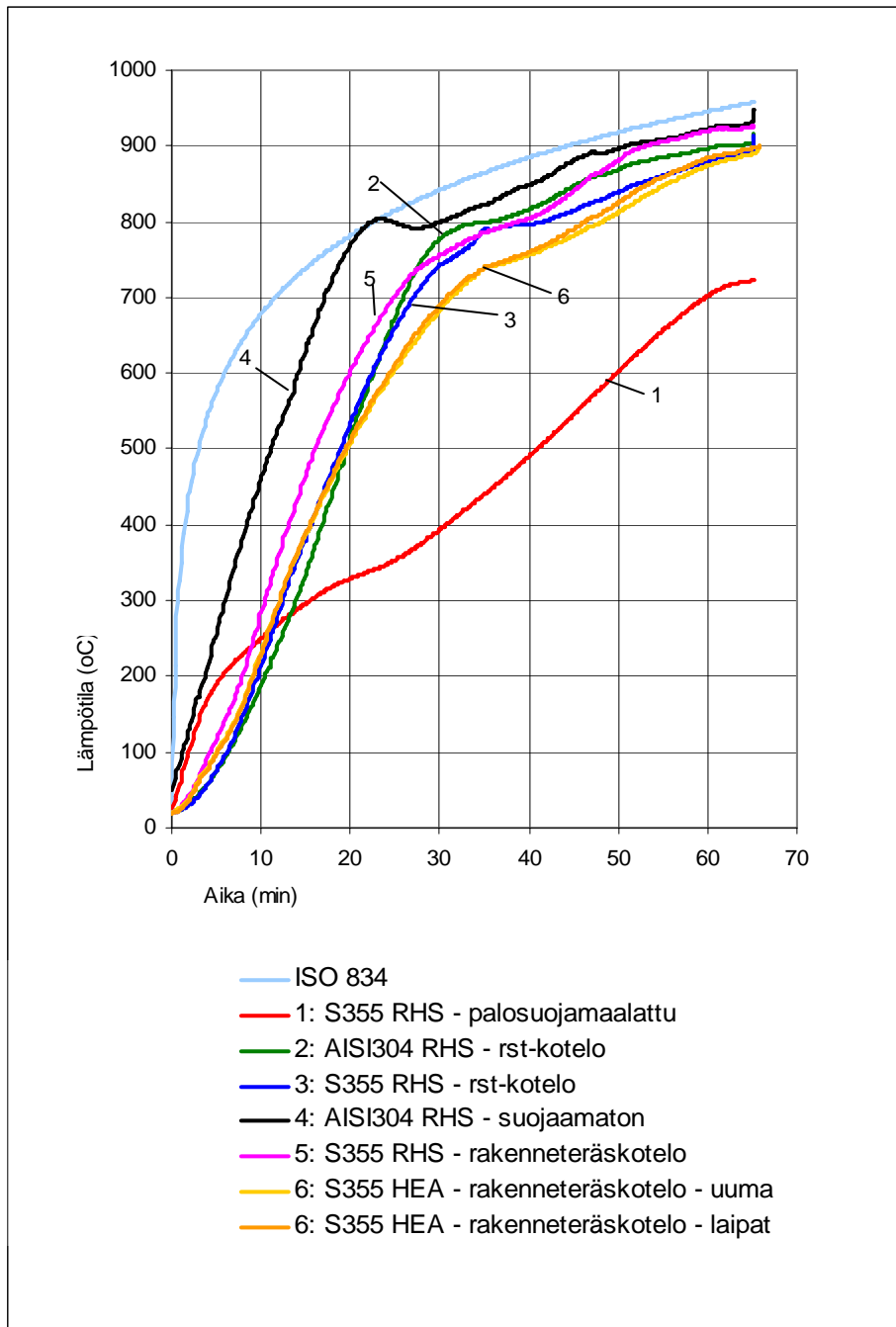
VTT:N OSUUS PROJEKTISSA

VTT:n päätehtävä projektissa on tutkia kotelosuojattujen teräsrakenteiden ja teräsparvekkeiden lämpötilakehitystä ja luoda yksinkertaiset laskentamenetelmät tämäntyyppisten rakenteiden palomitoitusta varten. VTT on tehnyt projektin aikana yhteensä viisi suuren mittakaavan koetta, joista yksi ns. horisontaaliuunissa ja neljä ns. julkisivulaitteella. Horisontaaliuunissa tehdyssä kokeessa lämpötilakehitys oli EN 1363-1:1999 (ISO 834-1) standardikäyrän mukainen ja symmetrinen koepilarien eri puolilla, kun taas julkisivulaitteella tehdyissä kokeissa palorasitus oli toispuoleinen ja paikallinen.

Rakenteiden polttokokeet

Kokeissa testattiin sekä rakenneteräksestä että ruostumattomasta teräksestä valmistettuja pilareita, jotka oli palosuojattu joko PVDF-pinnoitetulla teräsohutlevykotelolla tai ruostumattomasta teräksestä valmistetulla kotelolla. Mukana oli myös suojaamaton rst-pilari ja palosuojamaalattu rakenneteräspilari. Kaikki pilarit olivat kuormittamattomia ja kokeiden tarkoituksena oli kerätä suuri määrä lämpötiladataa, jota voidaan käyttää yksinkertaisten laskentamenetelmien kehityksessä.

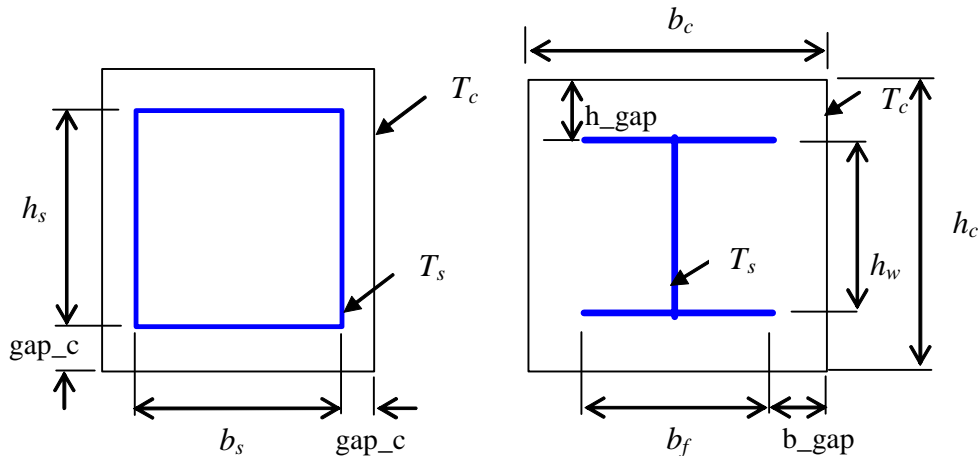
Kovin yksityiskohtaisia tietoja kokeista tai projektin muista tuloksista ei voida tässä vaiheessa vielä antaa projektin ollessa kesken. Kuvassa 7 on kuitenkin esitetty eri pilareiden lämpötilakehitys horisontaaliuunissa tehdyssä kokeessa. Koepilarit olivat tyyppiä RHS 150×150×5 ja HEA 200. Palosuojauksena käytettyjen pilareita ympäröivien teräskoteloiden paksuus oli 1.0 mm kaikissa tapauksissa. Kuvasta on selvästi nähtävissä kotelon vaikutus pilarin lämpötilakehitykseen. Käyrä nro 4 vastaa suojaamatonta rst-pilaria ja käyrä nro 2 kotelosuojattua rst-pilaria. Lisäksi voidaan panna merkkille kotelosuojatun rst-pilarin hieman hitaampi lämpeneminen verrattuna kotelosuojattuun rakenneteräspilariin (käyrät 2 ja 3) tehollisella alueella (< 650 °C). Palosuojamaalattun pilarin (käyrä nro 1) lämpeneminen tapahtuu varsin eri tahdissa verrattuna muihin koestettuihin pilareihin.



Kuva 7. Eri pilarien lämpeneminen horisontaaliuunikokeessa.

Yksinkertainen laskentamenetelmä

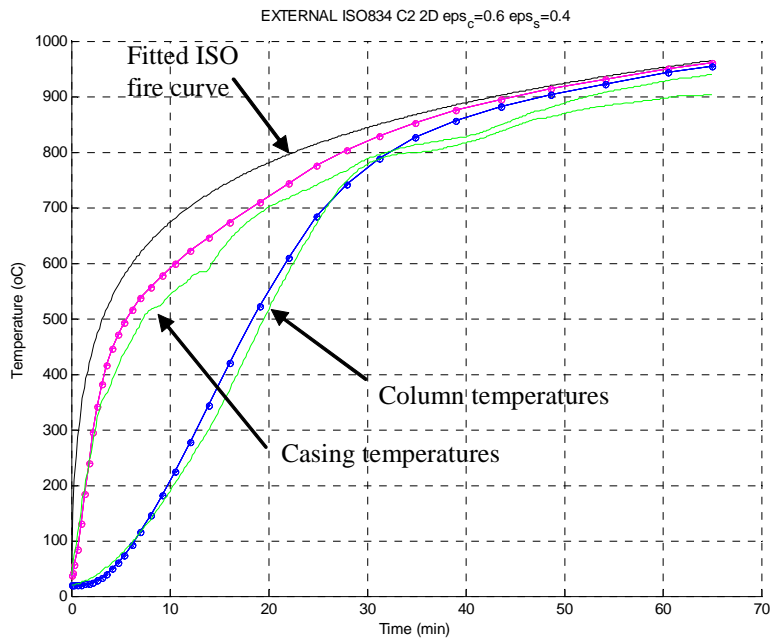
Projektissa kehitetään yksinkertaiset laskentamenetelmät kuvan 8 mukaisille kotelosuojatuille pilareille. Lämpötilarasitus voi olla symmetrinen tai epäsymmetrinen. Laskentamenetelmät perustuvat lämmönsiirron perusyhtälöille ja ottavat huomioon säteilyn poikkileikkauksen eri osien välillä.



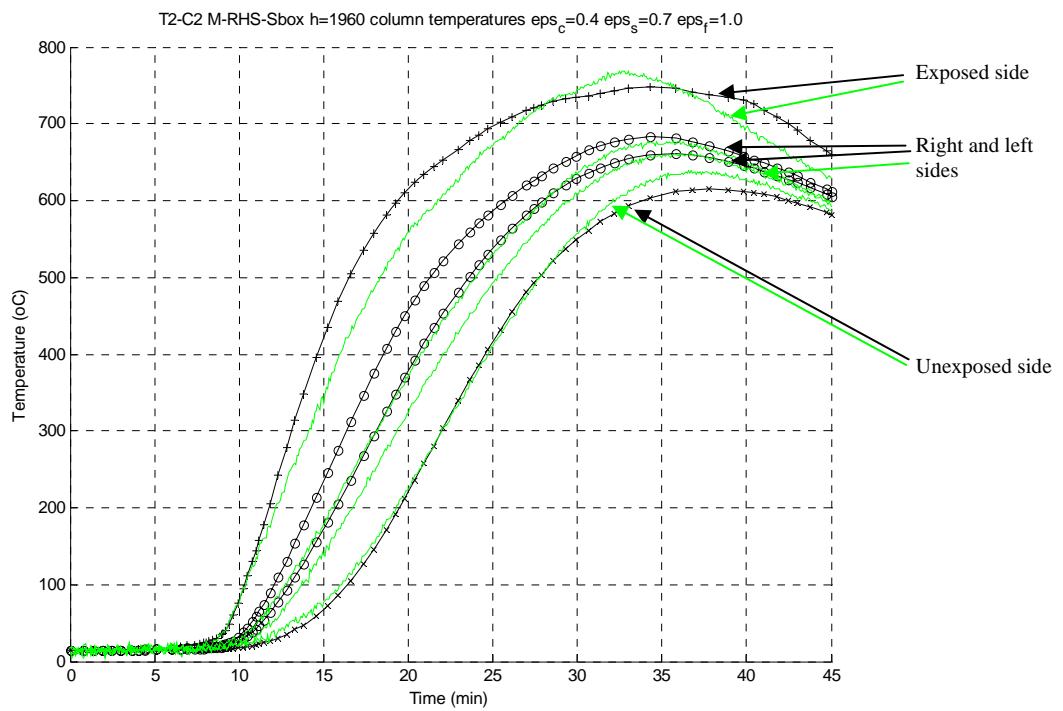
Kuva 8. Tarkasteltavat kotelosuojatut RHS- ja HEA-profiilit.

Koska lämmönsiirto todellisissa rakenteissa on varsin monimutkainen ilmiö, on yksinkertaisesta laskentamenetelmästä puhuminen kenties siinä mielessä harhaanjohtavaa, että kyseessä ei ole käsinlaskentamenetelmä. Menetelmissä käytettävät yhtälöt onkin laskentaa varten ohjelmoitu Matlab[®]-ohjelmalla [5]. Kuvassa 9 on vertailuesimerkki symmetriselle palorasitukselle altistetun kotelosuojatun rst-pilarin koetuloksen ja laskentatuloksen välillä. Kuten nähdään, laskentatulostulostuloksen vastaa koetulosta varsin hyvin.

Epäsymmetristen tapauksien kohdalla on laskentatulosten ja koetulosten välisen vastaavuuden saavuttaminen huomattavasti hankalampaa kuin symmetrisen palorasituksen tapauksessa. Todellisessa palossa saavutettuja lämpötiloja on vaikea mallintaa luotettavasti niiden suuren aika- ja paikkariippuvuuden vuoksi. Niinpä mallinnuksessa on tehtävä suhteellisen paljon oletuksia. Tavoitteena ei näin ollen voi olla hyvin tarkka vastaavuus kokeissa mitattujen lämpötilojen kanssa, vaan riittävän hyvä, mielellään hieman varmalla puolella oleva mallinnustulos. Kuvassa 10 on esitetty yksi varsin hyvin onnistunut koetulosten mallinnus.



Kuva 9. Vertailu koetulosten (normaalit viivat) ja laskentatulosten (merkityt viivat) välillä.



Kuva 10. Vertailu todellisen palon kokeen tulosten (normaalit viivat) ja laskentatulosten (merkityt viivat) välillä.

YHTEENVETO

Vuonna 2002 alkanut eurooppalainen tutkimusprojekti ”Ulkopuolisten teräsrakenteiden kestävyys tulipalossa” on lähestymässä loppuaan. VTT:n päätehtävänä projektissa on ollut rakenteiden polttokokeiden suorittaminen sekä standardipalokäyrän mukaisessa lämpötilarasisituksessa, että luonnollisen palon mukaisissa olosuhteissa. Kokeiden tuloksia käytetään yksinkertaisten laskentamenetelmien kehittämisessä kotelosuojattujen teräspilareiden lämpötilakehityksen määrittämiseksi. Lisäksi projektissa kehitetään vastaavanlainen laskentamenetelmä teräksisten parvekerakenteiden lämpötilakehityksen määrittämiseksi.

Projekti on edistynyt aikataulussaan ja päättyy vuoden 2005 lopussa. Projektin ollessa yhä käynnissä, ei lopullisia tuloksia ole mahdollista vielä esitellä.

KIITOKSET

VTT haluaa kiittää Euroopan hiili- ja teräsyhteisöä, Outokumpu Stainless Oy:tä (Raimo Viherma) sekä projektin muita osapuolia.

LÄHDELUETTELO

- [1] EN 1991-1-2 : 2002 Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire, CEN 2002.
- [2] pr ENV 1993-1-2 : 2003 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1.2: General rules - Structural fire design, CEN 2003.
- [3] EN 1363-1:1999 Fire resistance tests - Part 1:General requirements, CEN 1999.
- [4] Joyeux, D., PR380-N.53 - Presentation TSG8 25 May 2004 (Powerpoint presentation). ECSC PR380 Project document.
- [5] Matlab[®] Release 14. The MathWorks, U.S.A.