

DIFISEK - DISSEMINATION OF FIRE SAFETY ENGINEERING KNOWLEDGE

WP4: PALOMITOITUKSEN OHJELMISTOT

J.J. Martinez De Aragon; F. Rey & J.A. Chica
LABEIN Technological Centre, Bilbao, Spain

Lyhennelmä:

ECSC:n projektin DIFISEK (RFS-C2-03048) yksi päätavoitteista on palomitoituksen julkisesti saatavilla olevien ohjelmistojen kerääminen ja arviointi. Niiden arvioimiseksi oikealla tavalla tarvitaan niiden luokittelu ja arviointikriteerien luominen. Vuonna 1992 Friedman laati katsauksen tietokonepohjaisista palomalleista Palotutkimuksen kansainväliselle yhteistyöfoorumille. Vuonna 2003 Olenick & Carpenter päivittivät katsauksen sisällyttäen siihen enemmän ohjelmistoja ja käsittelyn niiden luokista. Tässä asiakirjassa esitellään uusi luokittelumalli, jossa otetaan huomioon heidän määrittämänsä luokittelu, päivitetään ohjelmistoluettelo ja korostetaan julkisesti saatavilla olevia palo-ohjelmistoja. Tässä asiakirjassa otetaan esille tärkeämpiä näkökohtia palo-ohjelmistojen arvioimiseksi. Tällä tavalla luodaan käyttäjien tarpeisiin paremmin sopiva palo-ohjelmistojen valitsemisopas. Yhteensä 172 löytyi ohjelmistoa, joista 27 on julkisesti saatavilla.

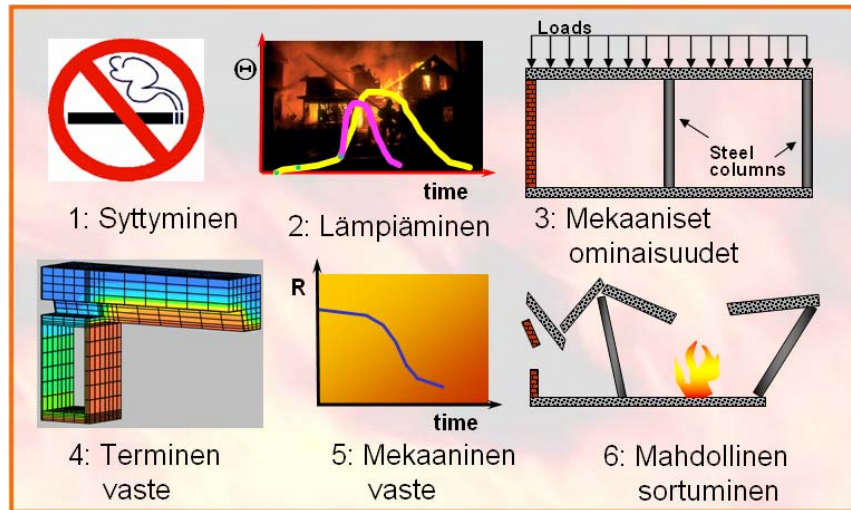
1. JOHDANTO

Rakenteiden paloturvallisuussuunnittelun päämääränä on saada luotettavat laskentamenetelmät turvallisten rakenteiden suunnittelemiseksi palotilannetta varten. Tämän päämäärän saavuttamiseksi on tarpeen demonstroida näiden menetelmien avulla, että rakenne säilyttää kantokykynsä ajan, joka on pitempi kuin aika, joka vaaditaan turvallisuudelle (ks. kuva 1)



Kuva 1. Täytettävät vaatimukset, jotta saavutetaan turvallinen rakenne.

Viimeisten 15 vuoden aikana on ollut paljon projekteja laskentamenetelmien kehittämiseksi määrittämään tulen kohteeksi joutuvan rakenteen kestävyyttä. Kaikki nämä menetelmät ovat heijastuneet Eurokoodeihin ja ne liittyvät erilaisiin tulipalon aikaisiin tapahtumiin (ks. kuva 2, Tapahtumaketju).



Kuva 2. Tulipalon aikainen tapahtumaketju.

Rakenteen turvallisuuden määrittämiseksi tarvitaan myös tietoa selvistä vaatimuksista, mitä rakenteen tulee täyttää. Normaalisti nämä vaatimukset määritetään ajan funktiona. Jokaisessa maassa on normeja ja määräyksiä näistä vaatimuksista (ohjeelliset vaatimukset). Paloturvallisuussuunnittelun kautta on kehitetty erilaisia menetelmiä näiden vaatimusten määrittämiseksi realistisemmalla tavalla (oletettuun paloon liittyvät vaatimukset, ks. kuva 3, vaatimukset).



Kuva 3. Vaatimukset

Jotta saavutetaan nämä kaksi parametriä ($R_{\text{palolle alttiiksi joutuvan rakenteen kestävyys}}$ ja $R_{\text{turvallisuuden vaatima kestävyys}}$) on kehitetty monia palo-ohjelmistoja. On löydetty 172 palo-ohjelmistoa, joista 27 on julkisesti saatavilla.

Tässä asiakirjassa ei vain haluta antaa luetteloa palo-ohjelmistoista, vaan halutaan luoda opas käyttäjän tarpeisiin paremmin soveltuvan palo-ohjelmiston valitsemiseksi. On hyvin tärkeää tietää, mikä on palomalli, mikä on palo-ohjelmisto ja mikä on näiden palomallien soveltamisalue, jotta ne pystyttäisiin arvioimaan.

Palomalli on työkalu joka kuvaa tapahtuman suhteessa tulipaloon, palamisesta evakuointiin ja rakenteiden romahtamiseen (ei vain palon kehitymisprosessi ja savun kulkeutumisprosessi). Kaikki mallit voidaan hajottaa kokeellisiksi malleiksi ja matemaattisiksi malleiksi. Kokeelliset mallit ovat sellaisia, jotka toimivat fyysisessä tai ihmisen käyttäytymiseen liittyvässä tilassa; nämä mallit eivät kuulu tähän raporttiin; kun taas matemaattiset mallit ovat sarja yhtälöitä, jotka kuvaavat jotakin, meidän tapauksissamme tapausta suhteessa tulipaloon. Tässä asiakirjassa tutkitaan viimeksi mainittuja malleja.

Matemaattiset mallit on jaettu deterministisiin ja tilastollisiin malleihin. Ensiksi mainittuja hallitsevat fyysiset, termiset ja kemialliset lait, kun taas tilastollisia malleja eivät nämä lait suoraan hallitse, ne vain tekevät tilastollisia ennusteita tapahtumasta. Näiden yhtälöiden monimutkaisuuden ja tarkkojen tulosten saavuttamiseen tarvittavien suurien toistomäärien takia on käytettävä tietokoneita. Palomitoituksen ohjelmisto on vain työkalu näiden matemaattisten yhtälöiden - sekä determinististen että tilastollisten - ratkaisemiseksi

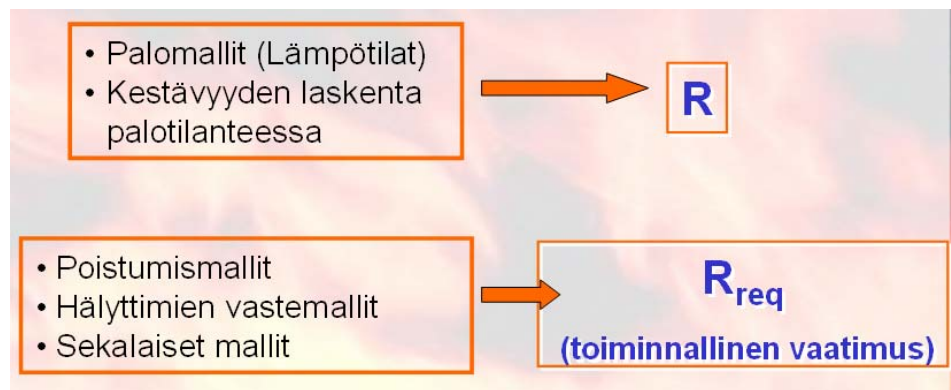
Tulipaloon liittyy monia tapahtumia. Ohjelmistojen arvioimisen helpottamiseksi on otettu käyttöön luokittelun tavallisimpien ohjelmistolla ratkaistavien tapahtumien funktiona (ohjelmiston soveltamiskenttä).

2. PALO-OHJELMISTOJEN LUOKITTELU

Tavallisimmat palo-ohjelmistot kuvaavat savun ja kuumuuden kulkeutumista suljetuissa tiloissa. Näitä ohjelmistoja kutsutaan vyöhykemalleiksi ja kenttämalleiksi. On kuitenkin olemassa muitakin malleja niiden soveltamiskenttien mukaisesti, kuten rakenteiden palonkestävyysmallit ja ilmaisinvastemallit. Olenick & Carpenterin käyttöön ottama luokitus jaetaan kuudeksi soveltamiskenttätyyppiä: rakenteiden palonkestävyys, vyöhyke, kenttä, poistuminen, ilmaisinvaste ja sekalaisista. Tässä alennetaan soveltamiskenttien määrä viiteen yhdistämällä vyöhyke- ja kenttämallit yleisemmäksi ryhmäksi nimeltä ”palotermiset mallit.” Tällä tavalla saadaan luokittelu vain ohjelmiston soveltamiskentän funktiona eikä eri tapahtumien ratkaisuun käytetyn matemaattisen menetelmän funktiona.

Tässä luokittelussa voidaan erottaa kaksi eri ryhmää (ks. kuva 4):

- ensimmäinen liittyy läheisesti rakenteen termiseen ja mekaaniseen vasteeseen palon aikana (ks. kuva 2, tapahtumien ketju)
- toinen keskittyy määrittämään niitä vaatimuksia, joita rakenteen tulee täyttää ollakseen turvallinen tulipalotilanteessa.



Kuva 4. Soveltamiskenttien ryhmät.

2.1 Palotermiset mallit

Tähän soveltamiskenttään löytyy erilaisia ohjelmistoja paloon liittyvän termisen vasteen ratkaisemiseksi tarvittavan menetelmän funktiona. Niiden luokitteluksi noudatetaan EN 1991-1-2:2002 mukaista luokitusta ”Lämpötila-analyysin lämpörasitukset” (ks. kuva 5).

Palomallit		
Normaalit lämpötila-aikakäyrät (Määräyksiin perustuvat)	Standardipalokäyrä ISO834	
	Ulkopuolisen palon käyrä	
	Hiilivetykalokäyrä	
Oletettuun paloon perustuvat mallit (Toiminnalliset määräykset)	Yksikertaiset palomallit	Huonepalomallit
		Paikalliset palot
	Kehittyneet palomallit	Vyöhykemallit
		Virtausmallit

Kuva 5. Lämpötila-analyysin lämpörasitukset - palotermiset mallit.

Tällä tavalla palotermisten mallien luokittelu on seuraava:

- yksinkertaistetut palotermiset mallit; jaettuna huonepaloihin ja paikallisiin paloihin
- vaativat palomallit: jaettuna vyöhykemalleihin ja kenttämalleihin

2.1.1

Yksinkertaistetut palotermiset mallit

Nämä mallit perustuvat erityisiin fyysisiin parametreihin joilla on rajoitettu soveltamiskenttä. Huonepalojen osalta käytetään yhtenäistä lämpötilajakautumaa ja paikallisten palojen osalta epäyhtenäistä lämpötilajakautumaa.

Soveltamiskenttä: Yksinkertaistetut palotermiset mallit			
Malli	Maa	Nro	Lyhyt kuvaus
DIFISEK-CaPaFi	Luxemburg	1	Teräsrakenteen lämpötilan laskeminen, kun sitä kuumentaa 1-5 paikallista palolähdettä. Perustuu EN 1991-1-2, prEN 1993-1-2 ja ECSC projekteihin "Isot huoneet" ja "Suljetut autojen pysäköintipaikat".
DIFISEK-EN 1991-1-2 Liite A	Luxemburg	2	Parametristen lämpötila-aikakäyrien laskeminen huoneilassa ja suojatun ja suojaamattoman teräsrakenteen lämpötila em. parametrisen lämpötila-aikakäyrän mukaan. Perustuu EN-1991-1-2 Liite A ja pr EN 1993-1-2.
DIFISEK-TEFINAF	Luxemburg	3	Katon alla olevan profiiliteräksen lämpötilakentän laskeminen ajan funktiona ja säteetäisellä etäisyydellä palosta. Perustuu raporttiin EUR 18868 "Teräsrakenteiden mitoitussuhteiden kehittyminen rakenteiden altistuessa luonnollisille paloille isoissa huoneiloissa".

Nämä kolme ohjelmistoa on kehittänyt Profil-Arbed ja ne on päivittänyt Profile Arbed Researchers (PARE) tätä projektia varten.

2.1.2

Vaativat palotermiset mallit

2.1.2.1

Vyöhykemallit

Vyöhykemalli on tietokonemalli, joka jakaa tutkimuksen alaisena olevan huoneen (huoneet) eri tilavuuksiin tai vyöhykkeisiin. Tavallisimmat vyöhykemallit jakavat huoneen kahteen vyöhykkeeseen, ylempään kuumaan vyöhykkeeseen ja alempaan kylmään vyöhykkeeseen. Erityisiä vyöhykemallitapauksia ovat yhden vyöhykkeen mallit. Ne pohjautuvat olettamukselle, että ei ole kerroksellisuutta ja palo-osastoa voidaan pitää polttouunina, jossa on homogeeniset ominaisuudet. Eräät vyöhykemallit sisältävät mahdollisuuden vaihtaa kahden vyöhykkeen mallista yhden vyöhykkeen malliksi, kun vaaditut olosuhteet saavutetaan (esim. lieskahdus).

Jotta pystyttäisiin käyttämään näiden mallien perustana olevia yhtälöitä, paloinsinöörien on tehtävä useita olettamuksia. Monet näistä olettamuksista perustuvat kokeellisista testeistä ja malleista saatuihin havaintoihin. Pääolettamukset ovat:

- Savu kerrostuu kahteen erilliseen kerrokseen (kuten voidaan havaita todellisissa paloissa). Kerrosten oletetaan olevan myös kauttaaltaan yhdenmukaisia, mikä ei ole totta, mutta kunkin kerroksen sisäiset erot ovat niin pieniä verrattuna kerrosten välisiin eroihin, että tämä oletamus on siksi hyväksyttävissä.
- Tulipatsas toimii massan (savuhiukkasten) pumppuna ja kuumentaa ylemmän vyöhykkeen. Kuitenkin tulipatsaan oletetaan olevan pieni verrattuna ylempiin ja alempiin vyöhykkeisiin, mikä on itse asiassa merkityksetöntä.
- Suurinta osaa huoneen sisällöstä ei oteta huomioon; kuumuus häviää huonetilaan eikä huonekaluihin. (Eräät vyöhykemallit voivat määrittää liekkien leviämisen pieneen osaan kalusteista).

Syöttötiedot ovat tavallisesti huoneen geometria, huoneen rakenne (sisältäen kaikki seinät, lattiat ja sisäkatot), ilmastointiaukkojen (tai reikien) määrä ja koot, huoneen kalustuksen ominaisuudet ja lämmön luovutuksen nopeus (mikä palaa).

Tulostetiedot ovat tavallisesti ennuste sprinklerin ja paloilmaisimen käynnistysajasta, ajasta lieskahdukseen, ylemmän ja alemman kerroksen lämpötila ja savukerroksen korkeus.

Vyöhykemallit eivät pysty tarkkaan ottamaan huomioon ympäristöstä tulevaa uudelleensäteilyä. Lämmön luovutuksen nopeus ei ole tulos, vaan usein on tehtävä kokeita palon koon määrittämiseksi.

Soveltamiskenttä: Vyöhykemallit			
Malli	Maa	Nro	Lyhyt kuvaus
ARGOS	Tanska	4	Monihuonevyöhykemalli
ASET/ASET B	USA	5	Yhden huoneen vyöhykemalli ilman ilmanvaihtoa
ASMET	USA	6	Atriumin savunhallinnan suunnittelutyökalu
Branzfire	Uusi Seelanti	7	Monihuonevyöhykemalli, joka on täysin integroitu liekkien leviämisen ja palonkehittämismalliin, jota voidaan soveltaa huonepaloskenaarioihin
BRI-2	Japani/USA	8	Kaksikerrosvyöhykemalli monikerroksisten, monihuoneisten tilojen savun kulkeutumiseen
CCFM/Vents	USA	9	Monihuonevyöhykemalli, jossa ilmanvaihto
Cfire-X	Saksa/Norja	10	Vyöhykemalli huonepaloihin, etenkin nestemäisen hiilivedyn allaspaloihin
CiFi	Ranska	11	Monihuonevyöhykemalli
COMPBRN	USA	12	Huonevyöhykemalli
COMPF2	USA	13	Yhden huoneen jälkilieskahdusmalli
DACFIR-3	USA	14	<i>Lentokoneen matkustamon vyöhykemalli</i>
DSLAYV	Ruotsi	15	Yhden huoneen vyöhykemalli
FAST/CFAST	USA	16	Vyöhykemalli ennustamaan ympäristöä osastorakenteessa
FASTLite	USA	17	CFASTin erikosiominaisuuksien rajoittama versio
FFM	USA	18	Esilieskahduksen vyöhykemalli
FIGARO II	Saksa/Norja	19	<i>Vyöhykemalli paikkansapitämättömyyden määrittämiseksi</i>
FIRAC	USA	20	Käyttää FIRINIä ja sisältää monimutkaiset ilmanpoistojärjestelmät
FireMD	USA	21	Yhden huoneen kaksivyöhykemalli
FireWalk	USA	22	Käyttää CFAST-mallia jossa on parannettu visualisointi
FireWind	Australia	23	Monihuonevyöhykemalli jossa useita alamalleja
FIRIN	USA	24	Monihuonevyöhykemalli jossa homeja, puhaltimia ja suotimia
FIRM	USA	25	Yhden huoneen kaksivyöhykemalli
FIRST	USA	26	Yhden huoneen vyöhykemalli jossa ilmanvaihto
FLAMME-S	Ranska	27	Kaksivyöhykemalli
FMD	USA	28	Vyöhykemalli atriumia varten
Harvard/MarkVI	USA	29	Aiempi versio FIRST'istä
HEMFAST	USA	30	Huonekalupallo huoneessa
HYSLAB	Ruotsi	31	Esilieskahdusvyöhykemalli
IMFE	Puola	32	Yhden huoneen malli jossa ilmanpoistoaукот
MAGIC	Ranska	33	<i>Kaksivyöhykemalli ydinvoimaloille</i>
MRFC	Saksa	34	Monihuonevyöhykemalli, savun liike ja rakenteiden lämpökuorma
NAT	Ranska	35	Yhden huoneen vyöhykemalli joka keskittyy rakenteiden vasteeseen
NBS	USA	36	Esilieskahduskaksivyöhykemalli
NRCC1	Kanada	37	Yhden huoneen vyöhykemalli
NRCC2	Kanada	38	Suuren konttoritilan vyöhykemalli
OSU	USA	39	Yhden huoneen vyöhykemalli
Ozone	Belgia	40	Vyöhykemalli joka keskittyy rakenteiden vasteeseen
POGAR	Venäjä	41	Yhden huoneen vyöhykemalli
RADISM	UK	42	Vyöhykemalli johon kuuluu upotettu sisäkattosuihku kelluvassa kerroksessa, sprinklerit ja ilmanpoistoaукот
RFIRES	USA	43	Esilieskahdusvyöhykemalli
R-VENT	Norja	44	Yhden huoneen savunpoistomalli
SFIRE-4	Ruotsi	45	Jälkilieskahdusvyöhykemalli
SICOM	Ranska	46	Yhden huoneen vyöhykemalli
SMKFLW	Japani	47	Yhden kerroksen vyöhykemalli savun kulkeutumiseen rakennuksissa
Smokepro	Australia	48	Yhden huoneen savuvyöhykemalli
SP	UK	49	Jälkilieskahdusvyöhykemalli
WPI-2	USA	50	Yhden huoneen vyöhykemalli
WPIFIRE	USA	51	Monihuonevyöhykemalli
ZMFE	Puola	52	Yhden huoneen vyöhykemalli

Useimmat näistä ohjelmistoista keskittyvät savun ja lämmön siirtymiseen. Niiden soveltaminen rakenteiden palosuunnitteluun on sidottu vain kaasun lämpötilan määrittämiseen (jotta määritettäisiin seuraavassa vaiheessa kantavien rakenneosien lämpötila). Lihavalla merkityt ohjelmistot keskittyvät suoraan rakenteiden mitoitukseen tulipalotapauksissa. Kursiivilla merkityt ohjelmistot keskittyvät erikoistapauksiin ja niiden soveltaminen rakenteiden palosuunnitteluun on hyvin vähäistä. Kolme muuta mallia on löydetty, mutta niistä ei ole saatu tietoja: CISNY (Venäjä), FirePro (UK) ja FireWalk (USA).

2.1.2.2

Kenttämallit

Kenttämalli edustaa palosuojelusuunnittelun kärkeä. CFD-malli soveltaa tutkimuksen alla olevaa 3-ulotteista suljetun tilan perusohjaustilavuuksien rasteria. Nämä ohjaustilavuudet ovat samoja kuin vyöhykemalleissa käytetyt, mutta missä vyöhykemallissa pitää olla kaksi tai kolme vyöhykettä, CFD-mallissa on satojatuhansia ohjaustilavuuksia.

CFD-mallintaminen ratkaisee ajasta riippuvaisia differentiaaliyhtälöitä (tunnetaan Navier-Stokes -yhtälöinä) jokaiselle ohjaustilavuudelle. Tämä yksityiskohtainen lähestymistapa on paljon vaikeampi ja aikaa vievä, mutta Navier-Stokes -yhtälöitä rajoittaa vain ongelman rajapinta. Tämä sallii vähemmän olettamuksia ja monimutkaisemman tilageometrian.

Syöttötiedot ovat yksityiskohtainen huonegeometria, huoneen rakenne (sisältäen kaikki seinät, lattiat ja sisäkatot), ilmanpoistoaukkojen (tai reikien) määrä ja koko, huoneen kalustuksen ominaispiirteet, polttoaineen/palamisen ominaispiirteet, pyörteiden parametrit ja säteilyn parametrit.

Tulostetiedot ovat savun ja lämmön liike/nopeus, ennuste sprinklerin ja paloilmatisimen käynnistysajasta, aika leiskahdukseen, alueen lämpötilat, nopeudet, savukerroksen korkeus ja luonteenomainen myötö.

CFD vaatii suuren määrän tietokoneaikaa, koska valvontatilavuuksien määrän kasvaessa kasvaa myös tietokoneaika. Tiedot parametrit oletetaan; CFD-mallit pitää vahvistaa ennen kuin niihin voidaan täysin luottaa.

CFD-malleja voidaan käyttää monimutkaiseen geometriaan (kuten käyriin seiniin). CFD-mallintamista käytetään laajasti muilla suunnittelukentillä (esim. mekaaninen ja ilmatila). Tämä tarkoittaa sitä, että useat insinöörit, paljon useammat kuin vyöhykemallintamisessa, voivat testata, kehittää ja tarkistaa CFD-koodeja.

Soveltamiskenttä: Kenttämallit (CDF)			
Malli	Maa	Nro	Lyhyt kuvaus
ALOFT-FT	USA	53	Savun liike suurista ulkoilmapaloista
CFX	UK	54	Yleistarkoituksiin oleva CFD-ohjelmisto
FDS	USA	55	CFD-koodi erityisesti paloon liittyville virtauksille
FIRE	Australia	56	CFD-malli jossa vesisuihkut ja kytkentä kiinteä/nestefaasi polttoaineeseen ennustamaan palamisnopeutta ja sammutusprosessia
FISCO-3L	Saksa/Norja	57	Yhden huoneen kenttämalli kuvaamaan sprinklersuihkujen vuorovaikutusta palokaasuihin ilmanvaihdon ollessa keinotekoinen tai luonnollinen
FLUENT	USA	58	Yleistarkoituksiin oleva CFD-ohjelmisto
JASMINE	UK	59	CFD-malli palon ja savun leviämislle
KAMALEON	Norja	60	CFD-malli palolle yhdistettynä elementtimenetelmän koodiin rakenteiden lämpövasteita varten
KOBRA-3D	Saksa	61	CFD-malli lämmön siirtymiselle ja savun leviämislle
MEFE	Portugali	62	CFD-malli yhdelle tai kahdelle huoneelle sisältäen lämpöparien aikavasteen
PHOENICS	UK	63	Yleistarkoituksiin oleva CFD-malli
RMFIRE	Kanada	64	2-dimensionaalinen kenttämalli savun liikkeen lyhytaikaiseen laskentaan
SMARTFIRE	UK	65	Palokenttämalli
SmokeView	USA	66	Työkalu FDS-tietojen visualisointiin
SOFIE	UK/Ruotsi	67	CFD-malli palon ja savun leviämislle
SOLVENT	USA	68	<i>CFD-malli lämmön siirtymislle ja savun leviämislle tunnelissa</i>
SPLASH	UK	69	Kenttämalli kuvaamaan sprinklersuihkujen vuorovaikutusta palokaasujen kanssa
STAR-CD	UK	70	Yleistarkoituksiin oleva CFD-malli
TUNFIRE	UK	71	<i>CFD-malli lämmön siirtymislle ja savun leviämislle tunnelissa</i>
UNSAFE	USA/Japani	72	Kenttämalli ulko- ja sisäpaloille

Useimmat näistä ohjelmistoista keskittyvät savun ja lämmön siirtymiseen palotilanteessa. Niiden soveltaminen rakenteiden palosuunnitteluun liittyy vain lämpötilan määrittämiseen kantavissa rakenneosissa. Lihavalla painetut ohjelmistot ovat CFD-koodeja yleistarkoituksiin. Kursiivilla merkityt ohjelmistot keskittyvät erikoistapauksiin ja niiden soveltaminen rakenteiden palosuunnitteluun on hyvin vähäistä. On löydetty kolme muuta mallia, mutta tietoja niistä ei ole saatu: STREAM (Japani), VESTA (Alankomaat) ja FLOTRAN (USA).

2.2

Rakenteiden palonkestävyysmallit

Nämä mallit simuloivat palolle alttiina olevien rakennusten kantavien rakenneosien vastetta. Niiden pääasiallinen tarkoitus on määrittää palon kohteena olevien osien murtumisaika. Niitä hallitsevat termiset ja mekaaniset lait.

Palotermisten mallien tavoin on löydetty menetelmän funktiona erilaisia ohjelmistotyyppisiä, joita käytetään ratkaisemaan paloon liittyvää mekaanista vastetta. Niiden luokitteluksi noudatetaan Eurokoodien luokitusta (EN-1991-1-2 ja prEN 1993-1-2:2003) suunnittelumenetelmien osalta (ks. kuva 6).

Tällä tavalla rakenteiden palonkestävyysmallien luokittelu on jaettu yksinkertaistettuihin ja vaativiin rakenteiden palonkestävyysohjelmistoihin.

Syöttötiedot ovat tavallisesti kantavien rakenneosien materiaalisia ominaisuuksia ja reunaehtoja (mukaan lukien palokuormat).

Tulostetiedot ovat murtumisaika, osien jännitykset ja siirtymät.

Rakenteiden suunnittelumenettely			Taulukoitu tieto	Yksinkertaiset laskentamenetelmät	Vaativat menetelmät
Ohjeisiin perustuvat määräykset	Rakenneosan analyysi	Mekaanisten kuormien ja rajojen laskeminen	kyllä	kyllä	kyllä
	Rakenteen osan analyysi		ei	kyllä (jos saatavilla)	kyllä
	Koko rakenteen analyysi	Mekaanisten kuormien valinta	ei	ei	kyllä
Suoritukseen perustuvat määräykset	Rakenneosan analyysi	Mekaanisten kuormien ja rajojen laskeminen	ei	kyllä (jos saatavilla)	kyllä
	Rakenteen osan analyysi		ei	ei	kyllä
	Koko rakenteen analyysi	Mekaanisten kuormien valinta	ei	ei	kyllä

Kuva 6. Rakenteiden suunnittelumenetelmien luokitus.

2.2.1

Yksinkertaistetut rakenteiden palonkestävyysmallit

Nämä mallit laskevat rakenteen osien rakenteellisen käyttäytymisen yksilöllisellä tavalla, kukin kantava rakenneosa eristetään muusta rakenteesta. Mallit perustuvat yksinkertaistettuihin menetelmiin. Eräät niistä on yhdistetty vyöhyke- ja kenttämalleihin.

Soveltamiskenttä: Yksinkertaistetut rakenteiden palonkestävyysmallit			
Malli	Maa	Nro	Lyhyt kuvaus
AFCB	Luxemburg	73	Liittopalkkien palomitoitus Eurocode 4 mukaan
AFCC	Luxemburg	74	Liittopilarin palomitoitus Eurocode 4 mukaan
COMCOL	Suomi	*	Liittopilarin mitoitus Eurocode 4 mukaan
Combeam	Suomi	*	Liitopalkin mitoitus Eurocode 4 mukaan
Comslab	Suomi	*	Liittolaatan mitoitus Eurocode 4 mukaan
WINRAMI	Suomi	*	Tasokehän ja ristikon mitoitus Eurocode 3 mukaan
<i>CIRCON</i>	<i>Kanada</i>	75	<i>Palonkestävä malli raudoitetuille betonipylväille joilla on pyöreä poikkileikkaus</i>
COFIL	Kanada	76	Pyöreiden teräksisten, raudoittamattomalla betonilla täytettyjen putkipalkkien palonkestävyys
Elefir	Belgia	77	Teräksisten kantavien rakenneosien palonkestävyys Eurocode 3:n mukaan
H-Fire	Saksa	78	Palolle altistuvien liittorakenteiden mitoituskäytävyyksien laskeminen käyttämällä EN 1994-1-2:n yksinkertaisia laskentamalleja
INSTAI	Kanada	79	Eristettyjen pyöreiden onttojen teräspilarin palonkestävyys
INSTCO	Kanada	80	Pyöreiden betonilla täytettyjen teräksisten putkiprofiilien palonkestävyys
POTFIRE	Ranska	81	Betonilla täytettyjen putkipalkkien palonkestävyys - Eurocode 4:n

*Ei numerointia, lisätty käännöksen yhteydessä.

Kursiivilla merkityt ohjelmistot ovat voimassa vain betonisille kantaville rakenneosille.

2.2.2

Vaativat rakenteiden palonkestävyysmallit

Nämä mallit voivat simuloida rakenteen osaa tai koko rakennetta staattisella tai dynaamisella tavalla, jolloin saadaan tietoa mahdollisesta koko rakennuksen sortumisajasta. Nämä ohjelmistot perustuvat elementtimenetelmään ja ovat usein yleistarkoituksia varten.

Soveltamiskenttä: Vaativat rakenteiden palonkestävyyssmallit			
Malli	Maa	Nro	Lyhyt kuvaus
ABAQUS	USA	86	Yleistarkoituksia varten oleva elementtimenetelmäkoodi
ALGOR	USA	87	Yleistarkoituksia varten oleva elementtimenetelmäkoodi
ANSYS	USA	88	Yleistarkoituksia varten oleva elementtimenetelmäkoodi
BoFire	Saksa	89	BoFire on lyhytaikainen, epälineaarinen lisäkoodi tietokoneelle, joka perustuu elementtimenetelmään. Materiaalin ominaisuuksien vuoksi toteutetaan termiset ja mekaaniset määritelmät ENV 1994-1-2 mukaan. Analyysi voidaan tehdä teräkselle, betonille ja komposiittiteräs- ja betonirakenteille.
BRANZ-TR8	Uusi Seelanti	90	<i>Tämä ohjelma on raudoitettujen tai esijännitettyjen betonisten lattiajärjestelmien palonkestävyyden analysoimiseksi.</i>
CEFICOSS	Belgia	91	Palonkestävyyssmalli
CMPST	Ranska	92	Poikkileikkausten mekaaninen kestävyys korkeissa lämpötiloissa
COMPSL	Kanada	93	<i>Monikerroksisten laattojen lämpötilat niiden altistuessa palolle</i>
COSMOS	USA	94	Yleistarkoituksiin oleva elementtimenetelmäkoodi
FASBUS	USA	95	Palolle altistuneen kantavan rakenneosan mekaaninen kestävyysmalli
FIRES-T3	USA	96	Elementin lämmön siirtyminen 1, 2 tai 3D johtumisessa
HSLAB	Ruotsi	97	Lyhytaikainen lämpötilan kehitys kuumentuksessa laatassa, joka koostuu yhdestä tai useista materiaaleista
LENAS	Ranska	98	Palolle altistuneiden teräsrakenteiden mekaaninen käyttäytyminen
LUSAS	UK	99	Yleinen suunnitteluanalyysin ohjelmisto
NASTRAN	USA	100	Yleistarkoituksiin oleva elementtimenetelmäkoodi
SAFIR	Belgia	101	Palolle altistuneiden rakenteiden lyhytaikainen ja mekaaninen analyysi
SAWTEF	USA	102	Palolle altistuneiden metallilevyllä yhdistettyjen puisten kattoristikoiden rakenteiden analyysi
SISMEF	Ranska	103	Palolle altistuneiden teräksisten ja betonisten komposiittirakenteiden mekaaninen käyttäytyminen
STA	UK	104	Lyhytaikainen johtuminen kuumentuneissa kiinteissä rakenneosissa
STELA	UK	105	3-dimensionaalinen äärellinen tilavuusmalli integroituna JASMINEen ja SOFIEhin laskemaan kantavien rakenneosien termistä vastetta palokaasuille
TASEF	Ruotsi	106	Äärellinen rakenneosakoodi palolle altistuneiden rakenteiden lämpötila-analyysiin
TCSLBM	Kanada	107	<i>2-dimensionaalinen lämpötilan jakautuminen palolle altistuneissa sementtisisä laatta/palkki yhdistelmissä</i>
THELMA	UK	108	Äärellinen rakenneosakoodi palolle altistuneiden rakenteiden lämpötila-analyysiin
TR8	Uusi Seelanti	109	<i>Sementtisten laattojen ja lattiajärjestelmien palonkestävyys</i>
VULCAN	UK	110	3-dimensionaalinen rungon analyysiohjelma joka on kehitetty pääasiassa mallintamaan teräksisten ja komposiittirunkorakenteiden käyttäytymistä mukaan lukien välipohjan betonilevyt palon aikaisissa olosuhteissa
WALL2D	Kanada	111	<i>Malli ennustamaan lämmön siirtymistä puurankoväliseinien läpi palolle altistuttaessa</i>

Kursiivilla merkityt ohjelmistot eivät ole voimassa teräsrakenteille. Lihavalla painetut ohjelmistot ovat elementtimenetelmäkoodeja yleistarkoituksiin. Kaksi muuta mallia on löydetty, mutta niistä ei ole saatu tietoja: HEATING ja TAS (USA).

2.3

Poistumismallit

Poistumismallit ennustavat rakennuksen evakuointiin vaadittavaa aikaa. Nämä mallit ovat yleensä käytössä suoritukseen perustuvissa mitoitusanalyysissä vaihtoehtoista mitoitusta varten ja määrittämään ruuhka-alueiden paikkoja evakuoinnin aikana.

Eräät näistä malleista on yhdistetty vyöhyke- tai kenttämalleihin määrittämään ihmisille kriittisten olosuhteiden alkamiseen rakennuksessa.

Pisimmälle kehittyneet sisältävät myös mielenkiintoisia ominaisuuksia, kuten palon psykologinen vaikutus asukkaisiin, ilman myrkyllisyyden vaikutus tai huononevan näkyvyyden vaikutus. Joillakin näistä on myös hyödyllisiä graafisia ominaisuuksia, jotka näyttävät ihmisten liikkumista evakuointiprosessin aikana.

Syöttötiedot ovat tavallisesti rakennuksen miehitys, rakennuksen geometria (ulosmenoaukot, portaikot, hissit, käytävät jne).

Tulostetiedot ovat tavallisesti rakennuksen evakuointiin tarvittava aika ja ruuhka-alueiden sijainti.

Nämä ovat yleensä tilastollisia malleja.

Soveltamiskenttä: Poistuminen			
Malli	Maa	Nro	Lyhyt kuvaus
AEA EGRESS	USA	112	Asukkaiden poistumisen analyysi
ALLSAFE	Norja	113	Poistumismalli mukaan lukien inhimilliset tekijät
ASERI	Saksa	114	Ihmisten liikkuminen monimutkaisessa geometriassa mukaan lukien savun ja palon leviämistekijät
BGRAF	USA	115	Hätäpoistumismalli johon liittyy satunnaismalli inhimillisestä päätöksestä
EESCAPE	Australia	116	Monikeroksisten rakennusten evakuointi portaikkojen kautta
EGRESS	UK	118	Poistumismalli monimutkaiselle geometrialle mukaan lukien visualisointi
EGRESSPRO	Australia	119	Poistumismalli mukaan lukien sprinklerien ja ilmaisinten käynnistyminen
ELVAC	USA	120	Monikeroksisten rakennusten evakuointi hissejä käyttäen
EVACNET	USA	121	Määrittää optimaalisen evakuointisuunnitelman
EVACS	Japani	122	Evakuointimalli optimaalisen mitoituksen määrittämiseksi
EXIT89	USA	123	Korkeiden rakennusten evakuointi
EXITT	USA	124	Solmu- ja kaarityyppinen poistumismalli mukaan lukien ihmisten käyttäytyminen
EXODUS	UK	125	Evakuointityökalu turvallisuusteollisuudelle
GRIDFLOW	UK	126	Poistumissimulaatio ajalle, jonka asukkaat tarvitsevat monikeroksisten talojen jokaisen kerroksen tyhjentämiseen ja koko rakennuksen tyhjentämisaika
PATHFINDER	USA	127	Poistumismalli
PEDROUTE	UK	128	Jalankulkijoiden simulaatiomalli
SEVE_P	Ranska	129	Poistumismalli, jossa graafiset tulosteet mukaan lukien esteet
SIMULEX	UK	130	Koordinaatioon perustuva poistumismalli
STEPS	UK	131	Simulaatio-ohjelmisto jalankulkijoiden liikkumisesta - 3D visualisaatio
WAYOUT	Australia	132	FireWind-paketin poistumisosa

Viisi muutakin mallia on löydetty, mutta niistä ei ole saatu tietoja: BFIRE, ERM, Magneettinen simulaatio, Takashi's Fluid Model ja VEGAS (UK).

2.4

Ilmaisinvastemallit

Ilmaisinvastemallit määrittävät ajan aktiivisen paloturvallisuuslaitteen, kuten lämpöilmaisimen, sprinklerin tai savuilmaisimen käynnistymiseen.

Nämä mallit käyttävät vyöhykelähestymistä laskemaan savun ja lämmön siirtymistä ja käyttävät muita malleja määrittämään lämpöilmaisinten herkkyyttä lämmön ja savun virtaukselle. Lyhyesti nämä mallit käyttävät yksinkertaistettua mallintamista ja laskevat lämmön siirtymisen ilmaisimen kennoon käynnistymisaikan määrittäkkeksi.

Syöttötiedot ovat tavallisesti ilmaisimen kennon analysoimisominaisuudet, ilmaisimen sijainti ja lämmön kehityksenopeus palossa. Pisimmälle kehittyneissä malleissa tarvitaan huoneiden geometriaa ja niiden materiaaleja.

Tulostetietona on laitteen käynnistymisaika ja pisimmälle kehittyneissä malleissa laitteen käynnistymisen vaikutus.

On tärkeää valita oikea malli, koska eräät malleista ovat voimassa vain tasaisille katoille.

Soveltamiskenttä: Ilmaisinvastemallit			
Malli	Maa	Nro	Lyhyt kuvaus
ASCOS	USA	133	Savunvalvontajärjestelmien analyysi
DETECT-QS	USA	134	Laskee lämpöilmäsimen käynnistysajan vapaissa katoissa, mielivaltainen palo
DETECT-T2	USA	135	Laskee lämpöilmäsimen käynnistysajan vapaissa katoissa, t2 palo
FPETOOL	USA	136	Sarja suunnitteluhytälöitä jotka ovat hyödyllisiä arvioitaessa potentiaalista palovaaraa ja tilan ja palosuojelujärjestelmien herkkyyttä kehittyvälle vaaralle
G-JET	Norja	137	Savunilmaisumalli
JET	USA	138	Malli ilmaisimen käynnistymisen ja kaasun lämpötilan ennustamiseksi savukerroksessa
LAVENT	USA	139	Sprinklerikytkentöjen herkkyys huonepaloissa, kun on verhoja ja kattoilmanpoistoaukkoja
PALDET	Suomi	140	Sprinklerien ja paloilmäsimien herkkyys vapaissa katoissa
SPARTA	UK	141	Sprinklerin hiukkasten jäljitys malli integroituna JASMINEen sprinklerien vaikutuksen arvioimiseksi palokaasuihin
SPRINK	USA	142	Sprinklerin herkkyys kerrosvarastopaloissa
TDISX	USA	143	Varastojen sprinklerien herkkyys

Yksi muu malli on löydetty, mutta siitä ei ole saatu tietoja: HAD.

2.5

Sekalaista

On eräitä malleja, jotka liittyvät palosuunnitteluun, mutta jotka eivät sisälly edellisiin ryhmiin. Eräillä niistä on ominaisuuksia, jotka täyttävät useamman ryhmän kuin yhden tunnusmerkkejä ja eräät toiset käsittelevät palojen erityisiä näkökohtia, jotka eivät sisälly muihin ryhmiin. Näitä malleja kutsutaan sekalaisiksi malleiksi.

Useat näistä malleista ovat tietokoneohjelmia, jotka sisältävät monia alamalleja ja joita siksi voidaan käyttää useissa edellä luetelluissa sovelluskentissä. Ne ovat erillisten mallien muodostamia tietokonepaketteja, joista kukin käsittelee jotakin yksittäistä palon näkökulmaa.

Soveltamiskenttä: Sekalaiset mallit			
Malli	Maa	Nro	Lyhyt kuvaus
ALARM	UK	144	Taloudellinen optimointi koodin kanssa yhteensopivista toimenpiteistä
ASKFRS	UK	145	Mallipaketti mukaan lukien vyöhykemalli
BREAK1	USA	146	Ikkunan herkkyys palolle
BREATH	UK	147	Epäpuhtauksien hajonta huoneiden verkostossa jossa koneellinen ilmanvaihto
Brilliant	Norja	148	CFD-malli yhdistettynä analyttisiin malleihin
COFRA	USA	149	Palovaaran arviointimalli
CONTAMW	USA	150	Ilmanvirtausmalli
CRISP	UK	151	Palon vyöhykemalli poistumisineen ja vaaran arviointineen
FIERAsystem	Kanada	152	Vaaran arviointimalli johon sisältyy sarja korrelaatioita
FireCad	USA	153	CFASTin etuosa
FIRECAM	Kanada	154	Vahingonvaaran arviointi
FIREDEMND	USA	155	Määrittää vedentarpeen palon sammuttamiseksi
FIRESYS	Uusi Seelanti	158	Ohjelmapaketti suoritukseen perustuvilla koodeilla työskentelemiseksi
FIREX	Saksa	159	Yksinkertaiset vyöhykemallit yhdistettynä empiiriseen korrelaatioon
FIVE	USA	160	Palon aiheuttaman haavoittuvuuden arviointi
FRAME	Belgia	161	Palovaaran arviointimalli
FREM	Australia	162	Palovaaran arviointimalli
FriskMD	USA	163	Varaan perustuva versio vyöhykemallista FireMD
HAZARD I	USA	164	Vyöhykemalli jolla laajat poistumisen ominaisuudet
JOSEFINE	UK	165	Integroitu palon rajapinta vyöhyke- ja CFD-malleihin ja poistumis- ja vaaransimulaatiomallit
MFIRE	USA	166	Kaivoksen ilmanvaihtojärjestelmät
RadPro	Australia	167	Palon säteilymalli
Risiko	Sveitsi	168	Vaaran arviointimalli
RISK-COST	Kanada	169	Odotettu hengenvaara ja kustannukset jotka liittyvät paloon
RiskPro	Australia	170	Vaaran arvojärjestyksen malli (ranking)
SMACS	USA	171	Savun liikkuminen ilmastointijärjestelmien kautta
SPREAD	USA	172	Ennustaa seinällä syttyneen palon palamisnopeuden ja palon leviämisen nopeuden
ToxFED	UK	173	Mitättömän pienen hyötyannoksen (FED) laskeminen savukerokselle ominaisista ainespitoisuuksista
UFSG	USA	174	Ennustaa liekin leviämisen ja kasvun ylöspäin hiiltymättömissä ja hiiltyvissä materiaaleissa
WALLEX	Kanada	175	Lämmön siirtymisen laskeminen ikkunan palopatsaasta ikkunan yläpuoliseen seinään

Yksi muu malli on löydetty, mutta siitä ei ole saatu tietoja: Dow indices (USA).

2.6

Julkisesti saatavilla olevat palo-ohjelmistot

Kaikista tässä tutkimuksessa löydettyistä ohjelmistoista 27 on julkisesti ilmaiseksi saatavilla. Nämä ohjelmistot on luetteloitu seuraavassa taulukossa:

Julkisesti saatavilla palo-ohjelmistot			
Malli	Soveltamiskenttä	Nro	Saatavilla:
DIFISEK-CaPaFi	Palotermiset mallit - yksinkertaistetut	1	www.sections.arcelor.com
DIFISEK-EN 1991-1-2 Liite A	Palotermiset mallit - yksinkertaistetut	2	www.sections.arcelor.com
DIFISEK-TEFINAF	Palotermiset mallit - yksinkertaistetut	3	www.sections.arcelor.com
ASET/ASET-B	Palotermiset mallit - vyöhyke	5	www.fire.nist.gov
ASMET	Palotermiset mallit - vyöhyke	6	www.fire.nist.gov
CCFM/Vents	Palotermiset mallit - vyöhyke	9	www.fire.nist.gov
FAST/CFAST	Palotermiset mallit - vyöhyke	16	www.fire.nist.gov
FIRST	Palotermiset mallit - vyöhyke	26	www.fire.nist.gov
OZONE	Palotermiset mallit - vyöhyke	40	www.ulg.ac.be www.sections.arcelor.com
ALOFT-FT	Palotermiset mallit - kenttä	53	www.fire.nist.gov
FDS	Palotermiset mallit - kenttä	55	www.fire.nist.gov
Smoke/View	Palotermiset mallit - kenttä	66	www.fire.nist.gov
AFCB	Rakenteiden palonkestävyys - yksinkertaistettu	73	www.sections.arcelor.com
AFCC	Rakenteiden palonkestävyys - yksinkertaistettu	74	www.sections.arcelor.com
ELEFIR	Rakenteiden palonkestävyys - yksinkertaistettu	77	www.ulg.ac.be
H-Fire	Rakenteiden palonkestävyys - yksinkertaistettu	78	www.stahlbau.uni-hannover.de
POTFIRE	Rakenteiden palonkestävyys - yksinkertaistettu	81	www.cidect.org
ELVAC	Poistuminen	120	www.fire.nist.gov
EVACNET	Poistuminen	121	http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet
ASCOS	Ilmaisimen vaste	133	www.fire.nist.gov
DETECT-QS	Ilmaisimen vaste	134	www.fire.nist.gov
DETECT-T2	Ilmaisimen vaste	135	www.fire.nist.gov
FPETOOL	Ilmaisimen vaste	136	www.fire.nist.gov
JET	Ilmaisimen vaste	138	www.fire.nist.gov
LAVENT	Ilmaisimen vaste	139	www.fire.nist.gov
BREAK1	Sekalaista	146	www.fire.nist.gov
FIREDEMND	Sekalaista	155	www.fire.nist.gov

3. ARVIOITAVAT NÄKÖKOHDAT

Palomitoitusohjelmistojen arvioitavat päänäkökohdat ovat:

- laskentametodologia - käytetyt fyysiset ja matemaattiset mallit
- ohjelmistojen dokumentointi
- käyttäjän näkökohdat

3.1 Laskentametodologia - käytetyt fyysiset ja matemaattiset mallit

Laskentametodologian tärkein käsite on ohjelmiston laskelmien suorittamiseen käyttämä *formulointi*. Nämä formuloinnit perustuvat normaalisti fyysisiin tai termisiin lakeihin tai kokeellisiin tietoihin ja teorioihin. Ohjelmiston luotettavuus riippuu vahvasti käytetyn formulaation tarkkuudesta ja todenmukaisuudesta.

On mahdotonta ottaa huomioon kaikkia muuttujia suhteessa tapahtumaan sen laskemiseksi, laskelmien suorittamiseksi on tehtävä olettamuksia. Ohjelmiston soveltamat *olettamukset* laskelmien suorittamiseksi ovat selkeästi tärkeä käsite ohjelmiston tarkkuuden arvioimiseksi.

Sekä käytetty formulointi ja sovelletut olettamukset rajoittavat ohjelmiston monikäyttöisyyttä. *Ohjelmiston rajoitukset* eivät ole vain näiden käsitteiden määrittämiä. On muitakin käsitteitä, kuten mallin koko ja geometrian monimutkaisuus, jotka myös rajoittavat ohjelmistoa. Nämä rajoitukset ilmoittavat, sopiiko ohjelmisto hyvin tutkittavaan tapaukseen vai ei.

3.2 Ohjelmiston dokumentointi

Kun aletaan käyttää ohjelmistoa, on hyvin tärkeää, että siitä on selvät tiedot. Tärkeimmät dokumentit ovat *Käyttäjän opas*, *Tekniset oppaat*, *julkaisut ja kelpoisuusesimerkit*. Näiden asiakirjojen laatu ja selkeys tulevat olemaan hyvin tärkeitä ohjelmiston oikeassa käytössä ja siksi saatujen tulosten luotettavuuden ja tarkkuuden kannalta.

3.3 Käyttäjän näkökannat

Näillä näkökannoilla ei ole mitään yhteyttä ohjelmiston luotettavuuden ja tarkkuuden kanssa, mutta niillä on suuri merkitys ohjelmistoa käyttäessä. Hyvä *käyttöliittymä* antaa määritellä syöttötiedot helpolla tavalla ja välttää virheitä tämän prosessin aikana; *syöttötieto- ja tulosteraportointi* on hyvin tärkeää tulosten analysoinnin helpottamiseksi ja hyvä *grafikka* antaa paremman kuvan simuloidusta tapahtumasta. Nämä kolme käsitettä tekevät ohjelmiston käyttäjäystävälliseksi ja voivat vähentää virheitä ja tulosten raportointiaikaa.

4. EVALUOIDUT OHJELMISTOT

Tämän projektin aikana on saatu paljon tietoja erilaisista palomitoitus-ohjelmistoista. Löydettyjen ohjelmistojen suuren määrän takia on tutkimukseen valittu 14 ohjelmistoa. Näistä ohjelmistoista on kerätty tiedot niiden syvällistä arviointia varten (ks. kohta 3) ja tiedot on pantu tekstiformaattiin (Liite I.). Lisäksi on luotu tietokanta kaikesta tästä tiedosta ja lisätty siihen arvioimattomat ohjelmistot (viimeksi mainittujen on koottu vain yleistiedot). Tämä tietokanta on saatavilla DIFISEK-partnereiden verkkosivuilla (Suomessa www.terasrakenneyhdistys.fi).

4.1

Kootut tiedot kustakin ohjelmistosta tekstiformaatissa

- Ohjelmiston tunnistaminen (yleistiedot): nimi, versio, vuosi, soveltamiskenttä, maa, tekijä(t), organisaatio(t), järjestelmän vaatimukset, tietokonekieli, koko, mistä saatavilla, yhteystiedot ja kuvaus.
- Arvioinnin näkökulmat:
 - o laskentametodologia: käytetty formulointi, sovelletut oletukset ja rajoitukset
 - o dokumentointi: Käyttäjän opas, tekniset oppaat, julkaisut ja kelpoisuusesimerkit
 - o käyttäjän näkökannat: liittymä, syöttö/tulosteraportointi ja grafiikka
- Johtopäätökset: edellä lueteltujen arviointinäkökulmien arviointi ja käyttäjätason vaatimukset.

4.2

Perinpohjaisesti arvioidut 14 ohjelmistoa

- Termiset palomallit (4):
 - o Yksinkertaistetut termiset palomallit (1): DIFISEK-EN 1991-1-2 Liite A
 - o Vaativat termiset palomallit (3): FAST/CFAST and OZONE (vyöhyke) ja FDS (kenttä)
- Rakenteiden palonkestävyysmallit (7)
 - o Yksinkertaistetut rakenteiden palonkestävyysmallit (5): AFCB, AFCC, Elefir, H-Fire ja Potfire
 - o Vaativat rakenteiden palonkestävyysmallit (2): Abaqus ja BoFire
- Poistumismallit (1): Evacnet4
- Ilmaisinvastemallit (2): Detact-Qs ja Jet

Katso Liite I ja tietokanta.

LIITE I: OHJELMISTOT (Vain englanniksi)

1.1 DIFISEK-EN 1991-1-2 Annex A

1.1.1 General information (ID Number: 2)

- Name: Difisek-EN 1991-1-2 Annex A
- Version: 1
- Year: 2004
- Application Field: Fire Thermal Models - Simplified
- Country: Luxembourg
- Author/s: L.G. Cajot; M. Haller
- Organisation/s: **Arcelor LCS Research Centre**
- Language: English
- System requirements: Windows
- Size: 2.26 MB
- Cost: Free
- Available in: www.sections.arcelor.com

Description:

Calculation of the parametric temperature-time curves in a compartment and the temperature of a protected and unprotected steel member submitted to that parametric temperature-time curve. Based on EN 1991-1-2 Annex A and prEN 1993-1-2.

1.1.2 Evaluation aspects:

Calculation methodology:

- Formulation Used: See EN 1991-1-2 Annex A and prEN 1993-1-2
- Assumptions adopted: It is assumed that the fire load of the compartment is completely burnt out. If fire load densities are specified without specific consideration to the combustion behaviour, then this approach should be limited to fire compartments with mainly cellulosic type fire loads.
- Limitations: The temperature-time curves used are valid for fire compartments up to 500 m² of floor area, without openings in the roof and for a maximum height of 4 m.

Documentation:

See EN 1991-1-2 Annex A and prEN 1993-1-2

User's aspects:

- Interface: Windows, Excel
- Input/Output reporting is given by simply Excel-files.
- Graphics: Excel graphics

1.1.3 Conclusions:

- Reliable calculation methodology
- Documentation: EN 1991-1-2 Annex A and prEN 1993-1-2
- User-friendly
- User knowledge level required: Low

1.2 FAST/CFAST:

1.2.1 Software identification (ID Number 16):

- Name: FAST/CFAST
- Version: FAST 3.1.7/CFAST 5.1.1
- Year: 2004
- Application Field: Zone model
- Country: US
- Author/s: Walter W. Jones
- Organisation/s: NIST – National Institute of Standards and Technology
- System requirements: A 386 or later compatible PC; 4 MB of free extended memory; VGA compatible graphics display.
- Computer Language: FORTRAN/C
- Size: FAST 11.1 MB / CFAST 6.73 MB
- Available in: www.fast.nist.gov or www.nfpa.org
- Contact information: www.fast.nist.gov or contact with Walter W. Jones by e-mail wwj@nist.gov

Description:

FAST is a collection of procedures, which builds on the computer model CFAST to provide a engineering estimation of fire hazard in compartment structures. The major functions provided include calculation of:

- The production of enthalpy and mass (smoke and gases) by one or more burning objects in one room, based on small or large scale measurements.
- The buoyancy-driven as well as forced transport of this energy and mass through a series of specified rooms and connections (doors, windows, ducts,...).
- The resulting temperatures, smoke optical densities, and gas concentration after accounting for heat transfer to surfaces and dilution by mixing with clean air.

CFAST is a two-zone model used to calculate the evolving distribution of smoke and fire gases and the temperature throughout a building during a fire. Version 3.1.6 models up to 30 compartments, a fan and duct system for each compartment, 31 individual fires, up to one flame-spread object, multiple plumes and fires, multiple sprinklers and detectors, and the ten species considered most important in toxicity of fires including the effective fatal dose. The geometry includes variable area-height relations, ignition of multiple objects such as furniture, thermophysical and pyrolysis databases, multi-layered walls, ignition through barriers and vents, wind, the stack effect, building leakage, and flow through holes in floor-ceilings connections.

1.2.2 Evaluation Aspects:

Calculation Methodology:

- Formulation used: CFAST is based on solving a set of equations that predict the state variables (pressure, temperature and so on) based on enthalpy and mass flux over small increments of time. These equations are derived from the conservation equations for energy mass, and momentum, and the ideal gas law. The errors, which might be made, cannot come from these equations, but rather come from numerical representation of the equations or from simplifying assumptions.
- Assumptions adopted: The basic assumption of all zone fire models is that each room can be divided into a small number of control volumes, each of which is internally uniform in temperature and composition. Within CFAST, all rooms have two zones except the fire room, which has additional zones for the fire plume and ceiling jet, which are calculated separately to account for mass and heat transfer between the zones and between the zones and compartment surfaces. To simulate the fire growth, the system utilises a user specified fire, expressed in terms of time specified rates of energy and mass released by the burning item(s). Individual determinations are made for both incapacitation

and lethality from temperature and toxicity, along with potential incapacitation from burns due to flux exposure.

- Limitations: The CFAST model does not include a fire growth model. No interactions between temperature and toxicity are currently included.

Documentation:

- User's guide:
User's guide for FAST: Engineering tools for estimating fire growth and smoke transport NIST-SP-921; 200 p. March 2000.
Peacock, R. D.; Reneke, P. A.; Jones, W. W.; Bukowski, R. W.; Forney, G. P.
Available in: www.fire.nist.gov
User's guide for CFAST Version 1.6.
NISTIR-4985; 106 p. December 1992.
Portier, R. W.; Reneke, P. A.; Jones, W. W.; Peacock, R. D.
Available in: www.fire.nist.gov
- Technical guides:
Technical reference for CFAST: an engineering tool for estimating fire and smoke transport. NIST TN 1431; 190 p. March 200.
Jones, W. W.; Forney, G. P.; Peacock, R. D.; Reneke, P. A.
Available in: www.fire.nist.gov
- Papers and Validation examples:
"A review of four compartment fires with four compartment fire models", Deal, S. Fire safety Developments and Testing, Proceedings of the annual meeting of the Fire Retardant Chemicals Association. October 21-24, 1990, Ponte Verde Beach, Florida, 33-51.
"Verification of a model of fire and smoke transport", Peacock, R. D.; Jones, W. W.; Bukowsky, R. W. Fire Safety Journal., 21 89-129 (1993).
"The accuracy of computer fire models: some comparisons with experimental data from Australia", Duong, D. Q. Fire Safety Journal 1990, 16(6), 415-431.
"Comparison of fire model predictions with experiments conducted in a hangar with a 15 m ceiling", Davis, W. D.; Notarianni, K. A.; McGrattan, K. B. NIST, NISTIR 5927 (1996).

User's Aspects:

- Interface: MS-DOS
- Input/Output Reporting: Includes a text report generator.
- Graphics: Includes a graphic report generator.

1.2.3 Conclusions:

- Reliable calculation methodology
- High detailed documentation
- User-friendly
- User knowledge level required: Medium

1.3 OZONE

1.3.1 Software identification (ID Number 40):

- Name: OZONE
- Version: V2.2.2
- Year: 2002
- Application Field: Zone model
- Country: Belgium

- Author/s: J. F. Cadorin and J. M. Franssen from ULG and L. G. Cajot; M. Haller and J. B. Schleich from Arcelor
- Organisation/s: University of Liege, Inst. de Mécanique et Génie Civil, 1, Chemin des Chevreuils, 4000 Liege 1, Belgium. And Arcelor LCS research centre
- System requirements: Windows based PC.
- Computer Language: FORTRAN – Visual Basic
- Size: 5 MB
- Available in: www.ulg.ac.be ; www.sections.arcelor.com
- Contact information: www.ulg.ac.be or contact with Jean Marc Franssen (jm.franssen@ulg.ac.be) or J. F. Cadorin (jf.cadorin@ulg.ac.be)

Description:

The computer code Ozone V2 has been developed to help engineers in designing structural elements submitted to compartment fires. The code is based on several recent developments, in compartment fire modelling on one hand and on the effect of localised fires on structures on the other hand. It includes a simple compartment fire model that combines a two-zone model and a one-zone model. It also takes into account the localised effect of a fire with the help of Hasemi's model. Thus it is a pre- and post- flashover model. It calculates the temperature of a steel section submitted to that compartment fire and, finally, evaluates the fire resistance of simple steel elements, according to EC3 ENV 1993-1-2. It has been developed in the scope of two European researches "Competitive Steel Buildings through Natural fire safety Concept" and "Natural Fire Safety Concepts – Full Scale Test, Implementation in the Eurocodes and Development of an User Friendly design tool". In Ozone several improvements have been made: the wall model is made by finite element (is implicit) and two different combustion models have been developed to cover different situations of use of the code.

1.3.2 *Evaluation Aspects:*

Calculation Methodology:

- Formulation used: Numerical two-zone models are based on eleven physical variables. These variables are linked by six constraints and four differential equations describing the mass and energy balances in each zone. The mass balance equation express the variation of the mass of the gas of each zone, that is equal to the mass of combustion gases created by the fire, plus the mass coming into the compartment through the vents minus the mass going out of the compartment through the vents. The energy balance equation expresses the balance between the energy generated in the compartment by the combustion and the way in which this energy is consumed: by the heating of the gases in the compartment, by the mass loss of hot air through the openings (Including a negative term accounting for the energy of incoming air), by the radiation loss through the openings and by the heating of the partitions. In the case of one zone model, the number of variables is reduced to six, the number of constraints to four and the differential equations to two. Ozone includes a partition model and two combustion models.
- Assumptions adopted: The main hypothesis in zone models is that the compartment is divided in zones in which the temperature distribution is uniform at any time. In one-zone models, the temperature is considered uniform within the whole compartment. This type of model is thus valid in case of fully developed fires, contrary to two-zone models, which are valid in case of localised fires. In this last model there are a hot layer which is close to the ceiling and a cold layer closed to the floor.
- Limitations: Ozone does not include a pyrolysis model but includes two combustion models (external and extended flame models) that will modify the evolution of the Heat Release Rate curve (RHR – defined by the user) in function of the oxygen mass balance. The room geometry is restrained to four walls and three vents.

Documentation:

- User's guide:

“The design Fire Tool Ozone V2.0 – Theoretical Description and Validation On Experimental Fire Tests”

Rapport interne SPEC/2001_01 University of Liege, Belgium, June 2001.

J. F. Cadorin; J. M. Franssen; D. Pintea.

Available in: www.ulg.ac.be

- Technical guides:
Is included in the User’s Guide.
- Papers and Validation examples:
“Competitive steel buildings through natural fire safety concepts”
Part 2: Natural fire models - The one zone model OZone, Final report
CEC Agreement 7210-SA/125/126/213/214/323/423/522/623/839/937.
Profil ARBED, March 1999.
Available by contact: ecsc-steel@cec.eu.int
“Natural Fire Safety Concepts- Full Scale Test, Implementation in the Eurocodes and Development of an User Friendly design tool”
Part 2: Natural fire models - The one zone model OZone, Final report
CEC Agreement 7210-PA/PB/PC/PE/PF/PR-060.
Draft final report, December 2000.
Available by contact: ecsc-steel@cec.eu.int
“On the application field of Ozone V2”
Rapport interne N°M&S/2002-003 University of Liege, Belgium, 2002.
J. F. Cadorin
“Compartment fire models for structural engineering”
Doctoral thesis of J. F. Cadorin University of Liege.
J. F. Cadorin
Available in: www.ulg.ac.be

For more information send e-mail to contacts.

User’s Aspects:

- Interface: Visual Basic
- Input/Output Reporting: Includes a text report generator.
- Graphics: Includes a graphic report generator.

1.3.3 *Conclusions:*

- Reliable calculation methodology
- High detailed documentation
- User-friendly
- User knowledge level required: Medium

1.4 *FDS - Fire Dynamics Simulator & Smokeview:*

1.4.1 *Software identification (FDS - ID Number: 55 – ID Number: 66):*

- Name: FDS – Fire Dynamics Simulator / Smokeview
- Version: FDS Version 3 / Smokeview Version 3.1
- Year: 2002
- Application Field: Field model (CFD)
- Country: U.S.A
- Author/s: FDS - Kevin McGrattan, Glenn Forney. / Smokeview – Glenn Forney
- Organisation/s: NIST – National Institute of Standards and Technology
- System requirements: UNIX or PC of PII 450 or better.
- Computer Language: FORTRAN 90

- Size: 5.48 MB + 24 MB for examples and documentation
- Available in: www.fire.nist.gov
- Contact information: www.fire.nist.gov or contact with Kevin McGrattan kevin.mcgrattan@nist.com

Description:

Fire Dynamics Simulator (FDS) is a computational fluid dynamics (CFD) model of fire-driven fluid flow. The software solves numerically a form of the Navier-Stokes equations appropriated for low-speed, thermally driven-flow with an emphasis on smoke and heat transport from fires. FDS has been aimed at solving practical fire problems in fire protection engineering and at the same time providing a tool to study fundamental fire dynamics and combustion.

Smokeview is a visualisation program that is used for display the results of FDS simulation. Smokeview visualises FDS modelling results by displaying: particle flow, 2D or 3D shaded contours of gas flow data such as temperature and flow vectors showing flow direction and magnitude. Smokeview also visualises static data at particular times again using 2D or 3D contours.

1.4.2 *Evaluation Aspects:*

Calculation Methodology:

- **Formulation used:** An approximate form of the Navier-Stokes equations appropriate for low Mach number applications is used in the model. The approximation involves the filtering out of acoustic waves while allowing for large variations in temperature and density. This gives the equations an elliptic character, consistent with low speed, thermal convective processes. The computation can either be treated as a Direct Numerical Simulation (DNS), in which dissipative terms are computed directly, or as Large Eddy Simulation (LES), in which the large-scale eddies are computed directly and the sub-grid scale dissipative processes are modelled. The choice of DNS or LES depends on the objective of the calculation and the resolution of the computational grid. There are two combustion models used in FDS. For a DNS calculation where the diffusion of the fuel and oxygen can be modelled directly, a global one step, finite rate chemical reaction is most appropriate. In a LES calculation where the grid is not fine enough to solve the diffusion of the fuel and oxygen, a mixture fraction-based combustion model is used.
- **Assumptions adopted:** The low Mach number equations are solved numerically by dividing the physical space where the fire is to be simulated into a large number of rectangular cells. Within each cell the gas velocity, temperature, etc, are assumed to be uniform, changing only with time. The accuracy with which the fire dynamics can be simulated depends on the number of cells incorporated into simulation.
- **Limitations:** The calculations must be performed within a domain that is made up of rectangular blocks, each with his rectilinear grid. Non rectangular domains cannot be modelled. FDS do not have a pre-processor, a text input data file generation is required (non user friendly).

Documentation:

- **User's guide:**
 "Fire Dynamics Simulator (Version 3) – User's Guide"
 NISTIR 6784 2002.
 McGrattan K. B., Forney G. P., Floyd J. E., Hostikka S. And Prasad K.
 Available in: www.fire.nist.gov
 "User's Guide for Smokeview Version 3.1 – A Tool for Visualising Fire Dynamics Simulation Data"
 NISTIR 6980 2003.
 Forney G. P. and McGrattan K. B.
 Available in: www.fire.nist.gov

- Technical guides:
“Fire Dynamics Simulator (Version 3) – Technical reference Guide”
NISTIR 6783 2002.
McGrattan K. B., Baum H. R., Rehm R. G., Hamins A., Forney G. P., Floyd J. E., Hostikka S. and Prasad K.
Available in: www.fire.nist.gov
- Papers and Validation examples:
Papers and examples are available in www.fire.nist.gov

User's Aspects:

- Interface: FDS MS-DOS / Smokeview – Windows Open GL view
- Input/Output Reporting: Smokeview program.
- Graphics: Smokeview program.

1.4.3 Conclusions:

- Reliable calculation methodology
- High detailed documentation
- FDS non user-friendly
Smokeview user-friendly
- User knowledge level required: High

1.5 AFCB (Composite Beam Fire Design)

1.5.1 Software identification (ID Number 73)

- Name: AFCB (Composite Beam Fire Design)
- Version: 3.07
- Year: 2003
- Application Field: Structural fire resistance Models
- Country: Luxembourg
- Author/s: Henri Colbach
- Organisation/s: Arcelor LCS research centre
- System requirements: Windows 95/98/2000/NT, 100 Mhz, 32 MB RAM, 6x CD-ROM drive.
- Size: 3 MB
- Available in: The software is available for free download at www.sections.arcelor.com.
- Contact information:
Arcelor LCS research centre
66, rue de Luxembourg
L-4221 Esch-sur-Alzette
Phone (+352) 5313-3007
Fax (+352) 5313-3095
E-mail: europofil.dsm@profilarbed.lu
Internet: www.sections.arcelor.com

Description:

The program AFCB calculates the ultimate bending moments for composite beams at room temperature according to EUROCODE 4 Part 1.1 (ENV 1994-1-1) and for the ISO fire classes R30, R60, R90, R120 and R180 with accordance to the EUROCODE 4 Part 1.2 (ENV 1994-1-2).

The software has the following structure:

- INPUT DATA:
 - Project: general information concerning the project.
 - Section: there are three different ways to define the profile:
 - a) Type the complete name of the profile in upper case letters (e.g. HE 300 A)
 - b) Select the series of the profile by giving the name of the series (IPE, HE, HL, HD, HP, W, UB or UC), then select the profile in the list.
 - c) Select the profile directly in the list.
 - Slab: although the program does not make any calculations for the slab, it needs some information about it to determine its participation in the beam resistance and the reductions to be made in fire case.
 - Rebars: the user has to define the rebars in the concrete between the flanges and the rebars in the slab.
 - Materials: define the mechanical properties for each material: yield point of the steel profile, characteristic cylinder strength for concrete in the profile and in the slab and the yield point of the rebars in the profile and of meshes in the slab.
 - Material safety factors: the user can choose the factors applied to the resistance of each material for both cases: service conditions and fire conditions.
 - System: the user can choose among three possible calculation types:
 - a) Calculation of section resistance: determine the plastic resistance values of the given section.
 - b) Dimensioning under given load: the user can define loads. The beam will be first examined in cold situation and if its resistance is insufficient for this case, the user will have to modify the section. If it is sufficient in cold case, the calculation for the fire case will follow the first calculation. If in the fire case the section is insufficient the program will try other rebar-combinations in order to find one who gives the section a sufficient resistance. The rebar combinations are written in the file “rebars.reb”. The user can modify this file.
 - c) Dimensioning under given minimum section resistance: similar to b). The main difference is that in this case the needed resistance values of the section are not calculated using loads but are to be introduced directly. Use this calculation type if you use resistance moments calculated by hand or with another program.
- RESULTS: the program calculates for the cold case and the fire case the following results:
 - Ultimate positive moments, M+
 - Ultimate negative moments, M-
 - Ultimate shear forces
 - For the calculation types b) and c), the program calculates the capacity ratio and the reinforcements (if any were made).
 - Details: The complete calculation details in service conditions and for the chosen fire class are written in this sheet. The user can find all the introduced data to the upper border of the concrete slab. Moreover, it contains also all the reduced values of the positive moments and all the reduced values of the negative moments.
 - Graphic: According to the calculation-type the following graphics can be displayed: section graphic, moment curve, graphics for the calculation of the section resistance.

1.5.2 Evaluation aspects:

Calculation methodology:

- Formulation Used: the calculation methodology is the included in the Eurocode 4 Parts 1.1 and 1.2.
- Assumptions adopted:
 - This program deals with simply supported or continuous beams.
 - Annex H of ENV 1994-1-1 is not considered.
 - The shown reinforcements for the rebars in the profile reproduce only the rebar definition text for the calculation. This can be different from the rebars used for the calculation. Check in “Details” or in the graphic which rebars were actually placed and used for calculation.
- Limitations:
 - The verification of the shear forces is not included in the program. This has to be done separately.

- Only open sections are available for the calculations.

Documentation:

- User's guide: it is included in the help modulus of the software.
- Technical guides: Eurocode 4 Parts 1.1 and 1.2.
- Available at: The software is available for free download at www.sections.arcelor.com
- Papers and validation examples: the software is validated enough because it follows the same calculation methodology that the Eurocode 4.

User's aspects:

- Interface: Windows
- Input/Output reporting: the user can print the output in condensed form or in complete form. In the complete form, all the input data and the output (results for ultimate positive and negative moments and for the ultimate shear, and the resistance of the section to positive and negative moments in cold and fire situations) are printed.
- Graphics: The program plots a drawing of the section and the distribution of resisted moments for positive and negative moments in cold and fire situations.

1.5.3 Conclusions:

- Reliable calculation methodology
- High detailed documentation
- User-friendly
- User knowledge level required: Medium

1.6 AFCC (Composite Column Fire Design)

1.6.1 Software identification (ID Number 74)

- Name: AFCC (Composite Column Fire Design)
- Version: 3.05
- Year: 2003
- Application Field: Structural fire resistance Models
- Country: Luxembourg
- Author/s: Henri Colbach
- Organisation/s: Arcelor LCS research centre
- System requirements: Windows 95/98/2000/NT, 100 Mhz, 32 MB RAM, 6x CD-ROM drive.
- Size: 2,5 MB
- Available in: The software is available for free download at www.sections.arcelor.com.
- Contact information:
 Arcelor LCS research centre
 66, rue de Luxembourg
 L-4221 Esch-sur-Alzette
 Phone (+352) 5313-3007
 Fax (+352) 5313-3095
 E-mail: europofil.dsm@profilarbed.lu
 Internet: www.sections.arcelor.com

Description:

The program AFCC calculates the ultimate loads for composite columns AF 30/120 at room temperature according to Eurocode 4 Part 1.1 (ENV 1994-1-1) and for the ISO fire classes R30, R60, R90 and R120, with accordance to the Eurocode 4 Part 1.2 (ENV 1994-1-2).

The software has the following structure:

- INPUT DATA:
 - Project: general information concerning the project.
 - Section: there are three different ways to define the profile:
 - a) Type the complete name of the profile in upper case letters (e.g. HE 300 A)
 - b) Select the series of the profile by giving the name of the series (IPE, HE, HL, HD, HP, W, UB or UC), then select the profile in the list.
 - c) Select the profile directly in the list.
 - Rebars: the user has to define the diameter of the rebars and their position.
 - Materials: define the mechanical properties for each material: yield point of the steel profile, characteristic cylinder strength for concrete in the profile and the yield point of the rebars in the profile.
 - Material safety factors: the user can choose the factors applied to the resistance of each material for both cases: service conditions and fire conditions.
 - Buckling lengths: the user has to define the buckling lengths for the weak and strong axes of the AF-column both in service and fire conditions.
 - Eccentricities: eccentricity of the load in the weak axis and in the strong axis of the profile (both in mm).
- RESULTS: the program calculates for 5 conditions – room temperature for service conditions, fire resistance time 30 minutes (R30), fire resistance time 60 minutes (R60), fire resistance time 90 minutes (R90) and fire resistance time 120 minutes (R120) – the following loadings:
 - Ultimate axial load, buckling around the weak axis of the profile (first column)
 - Ultimate axial load, buckling around the strong axis of the profile (second column)
 - Ultimate eccentric load about the weak axis (third column)
 - Ultimate eccentric load about the strong axis (fourth column)
 - Ultimate eccentric load about both axis of the profile (fifth column)
 - Details: the complete calculation details (buckling length, plastic load, critical load, relative slenderness ratio, buckling coefficient) in service conditions and for the fire classes R30, R60, R90 and R120 are written. The weight per meter of the column is also given, including separate informations on the profile, the concrete and the rebars.
 - Graphic: this part of the program shows a general view of the cross-section defined by the user (geometric data of the steel profile, position of the rebars...)

1.6.2 Evaluation aspects:

Calculation methodology:

- Formulation Used: the calculation methodology is the included in the Eurocode 4 Parts 1.1 and 1.2.
- Assumptions adopted:
 - This program calculates columns under loads with small constant eccentricities.
 - The program only calculates double-symmetric, partly-encased columns with uniform section over the whole length of the column.
 - Annex H of ENV 1994-1-1 is not considered.
 - The percentage of the rebars should fulfil the following rules: ENV 1994-1-1, 4.8.3.1(3e) and 4.8.2.5(3) and ENV 1994-1-2, 4.3.6.2(2).
- Limitations:
 - Only open sections are available for the calculations.

Documentation:

- User's guide: the user's guide is included in the help modulus of the software.
- Technical guides: Eurocode 4 Parts 1.1 and 1.2.
- Available at: The software is available for free download at www.sections.arcelor.com
- Papers and validation examples: the software is validated enough because it follows the same calculation methodology that the Eurocode 4.

User's aspects:

- Interface: Windows
- Input/Output reporting: the user can print the output in condensed form or in complete form. In the complete form, all the input data and the output (service conditions weak and strong axis, Fire classes R30, R60, R90, R120 weak and strong axis and the weights per unit length of the steel profile, concrete, main rebars and total weight) are printed.
- Graphics: The program plots a drawing of the section.

1.6.3 Conclusions:

- Reliable calculation methodology
- High detailed documentation
- User-friendly
- User knowledge level required: Medium

1.7 Elefir:**1.7.1 Software identification (ID Number 77):**

- Name: Elefir
- Version: 2.1
- Year: 1998
- Application Field: Structural fire resistance models
- Country: Belgium
- Author/s: Dan Pintea, Laurent Miévis, Gilles Gustin, Jean-Marc Franssen
- Organisation/s: University of Liege
- System requirements: Windows 95 or higher.
- Size: 8 MB
- Available in: University of Liege website (<http://www.ulg.ac.be/matstruc/Download.html>)
- Contact information: Jean-Marc Franssen (jm.franssen@ulg.ac.be)

Description:

ELEFIR is a computer software that calculates the fire resistance of simple steel elements made of I sections loaded around the strong axis.

- Typical shapes of sections are available: HD, HE, HL, HP, IPE, UB, UC, W, L.
- Two options for fire exposure: three or four sides of the element.
- Options for section protection: no protection, contour encasement and hollow encasement.
- Properties of several protection materials are available: rock/glass wool, gypsum and also allows for the introduction of a new material defined by the user.
- Several heating curves are available: ISO curve, external fire curve, hydrocarbon curve, ASTM curve and there is also the possibility of introducing an user-defined curve.

The following calculations can be performed:

- Calculation of the time in which the critical temperature of the element is reached.
- Reached temperature after the introduced critical time.
- Calculation of the critical temperature of the element and the critical time for members subjected to tension, compression and bending and compression.

1.7.2 *Evaluation aspects:*

Calculation methodology:

- Formulation used:
 - The calculations are based in the ENV 1993-1-2 (Eurocode 3).
 - The Belgian national application document (NBN ENV 1993-1-2) can also be used.
- Assumptions adopted:
 - The temperature in the section is considered as an equivalent uniform distribution.
- Limitations:
 - Only open sections are available.
 - Fire exposure only on 3 or 4 four sides of the element.
 - Only for sections with double symmetry.
 - If during heating the section changes to Class 4, the software stops. It does not apply the last modification of EN 1993-1-2 that allows to consider that the class of the section remains in fire condition as at room temperature.

Documentation:

- User's guide: no available, but not necessary (easy to use)
- Technical guides: ENV 1993 1-2 (Eurocode 3)
- Papers and validation examples: no available

User's aspects:

- Interface: Windows
- Input/output reporting: Text file and graphs included.
- Graphic: The program plots the temperature curves.

1.7.3 *Conclusions:*

- Reliable calculation methodology
- Documentation: ENV 1993-1-2 (EC3)
- User-friendly
- User-knowledge level required: low.

1.8 *H-Fire*

1.8.1 *General information (ID Number: 78)*

- Name: H-Fire
- Version: 04.1
- Year: 2004
- Application Field: Structural fire resistance Models - Simplified
- Country: Germany
- Author/s: P.Schaumann, S.Hothan

- Organisation/s: University of Hannover, Institute for Steel Construction
- Language: German, English
- System requirements: Pentium PC, Microsoft Windows, Microsoft Office
- Size: 12.6 MB
- Cost: Free
- Available in: University of Hannover, Institute for Steel Construction
- Contact information: www.stahlbau.uni-hannover.de

Description:

Calculation of design resistances for composite members exposed to fire by using the simple calculation models of the EN 1994-1-2

1.8.2 *Evaluation aspects:*

Calculation methodology:

- Formulation Used: The calculations are based on the simple calculation models of the ENV 1994-1-2 (Eurocode 4), except composite slab based on the simple calculation model of prEN 1994-1-2
- Assumptions adopted: like simple calculation models
- Limitations: like simple calculation models

Documentation:

- User's guide: Short description available at www.stahlbau.uni-hannover.de
- Technical guides: The calculations are based on the simple calculation models of the ENV 1994-1-2 (Eurocode 4), except composite slab based on the simple calculation model of prEN 1994-1-2
- Available at: To get a version, please go to www.stahlbau.uni-hannover.de
- Papers and validation examples: none

User's aspects:

- Interface: Windows; Microsoft Excel and Microsoft Access
- Input/Output reporting: The Program reports most of the input data and all output data
- Graphics: Where necessary, the program plots curves

1.8.3 *Conclusions:*

- Reliable calculation methodology
- Documentation: High detailed
- User-friendly
- User knowledge level required: Medium

1.9 *Potfire (ID Number 81):*

1.9.1 *Software identification:*

- Name: Potfire
- Version: 1.11
- Year: 2001
- Application Field: Structural fire resistance
- Country: France
- Author/s: Geneviève Fouquet, George Tabet, Bin Zhao, Julien Kruppa

- Organisation/s: CTICM, TNO, CIDECT
- System requirements: Pentium 200 Mhz, W95, CD-Rom, and 24 MB RAM
- Computer Language:
- Size: 15 MB
- Available in: www.cidect.org
- Contact information: www.cidect.org

Description:

The POTFIRE computer program is a design tool based on the modelling practices described in annex G of EC4 ENV 1994-1-2 "General rules - Calculation of behaviour to fire".

POTFIRE allows either the evaluation of the fire resistance duration of an unprotected concrete filled hollow section column under known design load(s) or the evaluation of the ultimate load bearing resistance after a given exposure time to the standard ISO fire.

1.9.2 *Evaluation Aspects:*

Calculation Methodology:

- Formulation used: The full set of generalised equations used within the model to describe thermal, mechanical and structural behaviour is given in Annex 2 of the "POTFIRE User's Manual", included in the software.
- Assumptions adopted: The POTFIRE user should take note that careful detail design of the top and bottom of a single column or at the joints of a continuous column is necessary to ensure that the loads are introduced into the column in a proper way and load transfer maintained during the fire condition.
- Limitations: The Eurocode 4 Part 1.2 Annex G is limited to a range column size (diameter and length).

Documentation:

- User's guide: Yes (Included in the software)
- Technical guides: Advice on good fire design detailing is given both in Eurocode 4, Part 1-2 and in the CIDECT Design Guide 4 "Design Guide for Structural Hollow Section Columns Exposed to Fire".
- Papers and Validation examples: No

User's Aspects:

- Interface: Windows, all the input and output data is showed in a calculator like screen.
- Input/Output Reporting: The software provides full report of input and output data.
- Graphics: The software does not provide graphic information.

1.9.3 *Conclusions:*

- Reliable calculation methodology
- High detailed documentation
- User-friendly
- User knowledge level required: Low

1.10 *ABAQUS*

1.10.1 *General information (ID Number: 86)*

- Name: Abaqus
- Version: 6.4
- Year: 2003
- Application Field: Structural fire resistance Models - Advanced
- Country: United States
- Author/s: David Hibbit, Bengt Karlsson, Paul Sorensen
- Organisation/s: Abaqus Inc.
- Language: English
- System requirements: For Windows environment:
 - Windows 2000 Professional (SP3 is strongly recommended)
 - Pentium[®] III (or later) processor with speeds of 2 GHz or greater are recommended
 - Compaq Visual Fortran 6.0 (Update A)
 - Microsoft Visual C/C++ 6.0 (12.00.8804)
 - Internet Explorer 5.5 or Netscape 6 (required for online documentation)
- Size: -
- Cost: Consult Abaqus distributors
- Available in: www.abaqus.com
 - Abaqus Inc
 - 1080 Main Street
 - Pawtucket, RI 02860-4847
 - Tel: +1 401 727 4200
 - Fax: +1 401 727 4208
- Contact information: www.abaqus.com

Description:

Abaqus software is a suite of interoperable applications for finite element analysis. It provides a unified system for engineering analysis and digital prototyping in support of design and manufacturing.

1.10.2 Evaluation aspects:

Calculation methodology:

- ABAQUS/Standard: provides a rich variety of analysis procedures allowing problems ranging from routine linear analyses to complex multi-stage nonlinear analyses to be solved efficiently and robustly. It can simulate a variety of physical phenomena such as heat transfer, mass diffusion, and acoustics, in addition to stress/displacement analyses.
- ABAQUS/Explicit: provides finite element solution techniques to simulate a wide variety of dynamic and quasi-static events (especially those involving impact and other highly discontinuous events) in accurate, robust, and efficient manner. It supports not only stress/displacement analyses but also fully coupled transient dynamic temperature-displacement, acoustic, and coupled acoustic-structural analyses.
- ABAQUS/CAE: finite element modeling environment with functionality organized in modules and toolsets.

Documentation:

- Available documentation:
 - Training:
 - Getting started with Abaqus
 - Getting started with Abaqus/Standard: Keywords version
 - Getting started with Abaqus/Explicit: Keywords version
 - Lecture notes
 - Analysis:

- Abaqus analysis user's manual
- Modeling and visualization:
 - Abaqus/CAE user's manual
- Examples:
 - Abaqus example problems manual
 - Abaqus benchmarks manual
- Reference:
 - Abaqus theory manual

User's aspects:

- Interface: Windows
- Input/Output reporting: Input data reporting through the input (*.inp) file and output data reporting through the output database (*.odb) file.
- Graphics: 2D/3D representing of the model and of the output database.

1.10.3 *Conclusions:*

- Reliable calculation methodology
- Documentation: High detailed
- No user-friendly
- User knowledge level required: High

1.11 *BoFire*

1.11.1 *General information (ID Number: 89)*

- Name: BoFire
- Version: 7
- Year: 2004
- Application Field: Structural fire resistance Models
- Country: Germany
- Author/s: Peter Schaumann, Jens Upmeyer, Florian Kettner
- Organisation/s: Institute for Steel Construction
- Language: German
- System requirements: Windows 95/98/2000/NT, 100 Mhz, 32 MB RAM
- Size: 200 kB
- The software is not available at the moment

Description:

BoFire is a transient, non-linear, incremental computer code based on the finite element method. For the material properties the thermal and mechanical definitions of ENV 1994-1-2 are implemented. Steel, concrete and composite steel and concrete structures can be analysed.

1.11.2 *Evaluation aspects:*

Calculation methodology:

- Formulation Used: A transient, non-linear, incremental computer code based on the finite element method
- Assumptions adopted:
 - This program deals with beams, columns or plane frame of any cross section.
 - The material properties of ENV 1994-1-2 (1994) are implemented.
- Limitations:
 - No three-dimensional structures
 - No plates or panels with two-axial load bearing capacity
 - No shear deformation of the cross section (Bernoulli-hypothesis)

Documentation:

There is no documentation available at the moment

User's aspects:

- Interface: Windows
- Input/Output reporting is given by simply text-files. The windows based surface HaFront can be used to create the Input-File.
- Graphics: The code included data plotting library DISLIN provides the opportunity to produce colored countourplots of the temperature distribution or 3-dimensional graphics of stresses or strains

1.11.3 *Conclusions:*

- Reliable calculation methodology
- Documentation is not available yet
- User-friendly
- User knowledge level required: Medium

1.12 *Evacnet4:*

1.12.1 *Software identification (ID Number 120)*

- Name: Evacnet4
- Version: 1.4
- Year: 1998
- Application Field: Egress
- Country: United States
- Author/s: T.M. Kisko, R.L. Francis, C.R. Nobel
- Organisation/s: University of Florida
- System requirements: Windows 95 or higher
- Size: Less than 1 MB
- Available in: <http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet>
- Contact information: Thomas Kisko, 352-392-1293, kisko@ise.ufl.edu

Description:

EVACNET4 is an interactive computer program that models building evacuations. The program accepts a network description of a building and information on its initial contents at the beginning of the evacuation. From this information, EVACNET4 produces results that describe an optimal evacuation of

the building. Each evacuation is optimal in the sense that it minimises the time to evacuate the building. People are evacuated as quickly as possible.

1.12.2 *Evaluation aspects:*

Calculation methodology:

- Formulation used: EVACNET takes the network model that the user provides and determines an optimal plan to evacuate the building in a "minimum" amount of time. This is done using an advanced capacitated network flow transshipment algorithm, a specialised algorithm used in solving linear programming problems with network structure.
- Assumptions adopted: The formulation of an EVACNET model forces certain assumptions to be made. These assumptions can cause the results of the model to be less than realistic. The better understanding that the users have of these assumptions, the better their chances are in producing valid results. The principle assumptions that the user should be aware that are included:
 - EVACNET is a linear modelling system. Dynamic arc capacities and arc traversal times do not change over time.
 - EVACNET does not model behavioural aspects. The only actions that are modelled are those that lead to achieving the minimum evacuation time.
 - EVACNET is based on a global viewpoint; not an individual viewpoint. This means that in achieving the optimal evacuation plan, EVACNET has the capability to "see" everything. In an actual evacuation individuals independently attempt to achieve an optimum. One chief use of EVACNET can be to train potential evacuees and/or the floor wardens on optimal building evacuation plans.
- Limitations:

Documentation:

- User's guide: Yes (Available at: <http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet>)
- Technical guides: Yes (Available at: <http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet>)
- Papers and validation examples: See validation references at: <http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet>

User's aspects:

- Interface: MS-DOS
- Input/output reporting: the program gives information on the bottlenecks and the people that is inside the building when the critical time is reached.
- Graphic: the program does not plot any graphic.

1.12.3 *Conclusions:*

- Less Reliable calculation methodology
- High detailed documentation
- No user-friendly
- User knowledge level required: Low

1.13 *Detact-QS:*

1.13.1 *Software identification (ID Number 133)*

- Name: Detact-QS
- Version: 1.3
- Year: -

- Application Field: Detector response
- Country: United States
- Author/s: D.D. Evans
- Organisation/s: NIST (National Institute of Standards and Technology)
- System requirements: PC 286
- Size: 64K free memory
- Available in: Computer program available on NIST at no cost www.fire.nist.gov
- Contact information: www.fire.nist.gov

Description:

DETECT-QS is a program for calculating the actuation time of thermal devices placed below unconfined ceilings. It can be used to predict the actuation time of fixed temperature heat detectors and sprinkler heads subjected to a user specified fire. The required program inputs are the height of the ceiling above the fire, the distance of the thermal device from the axis of the fire, the actuation temperature of the thermal device, the response time index (RTI) for the device, and the rate of heat release of the fire. The program outputs are the ceiling gas temperature and the device temperature both as a function of time and the time required for device actuation.

1.13.2 *Evaluation aspects:*

Calculation methodology:

- **Formulation Used:** DETECT-QS is an empirical model, which is based on data correlations from a series of large-scale fire experiments. The model solves a definite integral using a quasi steady state assumption. It solves several algebraic equations to produce predictions. DETECT-QS is composed of an algorithm which predicts the maximum temperature and velocity of an unconfined ceiling jet, under a smooth, flat, horizontal ceiling at a given radius from the centerline of the fire. It also uses a lumped mass, convection heat transfer algorithm for predicting the activation time of a thermal detector. The correlations used in DETECT-QS were developed by Alpert and use a response time index developed by Heskestad.
- **Assumptions adopted:** DETECT-QS assumes that the thermal device is located in a relatively large area, therefore is only the fire ceiling flow heats the device and there is no heating from the accumulated hot gases in the room.
The model assumes that the detector being analysed is mounted on an unconfined, unobstructed, smooth, flat, horizontal ceiling and that the detector is located at the points of maximum temperature and velocity within the ceiling jet. Only convective heat transfer is considered between the ceiling jet and the thermal detector; no conductive loss or radiative heat transfer is considered. The detector is treated as a lumped mass. Temperatures and velocities of the plume and ceiling jet are uniform and assumed to be the maximum values in the plume. The fuel package and the plume are assumed to be in an unobstructed vertical axis. No ventilation or stratification effects are considered. No transport time (or lag time) is considered for the hot gases to travel from fuel to the detector. For each heat release rate input interval, the heat release rate is averaged over the interval and assumed constant.
- **Limitations:**
 - DETECT-QS underpredicts temperatures in scenarios involving low ceilings when the detector is close to the fire centreline, but temperature predictions improve as the radial distance from the fire to the detector increases. As the ceiling height increases, the agreement between the predictions and measured data improves.
 - There is better agreement between predictions and experimental results for devices with higher RTIs than with devices with lower RTIs.
 - The use of DETECT-QS would not be appropriate in small areas where a gas layer would develop prior to activation.

Documentation:

- User's guide: No
- Technical guides: "Evaluation of the computer fire model DETACT-QS" Morgan J. Hurley, Daniel Madrzykowski
- Available at: NIST Publications at NIST Web Page www.fire.nist.gov.
- Papers and validation examples: Comparison with experimental results available in the Technical Guide document.

User's aspects:

- Interface: MS-DOS
- Input/output reporting: The program outputs are the ceiling gas temperature and the device temperature both as a function of time and the time required for device actuation.
- Graphic: the program does not plot any graphic

1.13.3 *Conclusions:*

- Reliable calculation methodology
- Low detailed documentation
- No user-friendly
- User knowledge level required: Low

1.14 *Jet:*1.14.1 *Software identification (ID Number 137)*

- Name: Jet
- Version: 1.0
- Year: 1999
- Application Field: Detector response
- Country: United States
- Author/s: William D. Davis
- Organisation/s: NIST (National Institute of Standards and Technology)
- System requirements: W95/98/2000. Pentium 166 MHz or higher is recommended. 32 MB of RAM.
- Size: 4 MB
- Available in: Computer program available on NIST at no cost (<http://fire.nist.gov>). The software and documentation is found under the selection Fire Modelling Software Online.
- Contact information:
William D. Davis
National Institute of Standards and Technology
100 Bureau Dr. Stop 8642
Gaithersburg, Md., 20899-8642
301-975-6884
william.davis@nist.gov

Description:

JET is a two-zone compartment fire model that solves the conservation equations for mass and energy to obtain upper layer temperature and layer height. Convective losses to the ceiling from the ceiling jet and radiation losses from the fire are used to calculate the ceiling temperature as a function of distance from the plume centreline. Correlations that are sensitive to upper layer temperature and depth provide plume centreline ceiling temperature and maximum ceiling jet temperature and velocity as a function of radius.

The compartment geometry can be represented using a series of draft curtains and walls. A one-room compartment with a door may be modelled using a simple draft curtain equal in length to the width of the door. Gas flows from the upper layer can exit either under the draft curtains, through ceiling jets, or with forced ventilation. The forced ventilation option allows gas flows to enter or exit the compartment.

Fusible links are used to control the opening of the ceiling vents. The heating of fusible links includes a balance between the convective heating of the link in the ceiling jet and the conductive cooling of the link as heat flows from the link to the supporting structure.

Applications that are appropriate for JET include:

- a) Determination of activation times for fusible links controlling vents and sprinklers in compartments bounded by walls, draft curtains, or combinations of walls and draft curtains for user defined fire sizes and growth rates. Compartments with one or more sides unbounded may be modelled.
- b) Determination of the impact of draft curtains, ceiling vents and forced ventilation on the depth of the smoke layer and the activation of fusible links.
- c) Determination of the ceiling temperature as a function of upper layer depth and temperature and radial distance from the plume centreline with or without ceiling vents and forced ventilation.
- d) Determination of maximum ceiling jet temperature and ceiling jet velocity as a function of upper layer depth and radial distance from the plume centreline with or without ceiling vents and forced ventilation.

1.14.2 *Evaluation aspects:*

Calculation methodology:

- Formulation Used: The used formulation is explained in the user's guide.
- Assumptions adopted:
 - The compartment is rectangular in plan
 - JET is a two-zone model where each zone or layer is assumed to be uniform in density and temperature. The temperature and density of the upper layer responds to a growing fire while the lower layer is assumed to remain at ambient temperature and pressure. A fire driven ceiling jet is assumed to flow along the flat ceiling.
 - The fire is characterised by a time dependent heat release rate, HRR, a time dependent radiative fraction, and either a constant fire diameter or a variable fire diameter which is determined using a HRR per unit area for the burning material.
 - The flames from the fire do not touch the ceiling and the fire is always located near the centre of the compartment or curtained area.
- Limitations:
 - The impact of a ceiling vent on the local temperature and velocity of the ceiling jet is neglected.
 - Based on comparisons to experimental data found in the user's guide, the predictions of JET generally agreed with experimental results for compartments with ceiling heights up to 22 m. JET may continue to perform well at ceiling heights greater than 22 m but there has been no experimental comparisons at these greater heights.

Documentation:

- User's guide: "The Zone Fire Model JET: A Model for the Prediction of Detector Activation and Gas Temperature in the Presence of a Smoke Layer" National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6324 (1999).

- Technical guides: “The Zone Fire Model JET: A Model for the Prediction of Detector Activation and Gas Temperature in the Presence of a Smoke Layer” National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6324 (1999).
- Available at: Computer program available on NIST at no cost (<http://fire.nist.gov>). The software and documentation is found under the selection Fire Modelling Software Online
- Papers and validation examples: Comparison with experimental results available in the Technical Guide document.

User’s aspects:

- Interface: Windows
- Input/output reporting: all the output generated by the program is written to a text file.
- Graphic: the program does not plot any graphic in the output file where the output is written.

1.14.3 Conclusions:

- Reliable calculation methodology
- High detailed documentation
- User-friendly
- User knowledge level required: Medium

REFERENCES:

- [1] Olenick S. M. And Carpenter D. J., May 2003, "An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke", Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 13
- [2] Friedman R., 1992, "An International Survey of Computer Models for Fire and Smoke", Journal of Fire Engineering Vol. 4
- [3] Janssens M. L., 2002, "Evaluating Computer Fire Models", Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 13
- [4] ASTM E 1355; ASTM E 1472; ASTM E 1591; ASTM E 1895
- [5] EC3 – Eurocode 3 Part 1.2 (ENV 1993-1-2).
- [6] EC4 – Eurocode 4 Part 1.1 (ENV 1994-1-1) and Part 1.2 (ENV 1994-1-2).
- [7] Twilt L., Hass R., Klingsch W., Edwards M. and Dutta D., 1996, "Design Guide for Structural Hollow Section Columns Exposed to Fire", CIDECT Design Guide 4
- [8] Peacock R. D., Reneke P. A., Jones W. W., Bukowski R. W. And Forney G. P., 2000, "User's Guide for Fast: Engineering Tools for Stimating Fire Growth and Smoke Transport", NIST-SP-921
- [9] Portier R. W., Reneke P. A., Jones W. W and Peacock R. D, 1992, "User's Guide for Cfast Version 1.6", NISTIR-4985
- [10] Peacock R. D., Reneke P. A., Jones W. W. and Forney G. P, 2000, "Tecnicl References for Cfast: An Engineering Tool for Stimating Fire Growth and Smoke Transport", NIST-TON-1431
- [11] Peacock R. D., Jones W. W. and Bukowski R. W., 1993, "Verification of a model of fire and smoke transport", Fire Safety Jaournal Vol. 21"
- [12] Deal S., 1990, "A review of four compartment fires with four compartment fire models", Fire Safety Developments and Safety, Proceedings of the annual meeting of Fire Retardant Chemicals Association
- [13] Duong D. Q., 1990, "The accuracy of Computer Fire models: some comparison with experimental data from Australia", Fire safety Journal Vol. 16
- [14] Davis W. D., Notarianni K. A., and McGrattan K.B., 1996, "Comparison of fire model predictions with experiments conducted in a hangar with a 15 m ceiling", NISTIR-5927
- [15] Cadorin J. F., Franssen J. M., and Pintea D., 2001, "The design Fire Tool Ozone V2.0 – Theoretical Description and Validation On experimental Fire tests", Rapport interne SPEC/2001_01 University of Liege
- [16] Sleich J. B., Cajot L. G., Pierre M., Joyeux D., Aurtenetxe G., Unanua J., Pustorino S., Heise F. J., Salomon R., Twilt L. and Van Oerle J., 2002, "Competitive steel buildings through natural fire safety concepts" Final Report EUR 20360 EN
- [17] Cadorin J. F., 2002, " On the application field of Ozone V2", Rapport interne N° M&S/2002-003 University of Liege
- [18] Cadorin J. F., 2003, "Compartment fire models for structural engineering", Doctoral Thesis of J. F. Cadorin, University of Liege
- [19] Sleich J. B., Cajot L. G., Pierre M., Joyeux D., Moore D., Lennon T., Kruppa J., Hüller V., Hossler D., Dobbernack R., Kirchner U., Eger U., Twilt L., Van Oerle J., Kokkala M. And Hostikka S., 2002, "Natural Fire Safety Concepts – Full Scale Tests, Implementation in the Eurocodes and Development of an user friendly design tool" Final Report EUR 20580 EN
- [20] McGrattan K. B., Forney G. P., Floyd J. E., Hostikka S. And Prasad K., 2002, "Fire Dynamics Simulator (Version 3) – User's Guide", NISTIR-6784
- [21] Forney G. P. and McGrattan K. B., 2003, "User's Guide for Smokeview Version 3.1 – A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data", NISTIR-6980
- [22] McGrattan K. B., Baum H. R., Hamins A., Forney G. P., Floyd J. E., Hostikka S. And Prasad K., 2002, "Fire Dynamics Simulator (Version 3) – Technical Reference Guide", NISTIR-6783
- [23] Hurlley M. J. and Madrzykowski D., 2002, "Evaluation of the computer fire model DETECT-QS", Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, 4th International Conference. Proceedings
- [24] Davis W. D., 1999, "The Zone Fire model JET: A Model for the prediction of detector activation and gas temperature in presence of a smoke layer", NISTIR-6324

WEB LINKS:

www.arcelor.com
www.branz.co.nz/main.php?page=Fire%20Software
www.bre.co.uk/frs/software.jsp
www.cidect.org
www.cticm.com
www.doctorfire.com
www.europrofil.lu
www.fire.nist.gov
www.fire.org
www.firemodelsurvey.com
www.fpe.umd.edu/departement/modeling/index.html
www.framemethod.be/modeling.html
www.fseg.gre.ac.uk
www.irc.nrc-cnrc.gc.ca
www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet
www.labein.es
www.nfpa.org
www.ruukki.com
www.sections.arcelor.com
www.tno.nl
www.ulg.ac.be
www.uni-hannover.de