

OZone V3

User Manual

1. Einführung	3
2. Menüleiste	5
3. Hauptfenster	9
4. Eingabemaske zum Spezifizieren des Brandabschnitts	11
5. Eingabemaske <i>Brand</i>	15
5.1 Brand in einem Brandabschnitt – Anhang E (EN 1991-1-2)	15
5.2 Brand in einem Brandabschnitt – benutzerdefinierter Brand	18
5.3 Lokaler Brand	20
6. Eingabemaske <i>Strategie</i>	22
7. Eingabemaske <i>Parameter</i>	24
7.1 Allgemeine Parameter	24
7.2 Modell mit mitgeführter Luft	25
7.3 Temperatur- und zeitabhängige Öffnungen	26
8. Schaltfläche <i>Thermische Einwirkung</i>	28
9. Eingabemaske <i>Erwärmung</i>	29
9. Eingabemaske <i>Stahlprofil</i>	31
10. Schaltfläche <i>Stahltemperatur</i>	32
Annex A - Zone Model Formulation	33
A1 Two-zone model	34
A2 One-zone model	36
A3. Time integration	37
A4 Partition model	37
A4.1 Partition model formulation	37
A4.2 Connection of the zone and the partition models	39
A5 Switch from two zones to one zone model	42
ANNEX B - EXCHANGE THROUGH VENTS	44
Vertical vents (in walls)	44
Convective exchanges	44
Radiative exchanges	45
Horizontal vents (in the ceiling)	45
Forced vents (smoke extractors)	46
ANNEX C - COMBUSTION MODELS	47
No combustion model	47
$RHR(t) = RHR_{data}(t)$	47
External flaming Combustion model	47
$RHR(t) = RHR_{data}(t) = m \cdot f(t) H_{f,eff}$	48
Extended fire duration combustion model	48

$RHR(t) = RHR_{data}(t) = m_{f,eff}(t)H_{f,eff}$	49
ANNEX D - NATIONAL ANNEXES AND NATIONAL PARAMETERS FOR THE APPLICATION OF THE NATURAL FIRE IN DIFFERENT EUROPEAN COUNTRIES IN THE OZONE SOFTWARE	50
ANNEX E - LOCALISED FIRE PROCEDURE	66
ANNEX F - ANALYSIS STRATEGY AND TRANSITION CRITERIA	68
Bibliography	72

1. Einführung

OZone ist eine benutzerfreundliche Software, die entwickelt wurde, um auf der Basis von nominellen Brandkurven oder Naturbrandmodellen und mithilfe von physikalischen oder chemischen Parametern die von einem Brand generierten thermischen Einwirkungen sowie der Temperaturverlauf in einem Stahlbauteil zu berechnen. OZone befasst sich mit zwei Arten von Naturbrandmodellen: mit lokalen Bränden und mit Bränden in Brandabschnitten. Es besteht auch die Möglichkeit, die Brandschutzdauer mithilfe eines einfachen Modells zu berechnen.

Bei Bränden in Brandabschnitten ermöglicht OZone die Nutzung von Brandmodellen mit einer Zone oder zwei Zonen, wie in Anhang D der EN 1991-1-2 Norm spezifiziert. Zonenmodelle werden mit numerischen Werkzeugen verwendet, um den Verlauf der Gastemperatur während eines Brandes innerhalb eines Brandabschnittes zu berechnen. Diese basieren auf einer begrenzten Anzahl von Annahmen, sind einfach zu handhaben und erlauben eine gute Beurteilung des Temperaturverlaufs in einem Brandabschnitt. Seit dem ersten, von Petersson [SPFE, 1995] entwickelten, numerischen Ein-Zonen-Brandmodell sind wesentlich verbesserte numerische Brandmodelle entstanden. Dazu gehört die Entwicklung von Mehrzonen-, Mehrraum- und rechnergestützten Fluid-Dynamik-Modellen. Obwohl die Zonenmodelle weniger komplex sind, haben sie ihren eigenen Anwendungsbereich und sind ein unentbehrliches Werkzeug bei brandschutztechnischen Anwendungen.

Die wichtigste Annahme bei den Zonenmodellen ist, dass die Brandabschnitte in Zonen unterteilt sind, in denen die Temperaturverteilung jederzeit gleichmäßig ist. In Ein-Zonen-Modellen wird die Temperatur als gleichmäßig innerhalb des gesamten Abschnitts betrachtet. Dieser Modelltyp ist daher gültig im Falle eines vollständig entwickelten Brandes. Zwei-Zonen-Modelle sind geeigneter, falls der Brand eingeschlossen bleibt. In diesem Falle stellt das Zwei-Zonen-Modell die Temperaturverteilung innerhalb des Abschnitts besser dar: eine heiße Schicht in der Nähe der Decke und eine kalte Schicht darunter.

Die in OZone verwendeten Zonenmodelle wurden im Rahmen der ECCS-Forschungsarbeiten „Natural Fire Safety Concept“ [NFSC1] und „Natural Fire Safety Concept - Full Scale Tests, Implementation in the Eurocodes and Development of a User Friendly design tool“ [NFSC2] entwickelt. Die Wahrscheinlichkeitsmethode, entwickelt im Rahmen des [NFSC 1]-Konzeptes, ist in EN 1991-1-2 aufgenommen worden.

OZone beinhaltet sowohl Zwei-Zonen- als auch Ein-Zonen-Modelle mit der Möglichkeit, vom einen zum anderen umzuschalten, wenn bestimmte Kriterien erfüllt werden. Mehrere Verbrennungsmodelle sind auch entwickelt worden, um verschiedene Situationen abzudecken.

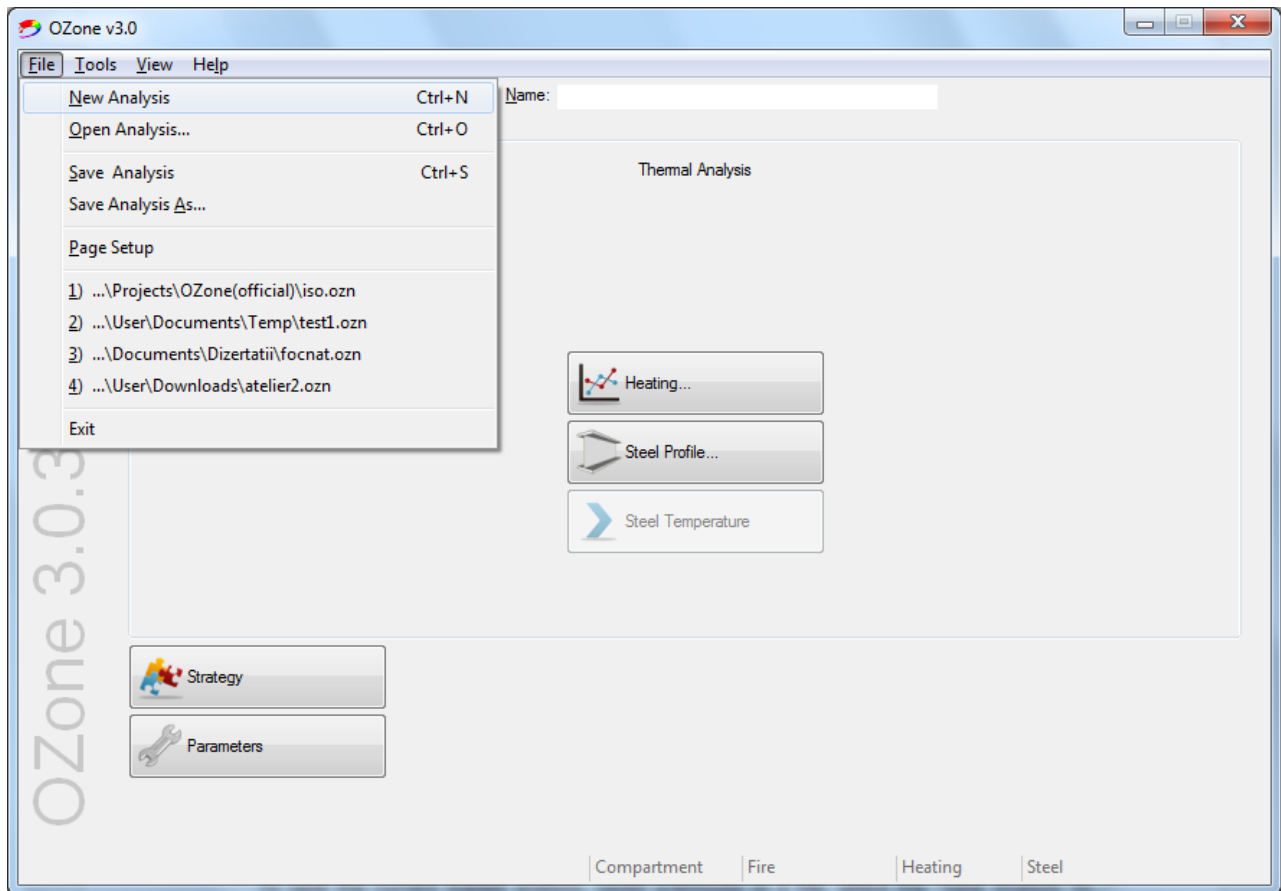
In großen Abschnitten, bei denen kein Feuerüberschlag (Flashover) stattfindet, muss man das Verhalten des Tragwerks unter lokalen Brandbedingungen analysieren. Die in OZone angewendete Vorgehensweise bei einem lokalen Brand basiert auf Arbeiten, die im Rahmen des Forschungsprojektes „RFSR-CT-2012-00023 LOCAFI - Temperature assessment of a vertical steel member subjected to localised fire“ durchgeführt wurden. Bei dieser Vorgehensweise werden die Konfigurationen, in denen der Wärmeübergang auf konvektivem Wärmeaustausch basiert (das Bauteil ist in Flammen verschlungen oder befindet sich unter der Decke innerhalb der Plume), unter Anwendung der in EN 1991-1-2 vorhandenen Gleichungen behandelt. Bei vertikalen Bauteilen, die sich außerhalb des Brandes befinden, wird der Strahlungswärmeaustausch berechnet als ob der Brand als massive Flamme virtuell vorhanden ist, die in allen Richtungen ausstrahlt. OZone nimmt an, dass diese virtuelle Flamme kegelförmig ist. Der Wärmefluss wird für die vier Seiten des umschreibenden Rechtecks des Stahlprofils separat berechnet und der Mittelwert wird dann für das gesamte umschreibende Rechteck des Profils verwendet. Dies bedeutet, dass der Abschirmeffekt implizit berücksichtigt wird.

In OZone ist es möglich, einen lokalen Brand innerhalb eines Abschnitts zu definieren. In diesem Falle errechnet die thermische Analyse die Temperatur innerhalb des Stahlprofils entweder als Folge der heißen Zone des Abschnitts oder des lokalen Brandes oder als maximalen Wert zwischen den beiden.

Die Software wurde durch Vergleiche mit zahlreichen Versuchsergebnissen und CFD-Analysen validiert.

2. Menüleiste

In der Menüleiste befinden sich folgende Menüs: Datei, Werkzeuge, Ansicht und Hilfe (s. Abb. 1).



File-Datei, Tools-Werkzeuge, View-Ansicht, Help-Hilfe, New Analysis-Neue Analyse, Open Analysis-Analyse öffnen, Save Analysis (as)-Analyse speichern (unter), Page Setup-Seite einrichten, Heating-Erwärmung, Steel Profile-Stahlprofil, Steel Temperatur-Stahltemperatur, Strategy-Strategie, Parameters-Parameter, Compartment-Brandabschnitt, Fire-Brand, Steel-Stahl

Abb. 1 Hauptfenster – Menüleiste

- Um die aktuelle Analyse in einer Datei zu speichern, wählen Sie den Befehl *Analyse speichern* aus dem Menü *Datei*.

Wenn die aktuell geladene Analyse schon vorher als eine Datei gespeichert worden ist, wählen Sie den Befehl *Analyse speichern unter* aus dem Menü *Datei* um sie zu speichern.

Beide Befehle öffnen das gemeinsame Dialogfenster *Analyse speichern unter...*, was dem Benutzer erlaubt, den Ordner auszuwählen und den Namen der Datei einzugeben. Die Analysedatei wird mit der *.ozn Erweiterung gespeichert und OZone verknüpft sich mit dieser Datei (d.h. durch Doppelklicken auf dem Dateinamen im Windows Explorer oder durch Auswählen der Befehl *Öffnen* im Kontextmenü wird OZone vom Betriebssystem gestartet und die Datei geöffnet).

Um eine neue Analyse zu starten, wählen Sie den Befehl *Neue Analyse* aus dem Menü *Datei*.

Der Befehl *Seite einrichten* aus dem Menü *Datei* öffnet die gemeinsame Eingabemaske *Seite einrichten*, welche den Benutzer erlaubt, die Papiergröße, die Orientierung und die Seitenränder des gedruckten Charts auszuwählen.

- Der Benutzer kann den Werkstoff für die Hülle und seine thermischen Eigenschaften hinzufügen oder ändern durch Auswählen des Befehls *Wandmaterial eingeben* im Menü *Werkzeuge*. Wählen Sie den Befehl *Stahl-isolierendes Material hinzufügen*, um die Brandschutzstoffe für Stahl hinzufügen oder zu ändern.

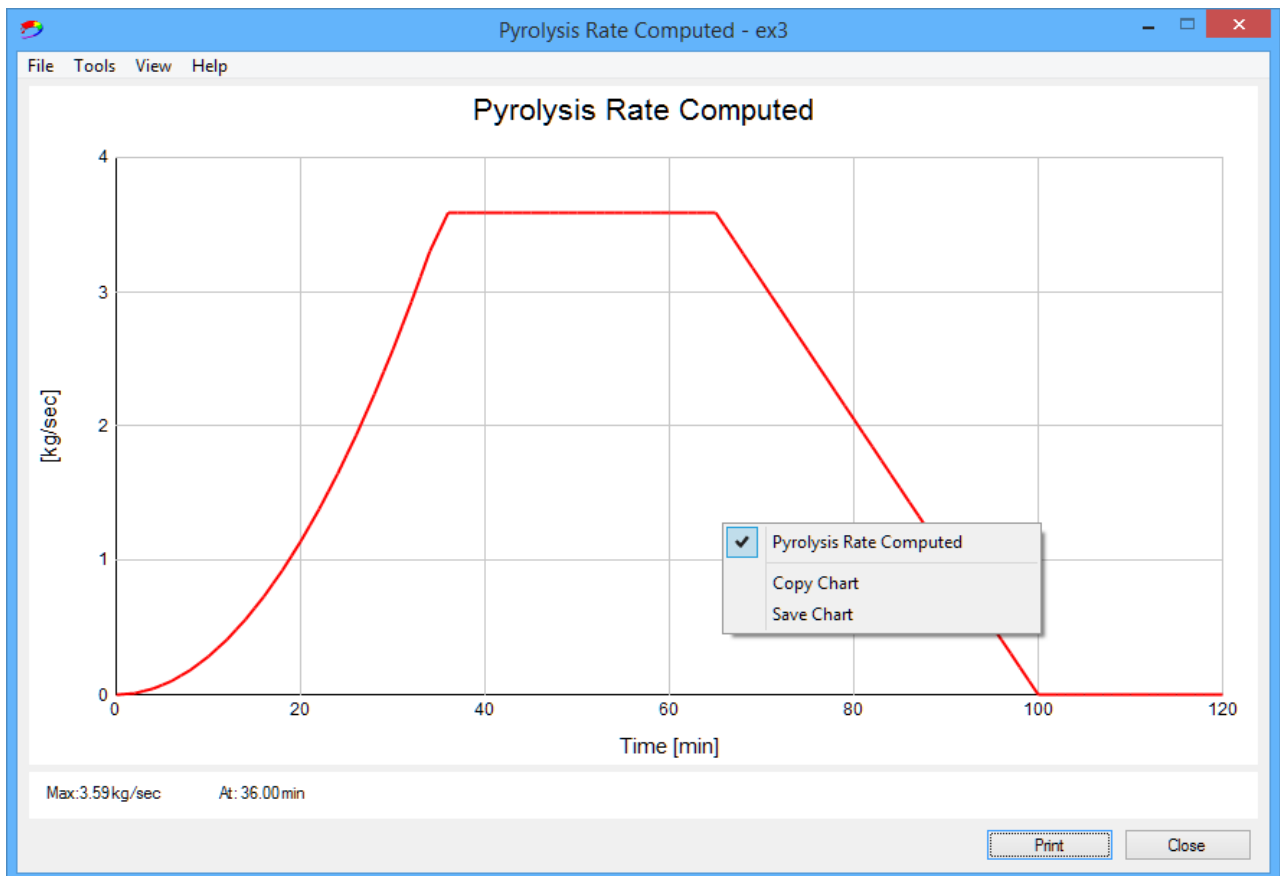
Es ist nicht möglich, das Wandmaterial oder das Stahl-isolierendes Material zu ändern, wenn es keine Änderung bei einem der Fenster gibt. Erscheint bei OZone die Warnung *Eine Datei ist schon geladen*, wählen Sie den Befehl *Neue Analyse* aus dem Menü *Datei* und ändern Sie die Werte in einem der beiden Fenster. Die Änderungen bei den Wandwerkstoffen oder bei den Stahl-isolierenden Materialien finden dann beim Neustart von OZone statt.

Der letzte Befehl im Menü *Werkzeuge* ist der Befehl *Sprache*. Zurzeit sind nur zwei Sprachen abrufbar: englisch und französisch.

Um die Sprache der Benutzeroberfläche in OZone zu ändern, wählen Sie den Befehl *Sprache* aus dem Menü *Werkzeuge* und dann die gewünschte Sprache aus der Dropdown-Liste im erscheinenden Dialogfenster *Sprache auswählen*.

- Das Menü *Ansicht* beinhaltet die Befehle zum Anzeigen entweder der Daten der Analyse (RHR-Daten, Pyrolyserate-Angaben) oder der Ergebnisse (berechnete RHR, berechnete Pyrolyserate, Temperatur der heißen Zone, usw.) in Form von Diagrammen. Je nach Stand der Analyse sind nicht alle Befehle des Menüs *Ansicht* aktiviert. Zum Beispiel der Befehl *Stahltemperatur* ist aktiviert, wenn die Temperatur des Stahls berechnet ist.

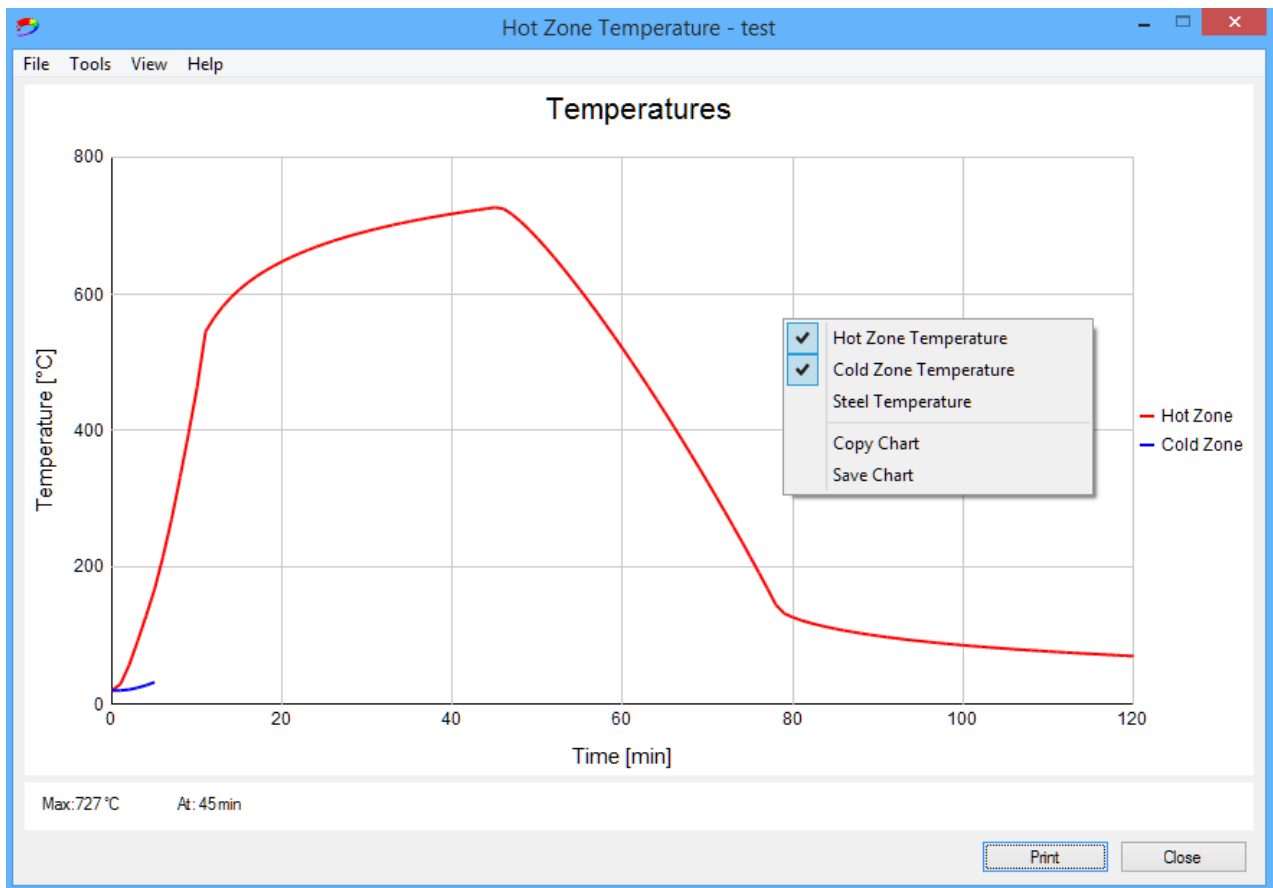
Der letzte Befehl des Menüs *Ansicht* erstellt einen Bericht über die derzeitige Analyse. Der Bericht wird gespeichert als Microsoft Word Datei unter dem Namen der Analysedatei im Ordner mit dem gleichen Namen. Mithilfe des Kontextmenüs können die Daten aus dem Diagramm in Excel exportiert werden. Klicken Sie die rechte Maustaste irgendwo im Diagramm und wählen Sie den Befehl *Diagramm kopieren* aus dem Kontextmenü. Wechseln Sie dann zu Excel und wählen Sie *Einfügen* (s. Abb. 2).



Pyrolysis Rate Computed-Berechnete Pyrolyserate, (Copy Chart-Diagramm kopieren, Save Chart-Diagramm speichern,) Print-Drucken, Close-Schließen

Abb. 2 Diagramm-Fenster

Je nachdem, welche Daten im Diagramm eingezeichnet sind, kann sich der Benutzer bis zu drei Reihen im Diagrammfenster durch Auswählen des Namens der Reihe im Kontextmenü (mittels rechter Maustaste) anzeigen lassen (s. Abb. 3).



Temperatures-Temperaturen, Hot Zone Temperature-Temperatur der heißen Zone, Cold Zone Temperature-Temperatur der kalten Zone, Steel Temperature-Stahltemperatur, (Copy Chart-Diagramm kopieren, Save Chart-Diagramm speichern,) Print-Drucken, Close-Schießen

Abb. 3 Diagramm-Fenster

Zusätzlich zur Analysedatei (mit der *.ozn Erweiterung) beinhaltet der Ordner, in dem sie gespeichert ist, auch die nachfolgenden Dateien:

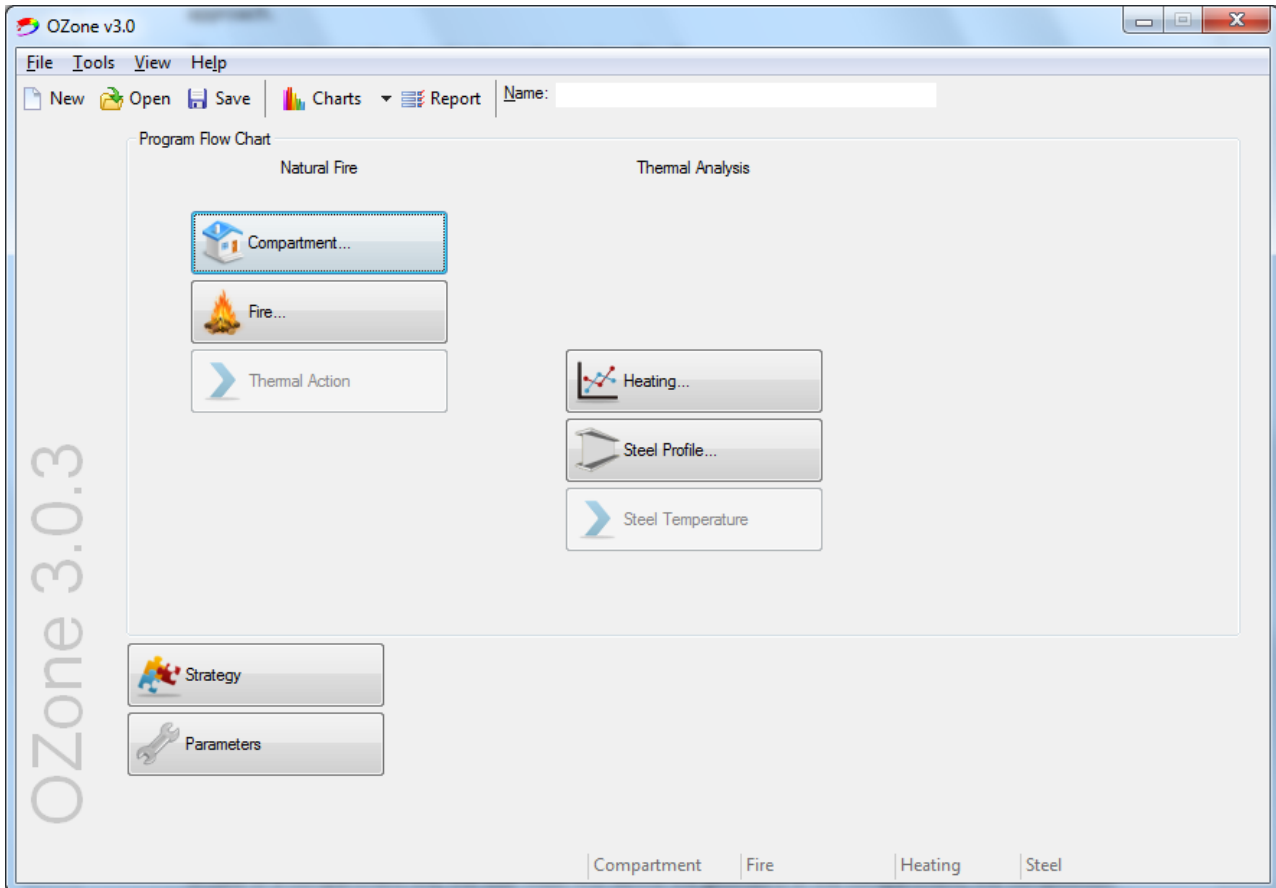
- Filename.pri – ist die Daten-Ausgabedatei, die die Temperatur der heißen bzw. kalten Zone usw. beinhaltet;
- Filename.out – ist die Ausgabedatei, die Daten über die Bekleidung des Abschnitts sowie die Kriterien für den Wechsel vom Zwei-Zonen- zum Ein-Zonen-Modell beinhaltet;
- Filename.nat - ist die Ausgabedatei, die die Gastemperatur beinhaltet, wenn im Fenster *Erwärmung* entweder *Lokaler Brand* oder *Maximaler Wert der beiden* gewählt wird;
- Filename.flx - ist die Ausgabedatei, die den Verlauf des Netto-Wärmeflusses für lokale Brände beinhaltet;
- Filename.stt - ist die Ausgabedatei, die den Temperaturverlauf des Stahls – entweder geschützt oder ungeschützt – beinhaltet.

Abhängig vom Typ des Brandes (Abschnitt oder lokal) und Heizungsszenario werden nicht all diese Dateien im Ordner zu finden sein, wo die Analysedatei gespeichert ist.

3. Hauptfenster

Um die thermischen Einwirkungen zu ermitteln, ermöglicht OZone dem Benutzer, einen Ansatz mit festgelegten Vorgaben (nominelle Brände) oder einen Ansatz mit leistungsabhängigen Festlegungen unter Anwendung eines Zonenmodells zu verwenden.

Das Hauptfenster beinhaltet zwei Spalten (s. Abb. 4).



New-Neu, Open-Öffnen, Save-Speichern, Charts-Diagramme, Report-Bericht, Name-Name, Program Flow Chart-Programm-Ablaufdiagramm, Natural Fire-Naturbrand, Thermal Analysis-Thermische Analyse, Compartment-Brandabschnitt, Steel Profile-Stahlprofil, Steel Temperature-Stahltemperatur, Strategy-Strategie, Parameters-Parameter, Fire-Brand, Steel-Stahl

Abb. 4 Hauptfenster

Die Spalte *Naturbrand* verweist auf die thermischen Einwirkungen, die unter Anwendung der Zonen-Brandmodelle für Abschnitt- oder lokale Brände ausgewertet worden sind.

Im Falle eines Brandes in einem Brandabschnitt muss der Benutzer erst die Abschnittsgeometrie, die Zusammensetzung der Wände, Decke und Boden sowie die Abmessungen und Positionen der Öffnungen mittels der Eingabemaske *Abschnitt* spezifizieren, wie im Kapitel 4 erläutert. Ferner spezifiziert der Benutzer den Brand mithilfe der Eingabemaske *Brand* gemäß der Vorgehensweise des Anhangs E der EN 1991-1-2 oder durch direkte Eingabe (Benutzer definiert), wie im Kapitel 5 erläutert.

Im Falle eines lokalen Brandes kann der Benutzer die Eingabemaske *Abschnitt* überspringen. Um einen lokalen Brand in einem offenem Raum darzustellen, kann der Brand direkt unter Nutzung der Eingabemaske *Brand* spezifiziert werden. Der lokale Brand kann auch innerhalb eines Abschnitts betrachtet werden. In diesem Falle muss die Eingabemaske *Abschnitt* verwendet werden, um die Hülle zu spezifizieren.

Die Analyse wird durch Drücken der Schaltfläche *Thermische Einwirkung* ausgeführt.

Die Spalte *Thermische Analyse* des allgemeinen Fensters ermöglicht dem Benutzer den Temperaturverlauf in einem Stahlprofil auf der Basis der thermischen Einwirkung zu berechnen, entweder unter Anwendung eines Naturbrandes (erste Spalte) oder durch nominelle Brandkurven. Die Auswahl der thermischen Einwirkung (nominelle Brandkurve, Brand in einem Brandabschnitt, lokaler Brand) wird in der Eingabemaske *Erwärmung* durchgeführt.

Im Falle einer thermischen Einwirkung, die schon mithilfe eines Modells für einen Naturbrand berechnet worden ist, kann unter Anwendung der Eingabemaske *Erwärmung* entweder die Temperatur der heißen Zone (aus einem Brand in einem Brandabschnitt) oder die lokale Brandtemperatur zur Berechnung der Erwärmung des Stahlprofils verwendet werden.

Sind die Kenndaten der Hülle in der Eingabemaske *Abschnitt* und ein lokaler Brand in der Eingabemaske *Brand* spezifiziert, kann der Benutzer für die Erwärmung des Stahlprofils auch den maximalen Wärmefluss zwischen der heißen Zone (Brand in einem Brandabschnitt) und dem lokalen Brand anwenden. In diesem Falle ist es nicht erforderlich, einen Brand in einem Brandabschnitt in der Eingabemaske *Brand* zu spezifizieren (Anhang E – EN 1991-1-2/ benutzerdefinierter Brand).

Im Falle der nominellen Brandkurve ist es in der Eingabemaske *Allgemein* nicht erforderlich, sich mit dem Bereich *Naturbrand* zu beschäftigen. Der Benutzer kann die nominelle Kurve direkt in der Eingabemaske *Erwärmung* auswählen.

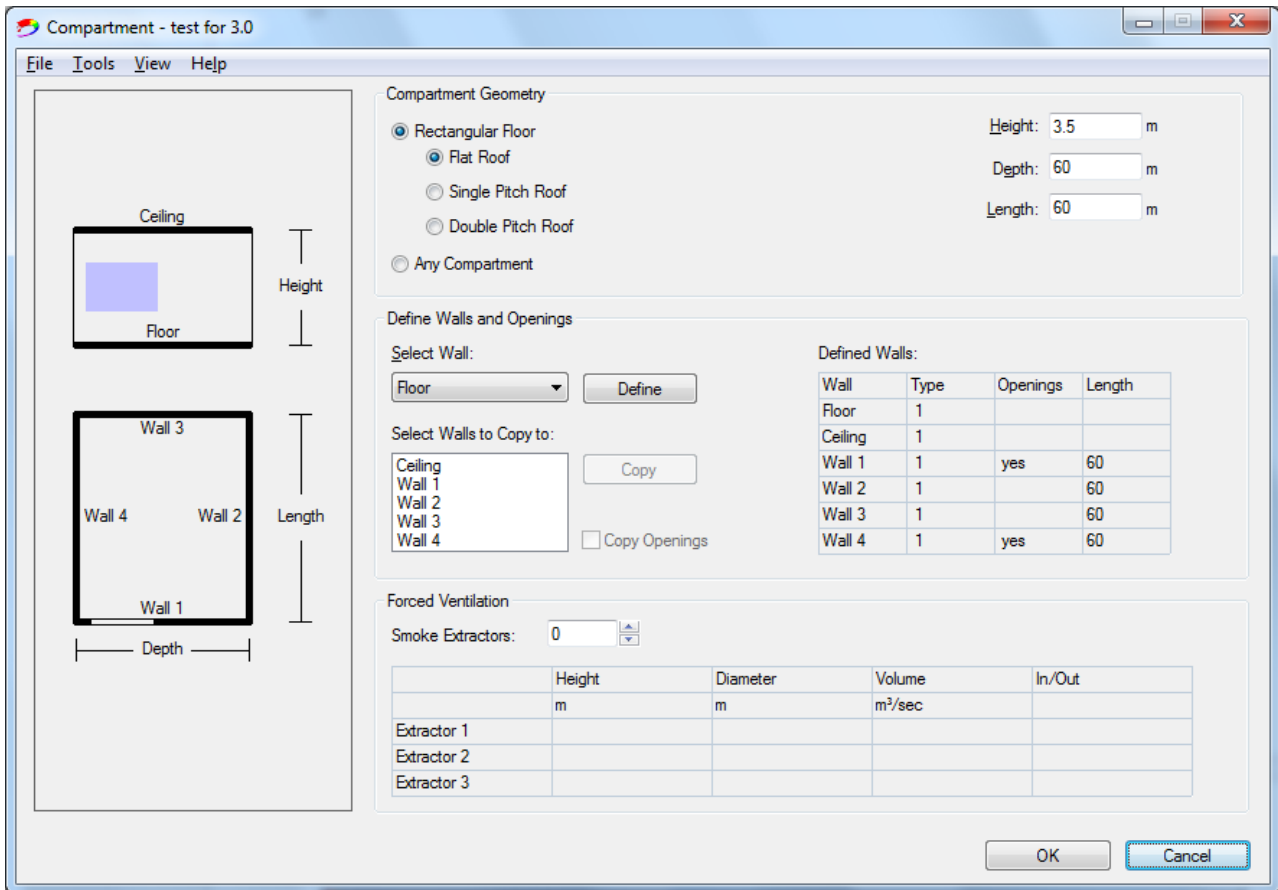
Das geschützte bzw. ungeschützte Stahlprofil wird in der Eingabemaske *Stahlprofil* spezifiziert. Die Analyse wird durch Klicken auf der Schaltfläche *Stahltemperatur* ausgeführt.

Die Eingabemasken *Strategie* und *Parameter* werden in den Kapiteln 6 und 7 erläutert.

4. Eingabemaske zum Spezifizieren des Brandabschnitts

Wenn in OZone ein Brand in einem Brandabschnitt modelliert wird, ist der erste Schritt die Wahl der Abschnittform (s. Abb. 3): entweder ein rechteckiger Boden (mit Flachdach, Pultdach oder Satteldach) oder ein nicht-rechteckiger Boden (jeder Abschnitt) mit einem Flachdach.

Ist der Abschnitt ein rechteckiger Boden, müssen die Abmessungen, d.h. die Länge, Höhe und Tiefe, in Meter eingegeben werden. Bei einem Abschnitt mit einem nicht-rechteckigen Boden ist die maximale Anzahl der Wände vier und die Oberfläche des Abschnitts muss in m² eingegeben werden.



Ceiling-Decke, Floor-Boden, Wall 1-Wand 1, Wall 2-Wand 2, Wall 3-Wand 3, Wall 4-Wand 4, Height-Höhe, Length-Länge, Depth-Tiefe, Compartment Geometry- Geometrie des Brandabschnittes, Rectangular Floor-Rechteckiger Boden, Flat Roof-Flachdach, Single Pitch Roof-Pultdach, Double Pitch Roof-Satteldach, Any Compartment-Irgendein Brandabschnitt, Define Walls and Openings-Wände und Öffnungen spezifizieren, Select Wall-Wände auswählen, Defined Walls-Spezifizierte Wände, Forced Ventilation-Zwangsbelüftung, Smoke Extractors-Rauchabzüge, Diameter-Durchmesser,

Abb. 5 Eingabemaske *Brandabschnitt*

Um die Bekleidung eines Brandabschnitts (Boden / Decke / Wand) zu definieren, wählen Sie den entsprechenden Punkt aus der Dropdown-Liste *Wand* und klicken Sie dann auf die Schaltfläche *Spezifizieren*. Dies öffnet die Eingabemaske *Bekleidung des Brandabschnitts spezifizieren* (siehe Abb.).

Für jede Bekleidung des Abschnitts (Boden / Decke / Wand) können im Eingabefeld *Dicke* bis zu vier Schichten ausgewählt worden. Werden mehrlagige Bekleidungen verwendet, müssen sie von außen nach innen spezifiziert werden, angefangen mit Bekleidung 1 (innen). Für vordefinierte Werkstoffe aus der Dropdown-Liste muss man nur die Schichtdicke eingeben. Durch Eingabe sämtlicher Kenndaten in der Tabelle kann der Benutzer jedes Material definieren (Dichte, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärme, relative Emissivität auf heißen und kalten Oberflächen), siehe Abb. 6.

Wall 1 - test for 3.0

File Tools View Help

Wall Length: 60 m

	Material	Thickness	Unit mass	Conductivity	Specific Heat	Rel Emissivity	Rel Emissivity
		cm	kg/m ³	W/mK	J/kgK	Hot Surface	Cold Surface
Layer 1	Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	15	2300	1.6	1000	0.8	0.8
Layer 2							
Layer 3							
Layer 4							

Enter each layer on a single row in the table above (up to four layers). Just click in a cell and edit it's value. If not found in the list of materials you can define your own material, by filling in the appropriate cells. Define your layers starting from Layer 1 (Inside).

Define your openings if any (up to three openings in a single wall). Click in the desired cell and input your values. Start from Opening 1.

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu.

Inside

Layer 1
Layer 2
Layer 3
Layer 4

Outside

	Sill Height Hi	Soffit Height Hs	Width	Variation	Adiabatic
	m	m	m		
Opening 1	0	2	5	Constant	no
Opening 2					
Opening 3					

OK Cancel

Wall Length-Wandlänge, Material-Material, Thickness-Dicke, Hot Surface-Heiße Oberfläche, Cold Surface-Kalte Oberfläche, Layer 1-Schicht 1, Layer 2-Schicht 2, Layer 3-Schicht 3, Layer 4-Schicht 4, Inside-Innen, Outside-Außen,

Abb. 6 Eingabemaske zum Spezifizieren der Brandabschnitt-Bekleidung

Wall 1 - test for 3.0

File Tools View Help

Wall Length: 60 m

	Material	Thickness	Unit mass	Conductivity	Specific Heat	Rel Emissivity	Rel Emissivity
		cm	kg/m ³	W/mK	J/kgK	Hot Surface	Cold Surface
Layer 1	Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	15	2300	1.6	1000	0.8	0.8
Layer 2							
Layer 3							
Layer 4							

Enter each layer on a single row in the table above (up to four layers). Just click in a cell and edit it's value. If not found in the list of materials you can define your own material, by filling in the appropriate cells. Define your layers starting from Layer 1 (Inside).

Define your openings if any (up to three openings in a single wall). Click in the desired cell and input your values. Start from Opening 1.

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu.

Ceiling

--	--	--

Floor

	Sill Height Hi	Soffit Height Hs	Width	Variation	Adiabatic
	m	m	m		
Opening 1	0	2	5	Constant	no
Opening 2				Constant	
Opening 3				Temp Dependent	

OK Cancel

Wall Length-Wandlänge, Material-Material, Thickness-Dicke, Layer 1-Schicht 1, Layer 2-Schicht 2, Layer 3-Schicht 3, Layer 4-Schicht 4, Hot Surface-Heiße Oberfläche, Cold Surface-Kalte Oberfläche, Ceiling-Decke, Floor-Boden, Temp Dependent-Temperaturabhängig, Stepwise-Schrittweise, Linear-Linear, Time Dependent-Zeitabhängig,

Enter each layer on a single row in the table above (up to four layers). Just click in a cell and edit it's value. If not found in the list of materials you can define your own material, by filling in the appropriate cells. Define your layers starting from Layer 1 (Inside). - Geben Sie jede Schicht in einer separaten Zeile in der oberen Tabelle ein (bis zu 4 Schichten). Dann klicken Sie in einer Zelle und bearbeiten Sie den Wert. Wenn Ihr Material sich nicht in der Materialliste befindet, spezifizieren Sie es durch das Ausfüllen der entsprechenden Zeile. Spezifizieren Sie Ihre Schichten ab Schicht 1 (innen) an.

Define your openings if any (up to three openings in a single wall). Click in the desired cell and input your values. Start from Opening 1. – Die Öffnungen spezifizieren (falls vorhanden); bis zu 3 Öffnungen pro Wand. Klicken Sie in der gewünschten Zelle und geben Sie einen Wert ein. Fangen Sie mit Öffnung 1 an.

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu. -Zum Löschen oder Einfügen einer Zeile rechtsklicken in der Kopfzeile und den gewünschten Befehl aus dem Popupmenü wählen.

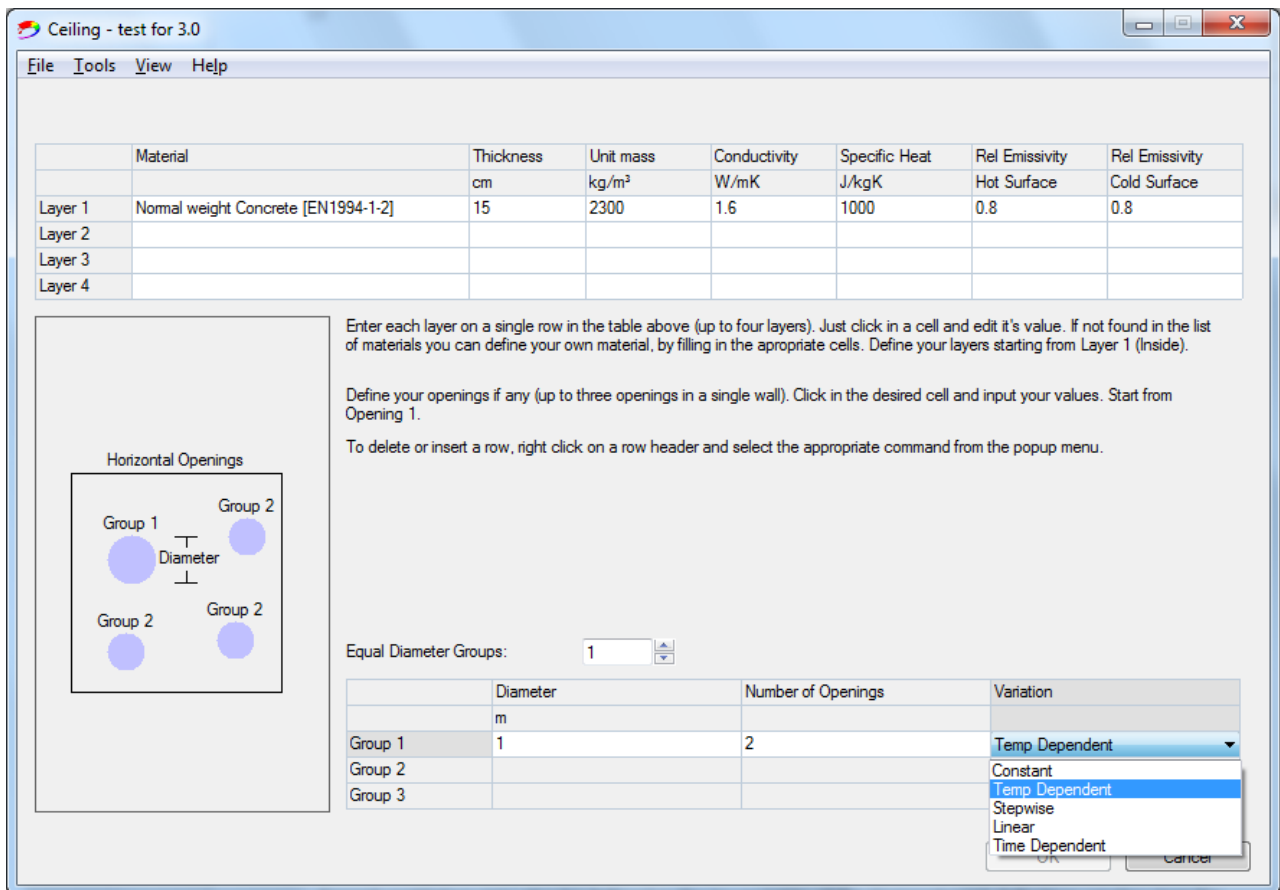
Sill Height = Fenstersimshöhe / Soffit Height = Laibungshöhe / Width = Laibungsbreite
Variation = Variante

Abb. 7 Eingabemaske zum Spezifizieren der vertikalen Öffnungen

Horizontale bzw. vertikale Öffnungen innerhalb der Decke oder der Wände können in der Eingabemaske zum Spezifizieren der Brandabschnitt-Bekleidung eingegeben werden.

Bis zu drei Öffnungen pro Wand können festgelegt werden. Die Höhe des Fenstersimses sowie die Höhe und Breite der Laibung müssen für jede Öffnung eingegeben werden, in Meter (s. Abb. 7). Als Standardeinstellung wird eine feste Öffnung vorgeschlagen, aber eine Änderung der Öffnung kann aus der Dropdown-Liste *Variante* gewählt werden. Die Optionen (*Temperaturabhängig / Schrittweise / Linear / Zeitabhängig*) werden in Kapitel 7 Parameter erläutert. Siehe Anhang A hinsichtlich der Option *Adiabatisch* und für eine detaillierte Erklärung des Wärmeaustausches durch Öffnungen.

Ist die Decke schon festgelegt worden, können in der unteren Tabelle horizontale Öffnungen spezifiziert werden (siehe). Es können bis zu drei Gruppen mit dem gleichen Durchmesser eingetragen werden. Der Durchmesser in Meter und die Anzahl der Öffnungen jeder Gruppe müssen eingegeben werden. Als Standardeinstellung wird eine feste Öffnung vorgeschlagen, doch kann eine andere Öffnungsvariante aus der Dropdown-Liste *Variante* gewählt werden. Die Optionen (*Temperaturabhängig / Schrittweise / Linear / Zeitabhängig*) werden in Kapitel 7 Parameter erläutert.



Wall Length-Wandlänge, Material-Material, Thickness-Dicke, Layer 1-Schicht 1, Layer 2-Schicht 2, Layer 3-Schicht 3, Layer 4-Schicht 4, Hot Surface-Heiße Oberfläche, Cold Surface-Kalte Oberfläche, Horizontal Openings-Horizontale Öffnungen, Diameter-Durchmesser, Group 1-Gruppe 1, Group 2-Gruppe 2, Temp Dependent-Temperaturabhängig, Stepwise-Schrittweise, Linear-Linear, Time Dependent-Zeitabhängig,

Enter each layer on a single row in the table above (up to four layers). Just click in a cell and edit its value. If not found in the list of materials you can define your own material, by filling in the appropriate cells. Define your layers starting from Layer 1 (Inside). -- Geben Sie jede Schicht in einer separaten Zeile in der oberen Tabelle ein (bis zu 4 Schichten). Dann klicken Sie in einer Zelle und bearbeiten Sie den Wert. Wenn Ihr Material sich nicht in der Materialliste befindet, spezifizieren Sie es durch das Ausfüllen der entsprechenden Zeile. Spezifizieren Sie Ihre Schichten ab Schicht 1 (innen) an.

Define your openings if any (up to three openings in a single wall). Click in the desired cell and input your values. Start from Opening 1. -- Die Öffnungen spezifizieren (falls vorhanden); bis zu 3 Öffnungen pro Wand. Klicken Sie in der gewünschten Zelle und geben Sie einen Wert ein. Fangen Sie mit Öffnung 1 an.

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu. -Zum Löschen oder Einfügen einer Zeile rechtsklicken in der Kopfzeile und den gewünschten Befehl aus dem Popupmenü wählen.

Abb. 8 Definition of the horizontal openings

Um den Brandabschnitt zu spezifizieren kann auch Zwangsbelüftung in der unteren Tabelle des Fensters eingegeben werden (siehe Abb.). Bis zu drei Einrichtungen können spezifiziert werden – durch Angabe des Durchmessers und Höhe in Meter über den Boden, Volumen der Ansaug- (In) oder Fortluft (Out) in m^3/s . Siehe Anhang B für eine Erläuterung über Rauchabzüge.

5. Eingabemaske Brand

Die Eingabemaske Brand ermöglicht das Spezifizieren eines Brandes in einem Brandabschnitt (mithilfe des Anhangs E der EN 1991-1-2 und der entsprechenden nationalen Anhänge oder eines benutzerdefinierten Brandes) oder eines lokalen Brandes (s. Abb. 9).

The screenshot shows the 'Fire - test for 3.0' software interface. It features a menu bar (File, Tools, View, Help) and a main window with several sections:

- Compartment Fire:** Radio buttons for 'Annex E (EN 1991-1-2)' (selected) and 'User Defined Fire'.
- Localised Fire:** Radio button for 'Localised Fire'.
- National Annex:** A dropdown menu set to 'Default'.
- Table:** A table with columns: Occupancy, Fire Growth Rate, RHRf, Fire Load $q_{f,k}$, and Danger of Fire Activation. The row for 'Office (standard)' shows: Medium, 250, 511, and 1.
- Active Fire Fighting Measures:** A list of measures with checkboxes and associated $\delta_{n,i}$ values:
 - Automatic Water Extinguishing System: $\delta_{n,1}=1$
 - Independent Water Supplies: Radio buttons 1 (selected) and 2; $\delta_{n,2}=1$
 - Automatic Fire Detection by Heat: $\delta_{n,3}=1$
 - Automatic Fire Detection by Smoke: $\delta_{n,5}=1$
 - Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade: $\delta_{n,6}=1$
 - Work Fire Brigade: $\delta_{n,8}=1$
 - Off Site Fire Brigade: $\delta_{n,9}=1$
 - Safe Access Routes: $\delta_{n,10}=1$
 - Staircases Under Overpressure in Fire Alarm: $\delta_{n,10}=1$
 - Fire Fighting Devices: $\delta_{n,9}=1$
 - Smoke Exhaust System: $\delta_{n,10}=1$
- Fire Info:** Input fields for Max Fire Area (3.141593 m²), Fire Elevation (0 m), and Fuel Height (0 m).
- Design Fire Load:** Input fields for Fire Risk Area (3.141593 m²), Danger of Fire Activation ($\delta_{q,1}=0.77$), and Active Measures ($\prod \delta_{n,i}=1$). Below these, the formula $q_{f,d} = \delta_{q,1} \delta_{q,2} \prod \delta_{n,i} m q_{f,k} = 314.8 \text{ MJ/m}^2$ is displayed.
- Combustion:** Input fields for Combustion Efficiency Factor (0.8), Combustion Model (Extended fire duration), and Stoichiometric Coefficient (1.27).

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are located at the bottom right.

Compartment Fire-Abschnittbrand, Localised Fire-Lokaler Brand, User Defined fire-Benutzerdefinierter Brand, National Annex-Nationaler Anhang, Default-Standard-einstellung, Fuel Height-Treibstoffhöhe, Max Fire Area-Maximale Brandfläche, Active Fire Fighting Measures-Aktive Brandbekämpfungsmaßnahmen, Automatic Water Extinguishing System-Automatisches Wasserlöschsystem, Automatic Fire Detection by Heat-Automatische Branderkennung durch Hitze, Automatic Fire Detection by Smoke-Automatische Branderkennung durch Rauch, Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade-Automatische Alarmübertragung zur Feuerwehr, Works Fire Brigade-Werksfeuerwehr, Off Site Free Brigade-Externe Feuerwehr, Safe Access Routes-Sichere Zufahrtswege, Staircases Under Overpressure in Fire Alarm-Treppenhäuser unter Überdruck bei Feueralarm, Fire Fighting Devices-Brandbekämpfungsgeräte, Smoke Exhaust System-Rauchabzugssystem, Active Measures-Aktive Maßnahmen, Combustion-Verbrennung, Combustion Efficiency Factor-Verbrennungseffizienzfaktor, Combustion Model-Verbrennung Model, Stoichiometric Coefficient-Stöchiometrischer Koeffizient

Abb. 9 Eingabemaske Brand

5.1 Brand in einem Brandabschnitt – Anhang E (EN 1991-1-2)

Als Standardeinstellung werden die Werte von EN 1991-1-2 Anhang E vorgeschlagen, aber der Benutzer kann einen nationalen Anhang aus der Dropdown-Liste *Nationale Anhänge* auswählen oder benutzerdefinierte Werte verwenden. Für die Anwendung bei einem Naturbrand stellt Anhang C die nationalen Parameter von den europäischen Staaten dar, wessen nationale Anhänge in OZone verfügbar sind.

Nach Anhang E der EN 1991-1-2 (Standardeinstellung), ergibt sich der Bemessungswert der Brandlastdichte durch:

$$q_{f,d} = m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \prod \delta_{ni} \cdot q_{f,k}$$

Als erster Schritt sollten die Parameter bezüglich der Belegung eingegeben werden (*Feuerwachstumsrate / Maximale Wärmefreisetzungsrate / Charakteristische Brandlastdichte / Brandentstehungsgefahr*). OZone beinhaltet tabellierte Werte dieser Parameter nach Anhang E der EN 1991-1-2, welche aus der Dropdown-Liste *Belegung* ausgewählt werden können. Sollten andere Werte erforderlich sein, kann der Benutzer diese über *Benutzerdefiniert* in der gleichen Dropdown-Liste eingeben.

Die charakteristische Brandlastdichte q_{fk} ist das in real untersuchten Brandabschnitten erhaltenen 80%-Fraktile der Brandlastverteilung. Daten sind für unterschiedliche Arten von Abschnittsbelegungen vorhanden. Um die charakteristische Brandlastdichte zu berechnen wurde erst die in den Abschnitten vorhandene Masse des brennbaren Stoffes gemessen, dann multipliziert mit der Verbrennungswärme des Brennstoffs und schließlich dividiert durch die Bodenfläche des Abschnitts. In diesen Bewertungen wurde die gesamte Verbrennungswärme berücksichtigt.

Die Wachstumsphase des Brandes ist durch die Feuerwachstumsrate t_a charakterisiert und stellt den Zeitpunkt dar, an den die Brandfläche A_f so gewachsen ist, dass sie eine Wärmefreisetzungsrate von 1 MW aufweist.

Die maximale Wärmefreisetzungsrate je Flächeneinheit des Brandes (RHR_f) ist die maximale Energiemenge bezogen auf 1 m² des Brandes, die bei einer brandlastgesteuerten Situation im stationären Zustand freigesetzt werden kann. Der RHR_f -Wert für verschiedene Arten von Abschnittsbelegungen ist im Anhang E der EN 1991-1-2 zu finden. Die RHR_f -Werte basieren auf echte Brände und berücksichtigen unvollständige Verbrennung.

Die Feuerwachstumsrate, die maximale Wärmefreisetzungsrate je Flächeneinheit des Brandes und die charakteristische Brandlastdichte sind in Abhängigkeit der Belegung im Anhang E der EN 1991-1-2 angegeben.

Der Einfluss der Brandentstehungsgefahr wird durch die δ_{q2} -Faktoren aus Anhang E der EN 1991-1-2 berücksichtigt.

Der Einfluss aktiver Maßnahmen wird durch die $\delta_{n,i}$ -Faktoren aus Anhang E der EN 1991-1-2 berücksichtigt. Innerhalb der Gruppe *Aktive Brandbekämpfungsmaßnahmen* sollte der Benutzer die Verfügbarkeit der Optionen durch Eingabe oder Entfernen eines Hakens spezifizieren.

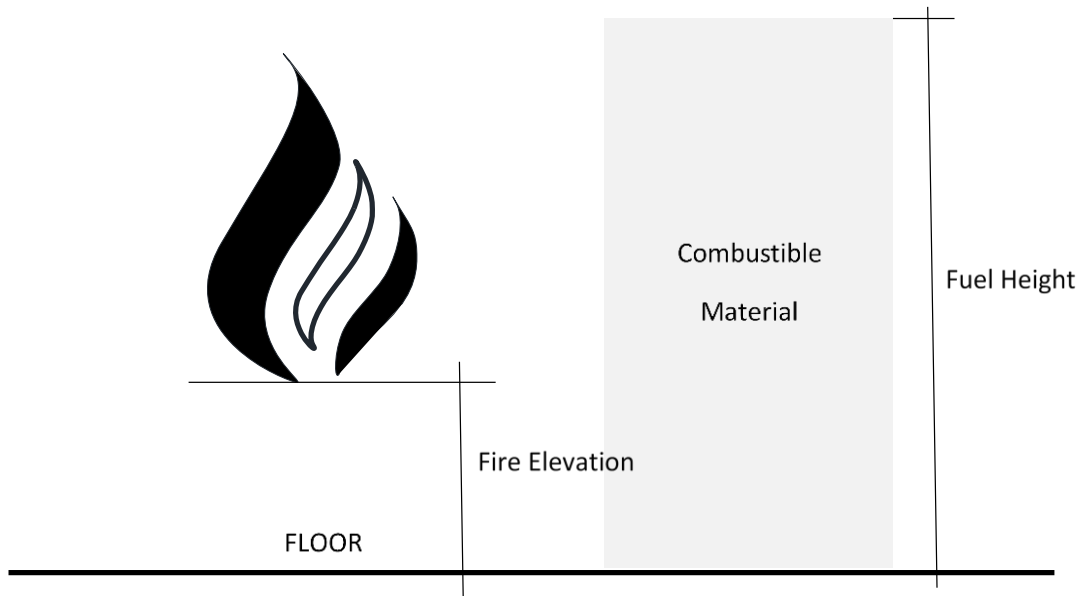
Der Einfluss der Abschnittsfläche wird durch den δ_{q1} -Faktor berücksichtigt, der automatisch als Funktion der Abschnittsfläche berechnet wird. Die δ_{q1} -Werte können mit der Gleichung (1) angenähert werden. Diese Gleichung basiert auf eine Anpassung der Werte aus der Tabelle E1 der EN 1991-1-2.

$$\delta_{q1} = 0.1688 \cdot \ln(A_f) + 0.5752 \quad (1)$$

Die maximale Brandfläche $A_{fi,max}$ ist die maximale Fläche des brennenden Brennstoffs, d.h. die maximale Bodenfläche, auf der sich Brennstoffe befinden. In den meisten Fällen kann die Bodenfläche als die maximale Brandfläche genommen werden. OZone berechnet diesen Wert mithilfe der in der Eingabemaske *Brandabschnitt* eingegebenen Daten und verwendet ihn als die Standardeinstellung. Der Benutzer kann andere Werte für die maximale Brandfläche verwenden, und diese können kleiner als die Fläche des Abschnitts sein.

Die Standardeinstellung der Höhenposition des Brandes ist in Bodenhöhe. Der Benutzer kann eine andere Höhenposition eingeben (s. Abb. 10). Diese Position kann die Kriterien für den Feuerüberschlag beeinflussen, wie im Anhang F erläutert.

Die Standardeinstellung der Brennstoffhöhe ist in Bodenhöhe. Der Benutzer kann eine andere maximale Höhe der brennbaren Stoffe innerhalb des Abschnitts eingeben (s. Abb. 10). Diese Position kann die Kriterien für den Feuerüberschlag beeinflussen, wie in Anhang F erläutert.



Floor – Boden, Fire Elevation – Höhenposition des Brandes, Combustible Material – Brennbare Material, Fuel Height - Brennstoffhöhe

Abb. 10 Höhenposition des Brandes sowie Brennstoffhöhe

Die Standardeinstellung des Abbrandfaktors ist der in EN 1991-1-2 gegebenen Wert, d.h. $m = 0,8$. Der Benutzer kann einen anderen Wert, eine andere Funktion der Belegung oder eine andere Art der Brandlast spezifizieren.

OZone-Benutzer müssen zwischen drei verschiedener *Verbrennungsmodelle* wählen. Beim Auswählen der Option *Kein Verbrennungsmodell* beeinflusst das Vorhandensein von Sauerstoff im Brandabschnitt die Wärmefreisetzungsrates nicht. Ist kein Sauerstoff mehr innerhalb des Brandabschnitts vorhanden, begrenzt das Verbrennungsmodell *Brand durch eine externe Flamme* die Menge der Energie, die innerhalb des Brandabschnitts freigesetzt wird, und das Verbrennungsmodell *Verlängerte Branddauer* begrenzt die Menge der Energie, die innerhalb des Brandabschnitts freigesetzt wird und verlängert die ursprüngliche Brenndauer. Weitere Details sind Anhang B zu entnehmen.

Der OZone-Algorithmus verwendet einen stöchiometrischen Koeffizienten von 1,27. Der Benutzer kann einen anderen Wert mithilfe der Option *Benutzerdefinierter Brand* festlegen.

5.2 Brand in einem Brandabschnitt – benutzerdefinierter Brand

Unter Anwendung der Option *Benutzerdefinierter Brand* in der Eingabemaske *Brand* ist es möglich, die Brandkurve für jeden Brandabschnitt zu spezifizieren. Wie im Abb. 11 zu sehen ist, besteht die Tabelle links aus vier Spalten: Zeit (in Sekunden), RHR (Wärmefreisetzungsrates in MW), mf (die Pyrolyserate in kg/s) und die Brandfläche in m².

Point	Time	RHR	mf	Fire Area
	sec	MW	kg/s	m ²
1	0	0	0	0
2	60	0.2	0.014	0.628
3	120	0.4	0.029	1.257
4	180	0.6	0.043	1.885
5	240	0.8	0.057	2.513
6	300	1	0.071	3.142
7	360	1	0.071	3.142
8	420	1	0.071	3.142
9	480	1	0.071	3.142
10	540	1	0.071	3.142
11	600	1	0.071	3.142
12	660	1	0.071	3.142
13	720	1	0.071	3.142
14	780	0.6667	0.048	2.095
15	840	0.3333	0.024	1.047
16	900	0	0	0
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

Max Fire Area-Maximale Brandfläche, Only RHR-Nur RHR, Only mf-Nur mf, RHR and mf-RHR und mf, Fire Area-Brandfläche

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu. -Zum Löschen oder Einfügen einer Zeile, rechtsklicken in der Kopfzeile und den gewünschten Befehl aus dem Popupmenü wählen.

Abb. 11 Eingabemaske *Benutzerdefinierter Brand*

Die maximale Brandfläche (in m²), die Höhenposition des Brandes (in m) und die Brennstoffhöhe (in m) können unter der Gruppe *Brandinformation* spezifiziert werden (s. Abb. 9). Die Bedeutung der Parameter innerhalb der Gruppe *Verbrennung* ist die gleiche, die im vorherigen Absatz definiert worden ist (s. Abb. 9).

Die Gruppe *Benutzerdefinierte Feuersäule* sperrt oder entsperrt einige der Spalten der Tabelle. Ist die Option *Nur RHR* ausgewählt (Standardeinstellung), sind nur die ersten zwei Spalten (Zeit und RHR) editierbar.

Ist *Nur mf* ausgewählt, sind die *Zeit-* und *mf*-Spalten editierbar. Ist *RHR und mf* ausgewählt, ist zusätzlich zur *Zeit*-Spalte sowohl die *RHR*- als auch die *mf*-Spalte editierbar.

Der Zusammenhang zwischen den Parametern ist:

$$RHR(t) = m \cdot H_{c,net} \cdot \dot{m}_{fi}(t) \quad (2)$$

wobei:

m ist der Abbrandfaktor

$H_{c,net}$ ist die Verbrennungswärme des Brennstoffs.

Ist die Brandfläche bei jeder Zeitstufe bekannt, kann der Benutzer beim Checkbox *Brandfläche* einen Haken hinzufügen, und in der linken Tabelle wird dann die Spalte *Brandfläche* editierbar. So können die Werte für die Brandfläche über Zeit in die Tabelle eingegeben werden.

Sind die Werte der Brandfläche über Zeit nicht bekannt, berechnet OZone $A_{fi}(t)$ unter Anwendung von:

$$A_{fi}(t) = A_{fi,max} \cdot \frac{RHR(t)}{RHR_{max}} \quad (3)$$

wobei:

$A_{fi,max}$ ist die maximale Brandfläche spezifiziert in der Gruppe *Brandinformation*.

Vier Szenarien sind möglich.

Fall 1. RHR, mf und Brandfläche sind vom Benutzer in die Tabelle eingegeben

Sind die kompletten Daten vorhanden, kann der Benutzer Daten in alle vier Spalten eingeben. Dieser Fall entspricht Versuchen, in denen der Mengenverlust und die Wärmefreisetzungsrates innerhalb des Brandabschnitts gemessen worden sind. Zu jedem Zeitpunkt ist auch die Brandfläche bekannt. Diese Situation könnte entstehen beispielsweise beim Modellieren eines Pool-Brand-Versuchs in natürlicher Größe mit zwei Zonen und mit Messung des Massenverlustes und der RHR bei Sauerstoffarmut in der oberen Schicht der Einrichtung zur Gasabsaugung. In einer solchen Situation ist die Anwendung eines Verbrennungsmodells nicht möglich.

Fall 2. RHR und mf sind vom Benutzer in die Tabelle eingegeben

Dieser Fall entspricht Versuchen, in denen der Mengenverlust und die Wärmefreisetzungsrates innerhalb des Brandabschnitts gemessen worden sind. Die Brandfläche ist unbekannt und es wird angenommen, dass sie proportional zur Wärmefreisetzungsrates ist. In einer solchen Situation ist die Anwendung eines Verbrennungsmodells nicht möglich.

Fall 3. RHR oder mf sowie die Brandfläche sind vom Benutzer in die Tabelle eingegeben

Dieser Fall entspricht Versuchen, in denen der Mengenverlust oder die Wärmefreisetzungsrates innerhalb des Brandabschnitts gemessen worden ist. Die unbekannte Größe kann auf der Basis der Gleichungen (2) und (3) abgeleitet werden. Die Brandfläche ist zu jedem Zeitpunkt bekannt. In einer solchen Situation ist die Anwendung eines Verbrennungsmodells nicht möglich.

Fall 4. RHR oder mf sind vom Benutzer in die Tabelle eingegeben

Dieser Fall entspricht Versuchen, in denen der Mengenverlust oder die Wärmefreisetzungsrate innerhalb des Brandabschnitts gemessen worden ist. Die Brandfläche ist unbekannt und es wird angenommen, dass sie proportional zur Wärmefreisetzungsrate ist. Die unbekanntenen Größen können auf der Basis der Gleichungen (2) und (3) errechnet werden. Es ist möglich, Verbrennungsmodelle zu verwenden.

Der Benutzer kann die Daten aus der Tabelle importieren oder exportieren. Zum Importieren der Daten muss eine txt-Datei ausgefüllt werden mit Daten in zwei, drei oder vier Spalten sowie in der gleichen Reihenfolge wie in der Tabelle. Die erste Spalte muss die Zeit in Sekunden beinhalten. Mindestens zwei der Spalten müssen spezifiziert werden (z.B. Zeit und RHR). Der Separator der Daten muss eine Leerstelle sein, nicht Tabs oder Kommata.

5.3 Lokaler Brand

Bis zu fünf lokale Brände können spezifiziert werden (s. Abb. 12). Die Tabelle auf der linken Seite wird deren Durchmesser (in m) und Position auf den Boden als x- und y- Koordinaten (in m) beinhalten.

Number of Fires-Anzahl der Brände, Ceiling Height - Deckenhöhe, Distance on Axis (x)-Abstand auf der x-Achse, Height on Axis (z)-Höhe auf der der z-Achse

Abb. 12 Eingabemaske für einen lokalen Brand

Die Gruppe *Geometrische Daten* spezifiziert die Deckenhöhe (in m) sowie den Punkt, an den die lokale Temperatur anhand des Abstands auf der x-Achse (in m) und der Höhenposition über den Boden – Höhe auf der z-Achse (in m) – berechnet wird. Per Definition ist die Koordinate der Stütze auf der y-Achse 0.

Man kann den lokalen Brand innerhalb dieser Eingabemaske direkt spezifizieren, ohne den Brandabschnitt in der Eingabemaske *Brandabschnitt* zu spezifizieren. Ist ein Brandabschnitt in der Eingabemaske

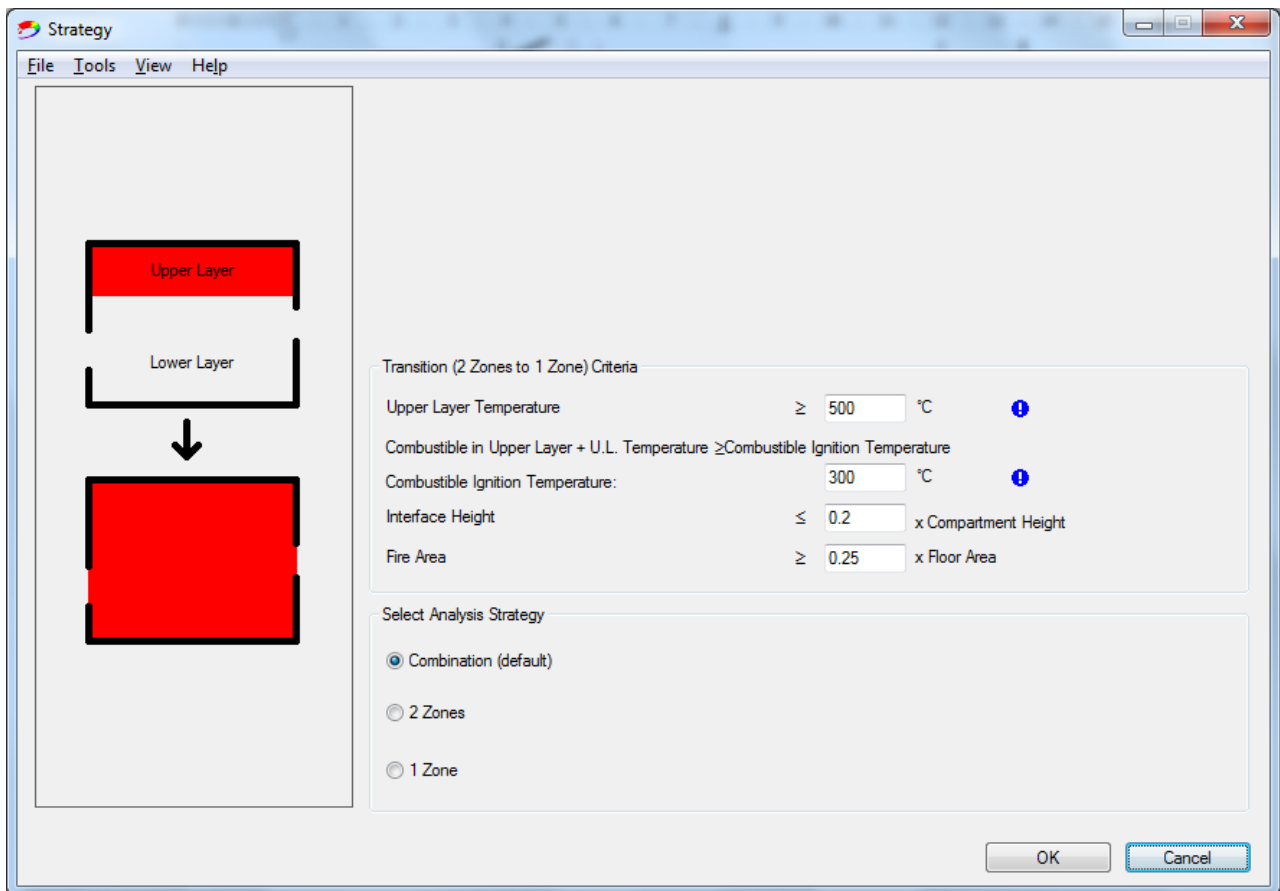
Brandabschnitt schon spezifiziert, wird automatisch angenommen, dass die Deckenhöhe die vorher spezifizierte Höhe des Brandabschnitts ist.

Die Tabelle auf der rechten Seite beinhaltet den RHR-Wert in MW als Funktion der Zeit. Der Benutzer wählt die Brandnummer aus der Dropdown-Liste oberhalb der Tabelle aus und gibt die Werte in die Tabelle ein. Daten aus anderen tabulierten Quellen (wie Excel) können unter Anwendung der Tastenkombination für das Einfügen (Strg + V) in die Tabelle verwendet werden.

Details über die Vorgehensweise zur Berechnung der Temperaturen wegen lokaler Brände sind Anhang D zu entnehmen.

6. Eingabemaske Strategie

Die im Abb. 13 dargestellte Eingabemaske *Strategie* betrifft nur Brände in Brandabschnitten



Upper Layer- Obere Schicht, Lower Layer- Untere Schicht, Transition (2 Zones to 1 Zone) Criteria-Wechselkriterien (2 Zonen zu 1 Zone), Upper Layer Temperature- Temperatur der oberen Schicht, Select Analysis Strategy- Analysestrategie auswählen, Combustible Ignition Temperature-Zündtemperatur der brennbaren Stoffe, Interface Height-Schnittstellenhöhe, Fire Area-Brandfläche, Combination (default)-Kombination (Standardeinstellung), 2 Zones-2 Zonen, 1 Zone

Abb. 13 Strategie für Brände in Brandabschnitte

Zwei- und Ein-Zonen-Modelle basieren auf unterschiedlichen Hypothesen. Sie entsprechen unterschiedlichen Arten von Bränden oder unterschiedlichen Phasen des gleichen Brandes. Sie haben einfach unterschiedliche Anwendungsbereiche und ergänzen sich eigentlich. Beim Modellieren eines Brandes in einem gegebenen Abschnitt ist es wichtig zu wissen, ob ein Zwei- oder ein Ein-Zonen-Modell geeignet ist.

Wenn das tatsächliche brennbare Material mehr oder weniger über die gesamte Bodenfläche des Brandabschnitts vorhanden ist und wenn die tatsächliche Brandlastdichte (Brennstoffmenge je Flächeneinheit Bodenfläche) mehr oder weniger gleichmäßig ist, kann die Brandlast als gleichmäßig verteilt betrachtet werden. Dagegen kann sich das brennbare Material über eine Fläche konzentrieren, die im Vergleich zur Gesamtbodenfläche klein ist, während die übrige Bodenfläche frei von brennbarem Material ist.

Brandzündungen sind in den meisten Fällen örtlich begrenzt, so dass der Brand für eine gewisse Zeit auch örtlich begrenzt bleibt. Sind die Temperaturen hoch genug, um eine spontane Anzündung des gesamten

vorhanden brennbaren Materials hervorzurufen, findet einen Überschlag (Flashover) statt. In der Regel sind Zwei-Zonen-Modelle zulässig, wenn der Brand örtlich begrenzt bleibt oder bei Pre-Flashover-Bränden, während Ein-Zonen-Modelle für Brände zulässig sind, bei denen alles in Flammen steht, oder bei Post-Flashover-Bränden. Auf gleiche Weise stimmt die Zwei-Zonen-Annahme nicht mehr, wenn die Höhe der kalten Zone zu klein ist. Ist die Brandfläche im Vergleich zur Bodenfläche groß, ist die Ein-Zonen-Modell-Annahme realistischer als die des Zwei-Zonen-Modells.

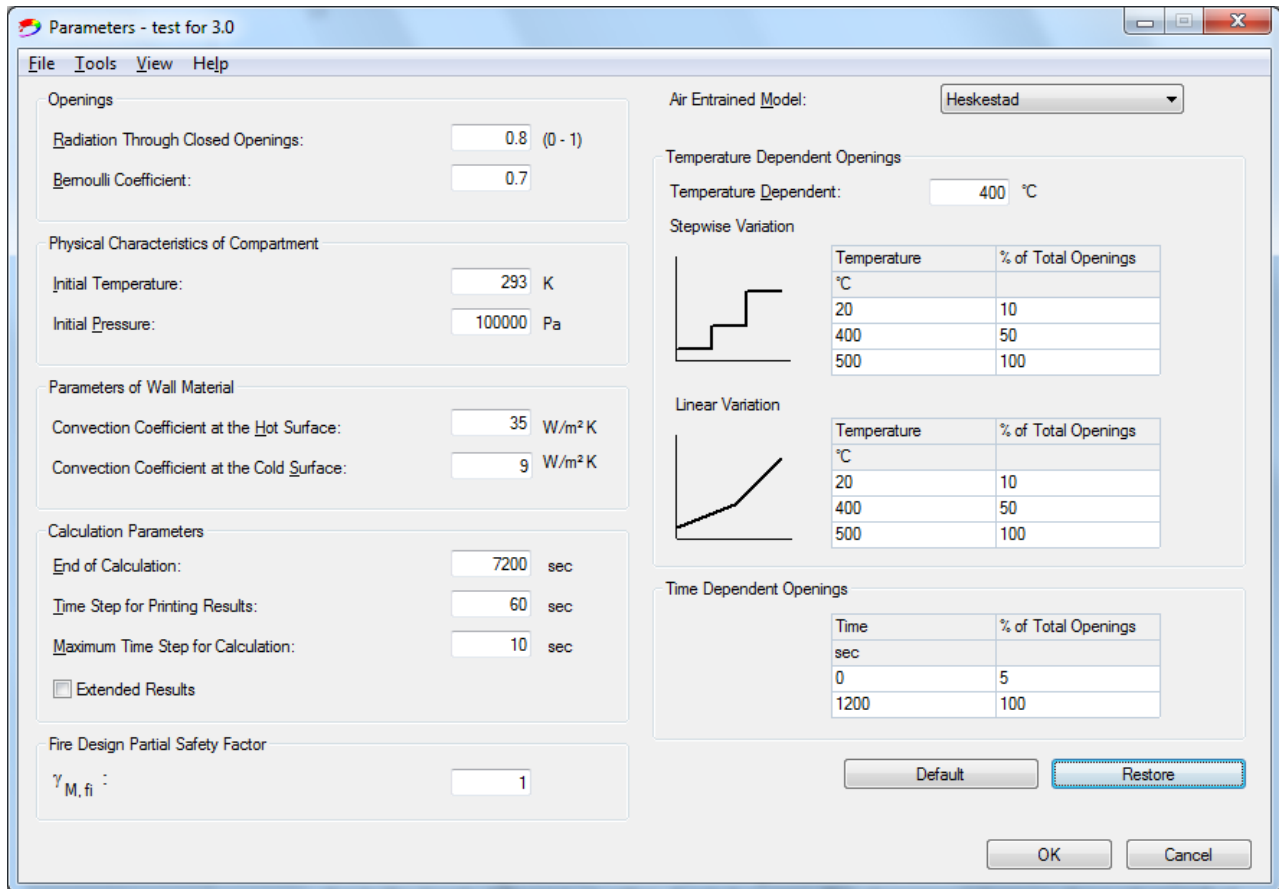
OZone setzt eine automatische Kombinationsstrategie um. Mit dieser Strategie beginnt die Simulation immer mit der Zwei-Zonen-Modell-Annahme und wenn eines der Kriterien für den Überschlag erfüllt ist (siehe Anhang F), wechselt sie zum Ein-Zonen-Modell.

Innerhalb der Gruppe *Analysestrategie auswählen* kann der Benutzer bestimmen, ob das Ein-Zonen-Modell oder das Zwei-Zonen-Modell verwendet wird oder ob er die Strategiekombination der zwei Modelle als Standardeinstellung zulässt.

Innerhalb der Gruppe *Wechselkriterien (2 Zonen zu 1 Zone)* kann der Benutzer eine Änderung der Werte der vier Parameter vornehmen, die den Wechsel vom Zwei-Zonen- zum Ein-Zonen-Modell steuern. Falls keine relevanten Daten vorhanden sind, wird dringend empfohlen, diese Werte unverändert zu lassen. Die Kriterien für solch einen Wechsel und die Schlussfolgerungen für das Brandquellenmodell sind in Anhang F diskutiert. Die Änderungen der Hauptvariablen und der grundlegenden Gleichung, wenn der Wechsel zum Ein-Zonen-Modell stattfindet, sind ebenfalls im Anhang F detailliert dargestellt.

7. Eingabemaske *Parameter*

Die meisten der bei der Berechnung angewendeten Parameter befinden sich in dieser Eingabemaske (s. Abb. 13).



Radiation Through Closed Openings-Strahlung durch geschlossene Öffnungen, Bernoulli Coefficient-Bernoulli-Zahl, Physical Characteristics of Compartment-Physikalische Beschaffenheit des Brandabschnitts, Initial Temperature-Anfangstemperatur, Initial Pressure-Anfangsdruck, Parameters of Wall Material- Parameter des Wandmaterials, Convection Coefficient at the Hot Surface-Grenzschichtkoeffizient an der heißen Oberfläche, Convection Coefficient at the Cold Surface- Grenzschichtkoeffizient an der kalten Oberfläche, Calculation Parameters- Berechnungsparameter, End of Calculation- Ende der Berechnung, Fire Design Partial Safety Faktor-Teilsicherheitsbeiwert bei der Brandschutzbemessung.

Abb. 14 Eingabemaske *Parameter*

7.1 Allgemeine Parameter

Auf der linken Seite der Eingabemaske *Parameter* sind folgende Parameter zusammen mit ihren Standardeinstellungswerten angegeben:

- Strahlung durch geschlossene Öffnungen: die Standardeinstellung als Expertenwert aus der Literatur ist 0,8,
- Bernoulli-Zahl: Standardeinstellung als Expertenwert ist 0,7,
- Physikalische Eigenschaft des Abschnitts: am Anfang werden normale Temperatur- und Druckbedingungen angenommen (20 °C und ein Luftdruck von 100 000 Pa),
- Parameter des Wandmaterials: die Grenzschichtkoeffizienten an der heißen bzw. kalten Oberflächen nach EN 1991-1-2; diese Parameter beziehen sich lediglich auf Naturbrandmodelle; für

die in der Eingabemaske *Erwärmung* spezifizierten nominellen Brände werden die entsprechenden Werte aus EN 1991-1-2 angewendet,

- Berechnungsparameter: eine Analysedauer von zwei Stunden wird in der Standardeinstellung berücksichtigt; es wird empfohlen, für die Berechnung eine maximale Zeitstufe von 10 Sekunden anzuwenden,
- Teilsicherheitsbeiwert, der bei der Brandschutzbemessung angenommen wird: Dieser wird unter Anwendung der Standardeinstellungswert aus EN 1991-1-2 berücksichtigt.

7.2 Modell mit mitgeführter Luft

Wenn eine heiße Gasmasse von einer kalten Gasmasse umgeben wird, steigt die wärmere und weniger dichte Masse nach oben wegen des Dichteunterschieds oder, je nach Gasgeschwindigkeit, aufgrund des Auftriebs. Dieses Phänomen findet oberhalb einer brennenden Brennstoffquelle statt. Diesen Aufstrom nennt man Plume. Kalte Luft wird von den aufsteigenden heißen Gasen mitgeführt, die zur Bildung einer Schicht heißer Gase unterhalb der Decke führt. Unterschiedliche analytische Gleichungen der Eigenschaften der Plume sind von mehreren Autoren vorgeschlagen worden. Vier davon sind in OZone integriert.

Es sollte hier erwähnt werden, dass manche dieser empirischen Formeln basieren auf einer Anpassung an die gesamte Energiefreisetzungsrate Q und andere an den konvektiven Teil davon, Q_c . In OZone wird angenommen, dass Q_c dem Wert $0,7 Q$ entspricht.

Heskestad

Das Heskestad-Modell ist das Modell mit den wenigsten Annahmen, welches am besten zu der Plume aus der numerischen Strömungssimulation (CFD) passt und daher als die Standardeinstellung in OZone betrachtet wird.

Der scheinbare Ursprung der Plume ist in der Höhe z_0 :

$$z_0 = 0.083 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1.02 \cdot D \quad (4)$$

Die Flammenhöhe L_{fl} ergibt sich aus:

$$L_{fl} = 0.235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1.02 \cdot D \quad (5)$$

Der Massendurchfluss der Plume oberhalb der Flammenhöhe ($z > L_{fl}$) ergibt sich aus:

$$m_p = 0.071 \cdot \dot{Q}_c^{1/3} (z - z_0)^{5/3} + 1.92 \cdot \dot{Q}_c \quad (6)$$

Der Massendurchfluss der Plume unterhalb oder in der Flammenhöhe ($z < L_{fl}$) ergibt sich aus:

$$m_p = 1.0056 \cdot \dot{Q}_c \frac{z}{L_{fl}} \quad (7)$$

Zukoski

$$m_p = 0.21 \left(\frac{\rho_\infty^2 g}{c_p T_\infty} \right) \dot{Q}^{1/3} z^{5/3} \quad (8)$$

MacCaffrey

$$m_p = 0.011Q \left(\frac{z}{Q^{0.4}} \right)^{0.566} \quad \text{for } 0 < \frac{z}{Q^{0.4}} < 0.08 \quad (9)$$

$$m_p = 0.026Q \left(\frac{z}{Q^{0.4}} \right)^{0.909} \quad \text{for } 0.08 < \frac{z}{Q^{0.4}} < 0.20 \quad (10)$$

$$m_p = 0.124Q \left(\frac{z}{Q^{0.4}} \right)^{1.895} \quad \text{for } 0.20 < \frac{z}{Q^{0.4}} \quad (11)$$

Thomas

Das Thomas Plume-Modell soll verwendet werden, wenn das Mitführen im Nahfeld oder im Flammenbereich stattfindet und die mittlere Flammenhöhe deutlich kleiner ist der Branddurchmesser. In diesem Bereich ist die mitgeführte Luft weniger durch die Wärmefreisetzungsrate beeinflusst als durch den Brandperimeter, und daher durch den Branddurchmesser.

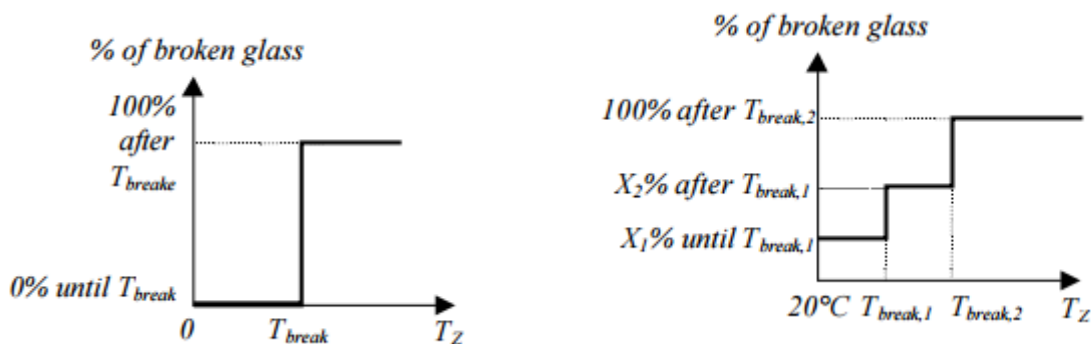
$$m_p = 0.59Dz^{3/2} \quad (12)$$

7.3 Temperatur- und zeitabhängige Öffnungen

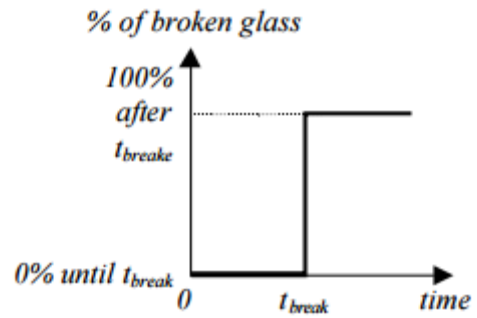
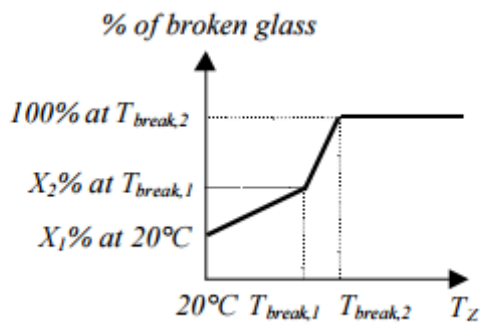
Während eines Brandes kann sich die Anzahl der Öffnungen und deren Größe verändern. Dies könnte in Folge von Bruch der Verglasung, automatischen Öffnungsvorgängen oder der Ankunft der Feuerwehr geschehen. In OZone kann die Öffnungsgröße als eine Funktion der Temperatur der Zone im Kontakt mit dem Glas (T_Z) oder als eine Funktion der Zeit spezifiziert werden.

Die Option *Temperaturabhängige Öffnung* kann den Bruch durch thermische Einwirkung darstellen. Die Option *Zeitabhängige Öffnung* kann die Ankunft der Feuerwehr darstellen. Es gibt vier Varianten: eine Einzelschritt-, stufenweise oder lineare Variante, die auf der Temperatur der Zone basiert und eine Variante, die zeitabhängig ist (siehe

Abb.). Ist die Verglasung zerbrochen, ist eine Schließung nicht mehr möglich. Das bedeutet, dass der prozentuale Anteil des zerbrochenen Glases entweder steigt oder konstant bleibt, doch kann er sich nie verringern.



- Temperaturabhängig
- Temperaturabhängig - stufenweise Änderung



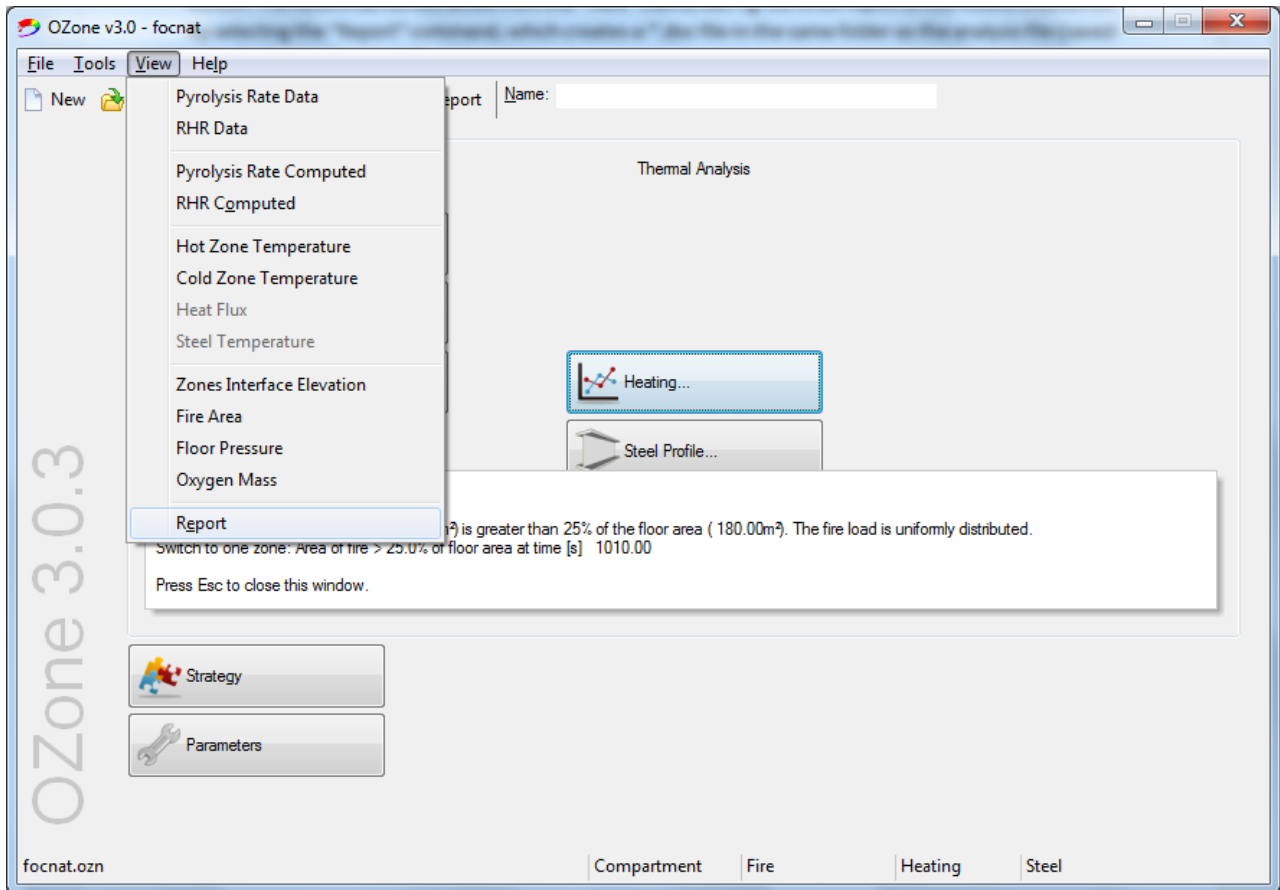
- Temperaturabhängig – lineare Änderung
- Zeitabhängig

Abb. 15 Temperatur- und zeitabhängige Öffnungen

EN 1991-1-2 gibt keine Empfehlung für Öffnungen, obwohl sie einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse haben können. Soweit die Entwickler wissen, ist ITM SST – 1551.1 das einzige Dokument, das Empfehlungen ohne spezifische Information gibt. Die Entwickler empfehlen die Anwendung der oben dargestellten Szenarien.

8. Schaltfläche *Thermische Einwirkung*

Nach dem Spezifizieren des Brandabschnitts und des Brandes wird die Analyse durch Anklicken der Schaltfläche *Thermische Einwirkung* durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Menü *Ansicht* zu sehen (siehe Abb.). Einen vollständigen Bericht der Ergebnisse erhält man durch Auswählen des Befehls *Report*, der eine *.doc-Datei im gleichen Ordner wie die Analysedatei (gespeichert mit der *.ozn Erweiterung) erstellt.



Pyrolysis Rate Data-Pyrolyserateangaben, Pyrolysis Rate Computed- Berechnete Pyrolyserate, Oxygen quantity- Sauerstoffmenge

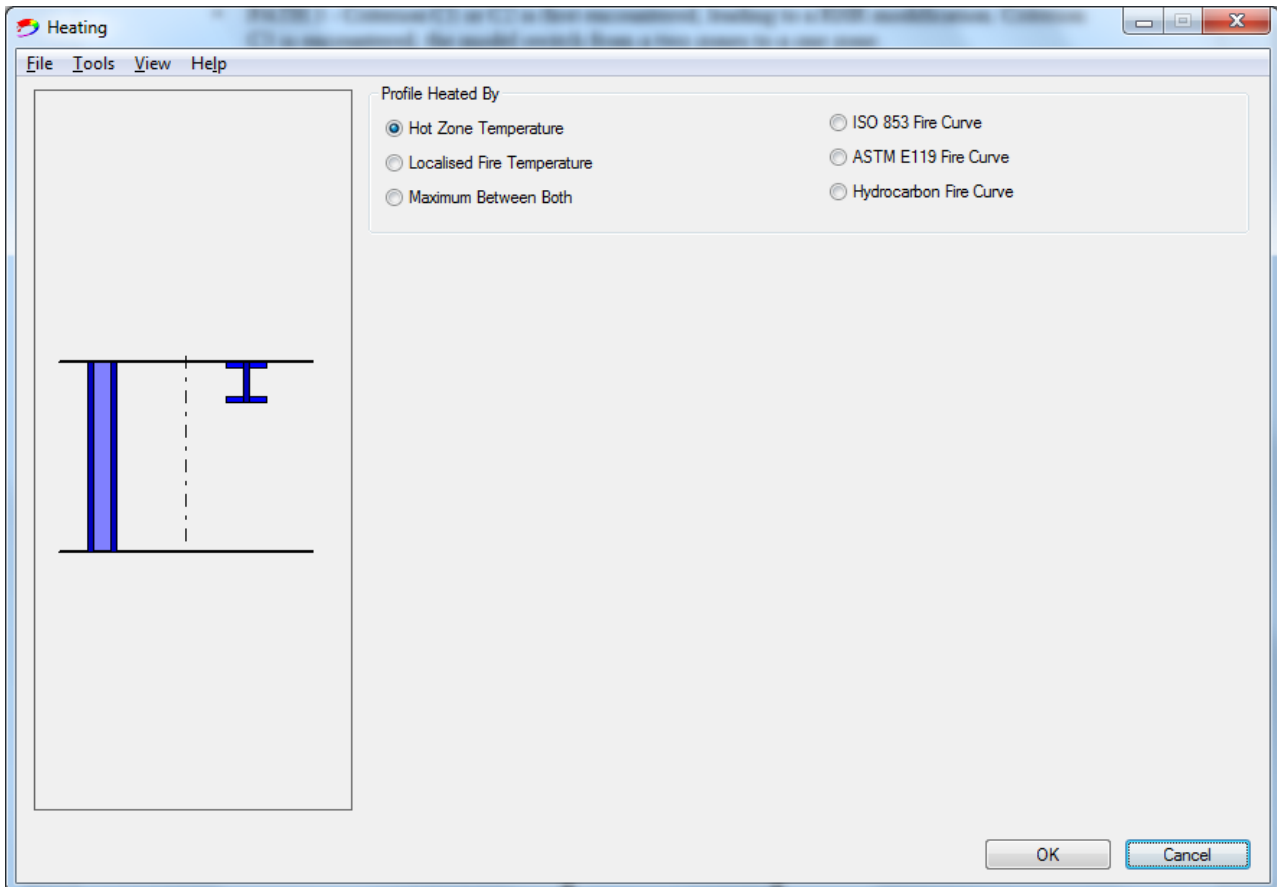
Abb. 16 Hauptfenster nach dem Anklicken der Schaltfläche *Thermische Wirkung*

Alle Diagramme der Bericht-Datei können separat im Menü *Ansicht* dargestellt werden. Von hier aus können alle Daten zu anderen Programme (Excel, Word, PowerPoint, usw.) durch Auswählen des Befehls *Diagramm kopieren* aus dem Kontextmenü exportiert werden, der Befehl erscheint durch Anklicken mit der rechten Maustaste (s. Abb. 2).

9. Eingabemaske *Erwärmung*

In der Eingabemaske *Erwärmung* (siehe Abb.) kann der Benutzer die thermische Einwirkung auswählen, die in der Eingabemaske *Stahlprofil* wegen der Erwärmung des Querschnitts verwendet wird. Es können entweder Natur- oder nominelle Brände verwendet werden.

Wird eine nominelle Brandkurve (ISO 853 / ASTM E119 / Hydrokarbon) für die Erwärmung des Profils verwendet, ist es nicht erforderlich, Daten in der Spalte *Naturbrand* des Hauptfensters einzugeben.



Hot Zone Temperature-Temperatur der heißen Zone, Localised Fire Temperature-Temperatur des lokalen Brandes, Maximum between both-Maximaler Wert der beiden, Hydrocarbon Fire Curve-Hydrokarbon-Brandkurve

Abb. 17 Eingabemaske *Erwärmung*

Für Naturbrandmodelle können mehrere Szenarien verwendet werden.

Für Brände in Brandabschnitten ist es erforderlich, sowohl den Brandabschnitt als auch die Brandkenndaten zu spezifizieren. Wird in der Eingabemaske *Brand* entweder *Anhang E* oder *Benutzerdefinierter Brand* ausgewählt, ist in der Eingabemaske *Erwärmung* nur die Option *Temperatur der heißen Zone* aktiv.

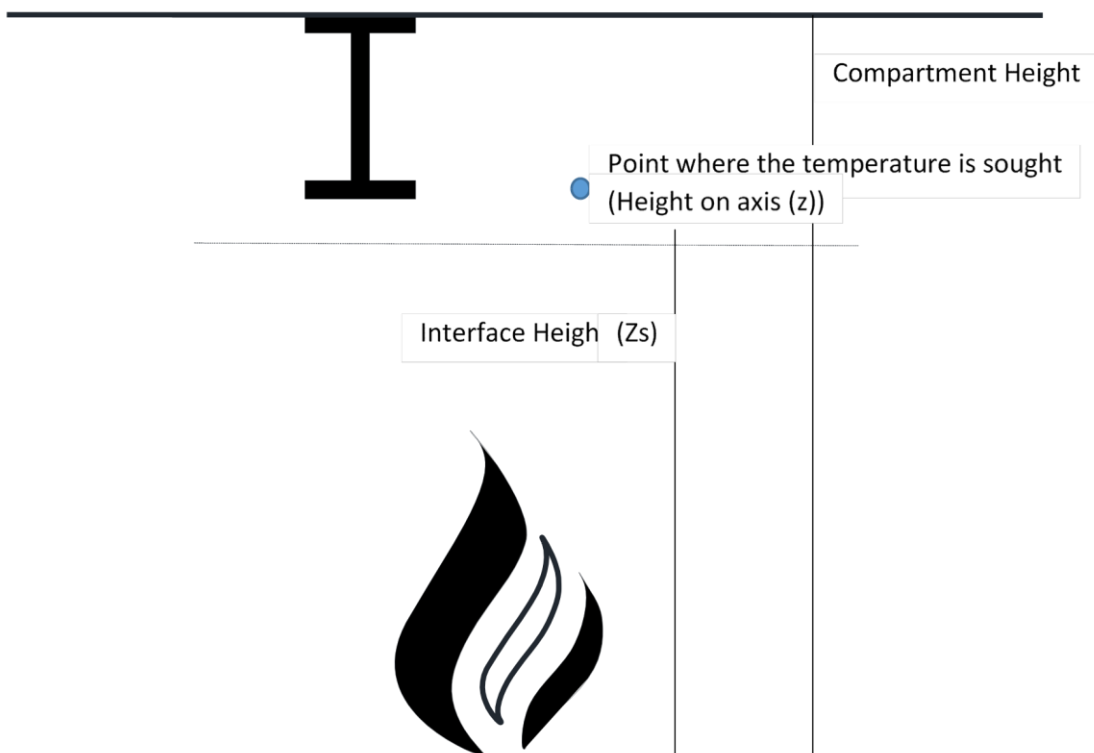
Ist bei lokalen Bränden kein Brandabschnitt spezifiziert, wird angenommen, dass der lokale Brand sich in einem Freiraum entwickelt und nur die Option *Temperatur des lokalen Brandes* ist aktiv.

Wird einen Brandabschnitt zusammen mit einem lokalen Brand spezifiziert, berechnet OZone die Temperaturen der heißen bzw. kalten Zonen in dem Brandabschnitt (je nach der gewählten Strategie) und berücksichtigt automatisch der in der Eingabemaske *Brand* eingegebene *Maximale Brandfläche* als die Summe der in der Eingabemaske *Brand* spezifizierten lokalen Brände. In diesem Falle kann der Benutzer

eine der drei Optionen wählen (*Temperatur der heißen Zone / Temperatur des lokalen Brandes / Maximaler Wert der beiden*).

Die Option *Maximaler Wert der beiden* bestimmt die maximale Temperatur auf der Basis des nachfolgenden Algorithmus (s. Abb. 18):

- Befindet sich der Punkt, an dem die Temperatur berechnet ist (Höhe der Schnittstelle auf der z-Achse) innerhalb der oberen Schicht, die zwischen der Abschnitthöhe und der Höhe der Schnittstelle (Z_s) liegt, dann wird für das Stahlprofil der maximale Wert zwischen der Temperatur der heißen Zone des Brands in einem Brandabschnitt und der Temperatur des lokalen Brandes verwendet;
- Falls der Punkt unterhalb dieser Schicht liegt, wird die Temperatur des lokalen Brandes verwendet.



Compartment Height –Höhe des Brandabschnitts, Point where the temperature is sought (Height on axis (z)) – Punkt an dem die Temperatur berechnet wird (Höhe auf der z-Achse), Interface Height (Zs) – Höhe der Schnittstelle (Zs),

Abb. 18 Erklärung des Algorithmus für die Option *Maximaler Wert der beiden*

9. Eingabemaske *Stahlprofil*

Nach dem Spezifizieren des Heizungsszenarios ermöglicht die Eingabemaske *Stahlprofil* das Eingeben vom Profiltyp und Beanspruchungsdauer. Sowohl geschützte als auch ungeschützte Stahlquerschnitte können berücksichtigt werden, beansprucht auf vier oder drei Seiten. Falls ein lokaler Brand spezifiziert wird, ist lediglich die Option *Ungeschützter Stahlquerschnitt* aktiv.

Sowohl profilfolgende als auch kastenförmige Verkleidungen können unter Berücksichtigung von konstanten als auch durch den Benutzer einzugebenden temperaturabhängigen thermischen Eigenschaften spezifiziert werden. Nur konstante Werte sind für die vordefinierten Schutzmaterialien verfügbar.

Temperature	Unit mass	Specific Heat	Conductivity
°C	kg/m ³	J/kgK	W/mK
	300	1200	0.12

Cross Section- Querschnitt, Unprotected Crosssection- Nicht geschützter Querschnitt, Protected Crosssection-Geschützter Querschnitt, Steel Profile- Stahlprofil, Profile Type-Profiltyp, Profile-Profil, Exposure-Beanspruchung, Exposed on four sides- Feuerbeanspruchung an vier Seiten, Exposed on Three sides-Feuerbeanspruchung an drei Seiten, Contour Encasement- Profilfolgende Verkleidung, Hollow Encasement- Kastenförmige Verkleidung.

Abb. 19 Eingabemaske *Stahlprofil*

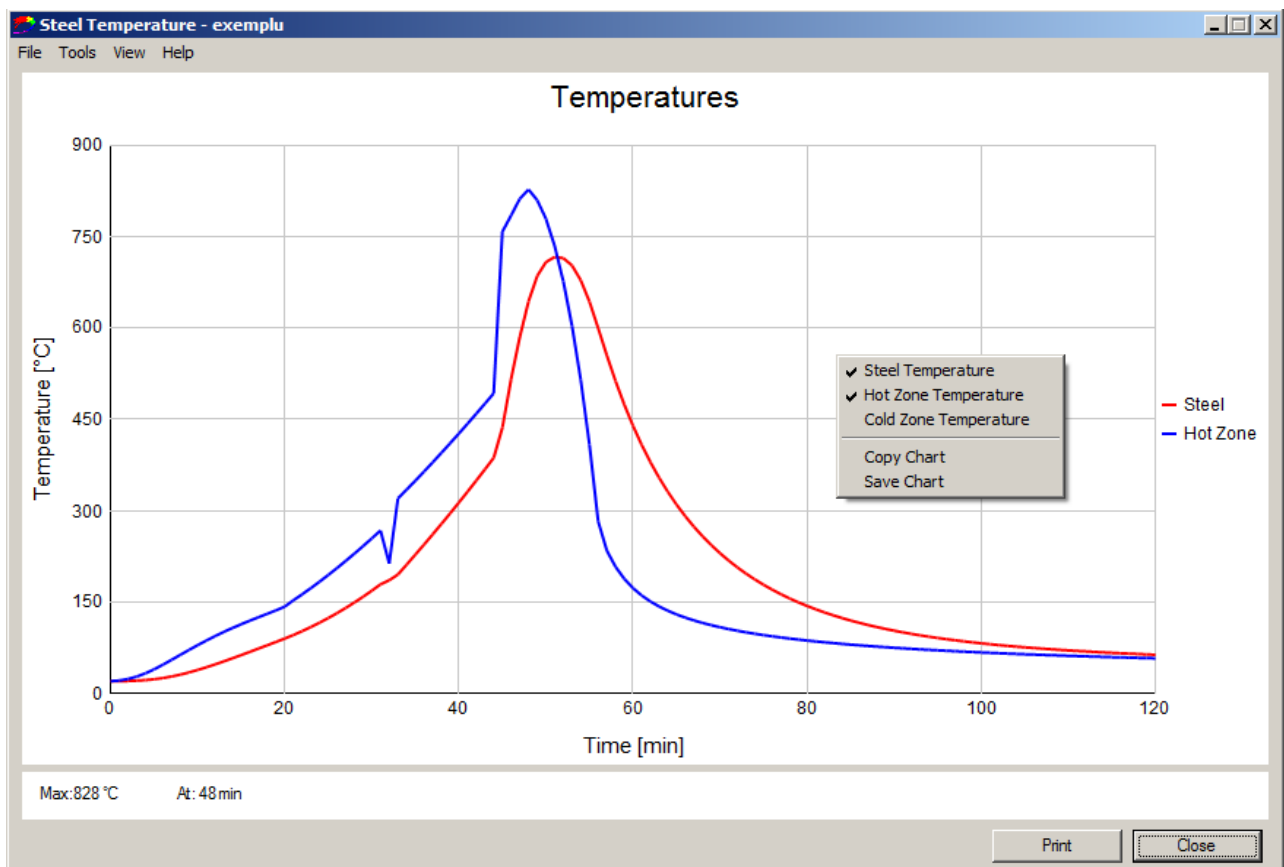
10. Schaltfläche *Stahltemperatur*

Das Erwärmen des geschützten oder ungeschützten Stahlprofils wird dann unter Anwendung der Methoden aus EN 1993-1-2 berechnet. Die Gastemperatur ist entweder die Temperatur der oberen Zone, die lokale Brandtemperatur oder der maximale Wert dieser beiden Temperaturen.

Den Verlauf der Stahltemperatur wird mithilfe der Gleichungen für geschützte oder ungeschützte Stahlquerschnitte aus EN 1993-1-2 berechnet.

Den Temperatur-Zeit-Verlauf des Querschnitts erhält man durch Klicken auf der Schaltfläche *Stahltemperatur*. Hinsichtlich der Zonentemperatur-Analyse können die Ergebnisse mittels des Menüs *Ansicht* angesehen werden und man erhält einen kompletten Bericht über die Ergebnisse durch Auswählen des Befehls *Bericht*, der eine *.doc-Datei im gleichen Ordner wie die Analysedatei erstellt. Dieser Bericht beinhaltet auch den Temperaturverlauf des Stahlprofils und seine Kenndaten.

Das Stahltemperatur-Diagramm der Berichtdatei kann separat im Menü *Ansicht* dargestellt werden. Von hier aus können die Daten zu anderen Programmen wie Excel, Word, PowerPoint usw. durch Auswählen des Befehls *Diagramm kopieren* aus dem Kontextmenü exportiert werden (s. Abb. 2).



Temperatures-Temperaturen, Steel-Stahl, Hot Zone Temperature- Temperatur der heißen Zone, Steel Temperature- Stahltemperatur, Cold Zone Temperature- Temperatur der kalten Zone

Abb. 20 Beispiel eines Temperatur-Zeit-Verlaufs

Annex A - Zone Model Formulation

The Annex presents the fundamentals of the two and one zone models. Figures A1-2 show schematic views of the two models.

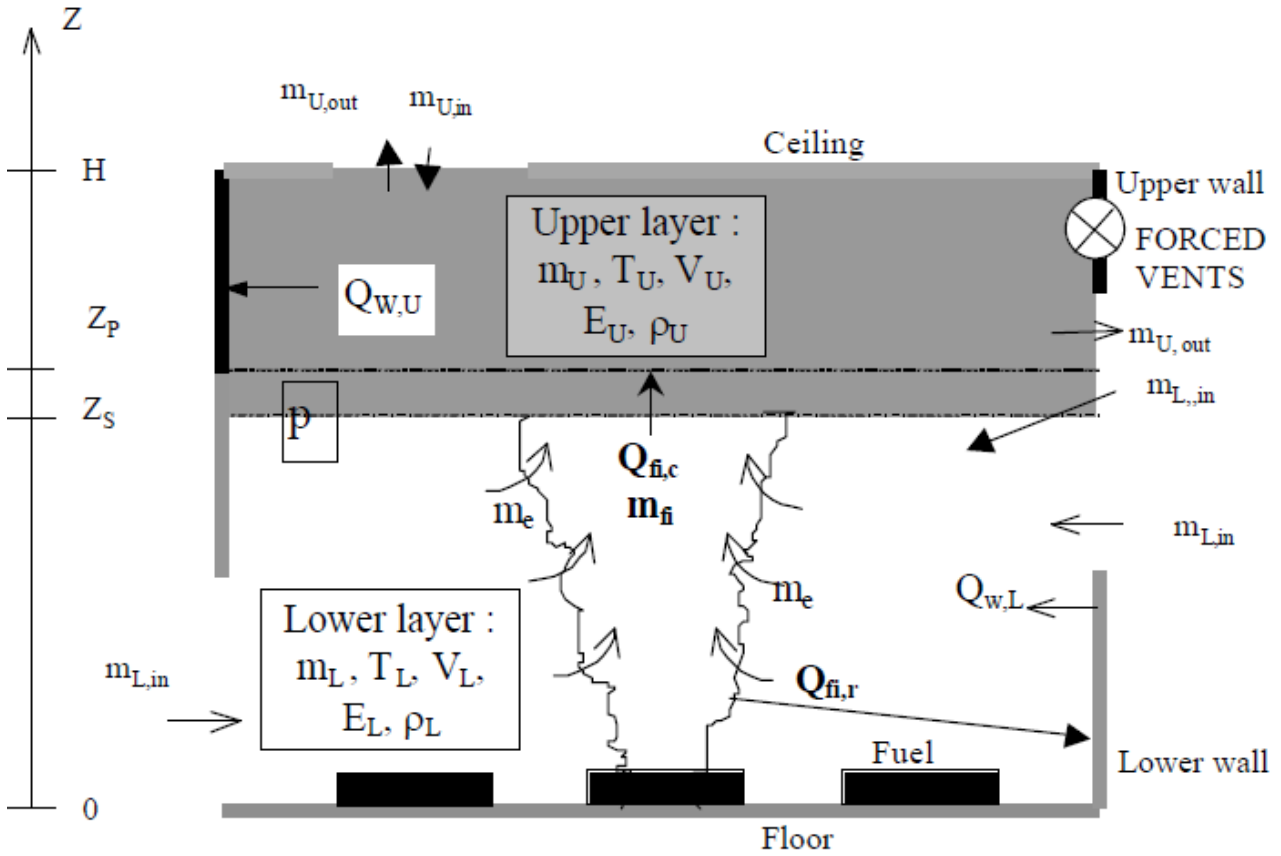


Fig. A1 Schematic view of two zone model and associated submodels

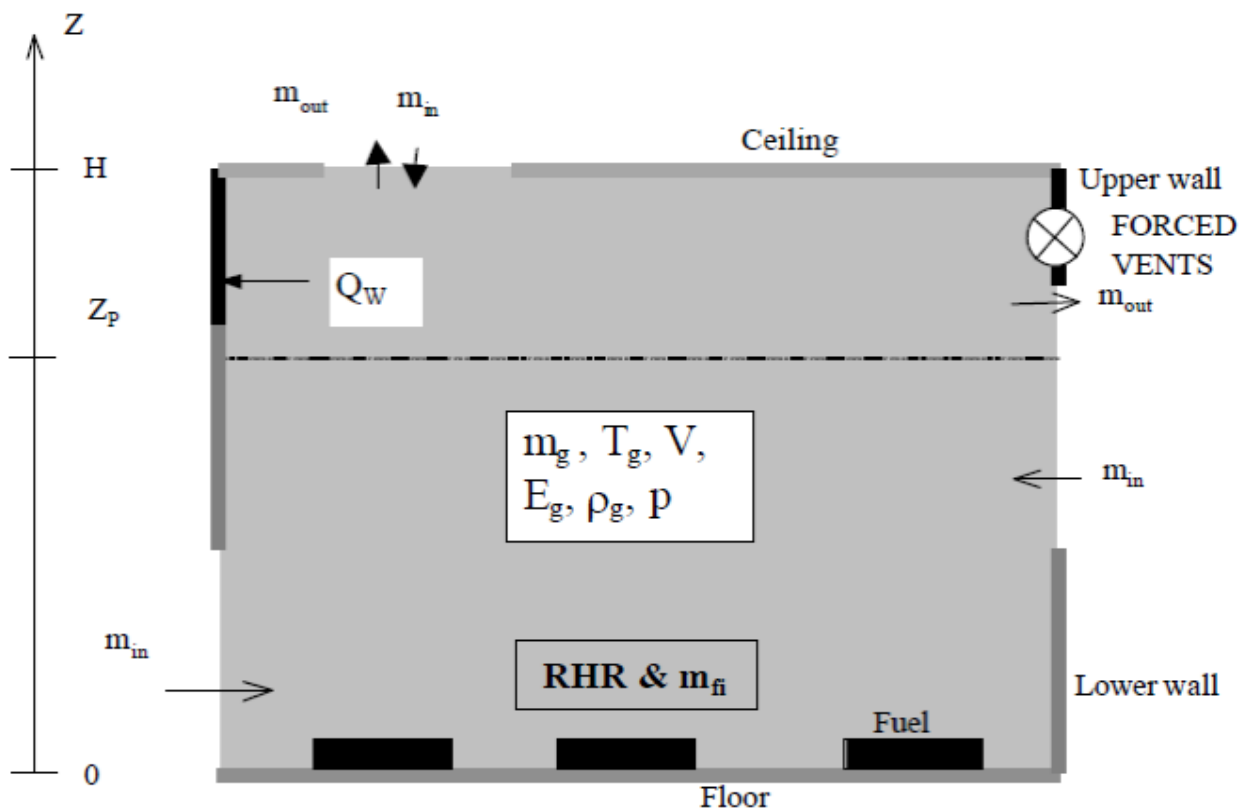


Fig. Schematic view of one zone model and associated submodels

A1 Two-zone model

Two-zone models are normally based on eleven physical variables. These variables are linked by seven constraints and four differential equations describing the mass and the energy balances in each zone.

The time integration of these differential equations allows to calculate the evolution of the variables describing the gas in each zones. The mass balance equation expresses the fact that, at any moment, the variation of the mass of the gas of a zone 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 fact that, at any moment, there is a balance between, on one hand, the energy which is produced in the compartment by the combustion and, on the other hand, 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, finally, by the heating of the partitions. It has to be mentioned that the term "partition" is used here to represent all the solid surfaces of the enclosure of the compartment, namely the vertical walls, the floor and the ceiling.

The eleven variables which are considered to describe the gas in the compartment are: m_U and m_L , the mass of the gas of respectively the upper and lower layer; T_U and T_L , the temperatures of the gas; V_U and V_L , the volumes; E_U and E_L , the internal energies; ρ_U and ρ_L , the gas densities of respectively the upper (U) and lower (L) layer and finally p , the absolute pressure in the compartment considered as a whole.

The seven constraints are:

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_i}$$

$$E_i = c_v(T)m_iT_i$$

$$p = \rho_iRT_i$$

$$V = V_U + V_L$$

$$i = U, L$$

with $c_v(T)$, the specific heat of the gas in the compartment;

R , the universal gas constant

i , equal U for upper layer & L for lower layer

The specific heat of the gas at constant volume and at constant pressure, the universal gas constant R and the ratio of specific heat are related by :

$$R = c_p(T_i) - c_v(T_i)$$

$$\gamma(T_i) = \frac{c_p(T_i)}{c_v(T_i)} \quad (2)$$

The variation of the specific heat of the gas with the temperature is taken into account by the following relation :

$$c_p(T) = 0.187 + 952 \times 10^{-6} T \quad (3)$$

This law is obtained by a linear regression on the point by point law given in the NFPE Handbook of Fire Protection Engineering.

The mass balance equations have the general form of equations (4) and (5) in which a dotted variable \dot{x} means the derivative of x with respect to time. Equations (4) et (5) states that the variation of gaseous mass in each zones is made of the mass exchanges of one zone with the fire, with the other zone, and with the external world trough the different vent types (see Annex B).

$$\dot{m}_U = \dot{m}_{UVout} + \dot{m}_{UHVin} + \dot{m}_{UHVout} + \dot{m}_{UFVin} + \dot{m}_{UFVout} + \dot{m}_e + \dot{m}_f \quad (4)$$

$$\dot{m}_L = \dot{m}_{LVin} + \dot{m}_{LYVin} + \dot{m}_{LYVout} + \dot{m}_{LHVin} + \dot{m}_{LHVout} + \dot{m}_{LFVin} + \dot{m}_{LFVout} - \dot{m}_e \quad (5)$$

The energy balance equations have the general form of equations (A6) and (A7) stating that the variation of energy in each zones is made of the energy exchanges of one zone with the fire, with the other zone, with the surrounding partitions and with the external world trough vents.

$$\dot{Q}_U = \dot{Q}_{Urad} + \dot{Q}_{Uwall} + \dot{Q}_{UVout} + \dot{Q}_{UHVin} + \dot{Q}_{UHVout} + \dot{Q}_{UFVin} + \dot{Q}_{UFVout} + c_p(T_L)\dot{m}_{ent}T_L + 0.7RHR \quad (6)$$

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{Lrad} + \dot{Q}_{Lwall} + \dot{Q}_{LYVin} + \dot{Q}_{LYVout} + \dot{Q}_{LHVin} + \dot{Q}_{LHVout} + \dot{Q}_{LFVin} + \dot{Q}_{LFVout} - \dot{Q}_{ent} \quad (7)$$

In these

balances, mass or energy rate corresponding to a decrease of mass or energy in the compartment are negatives.

Four basic variables have to be chosen to describe the system. Provided that the zones temperatures T_U and T_L , the altitude of separation of zones Z_s and the difference of pressure from the initial time Δp are chosen, equations (4) to (7) can be transformed in the system of ordinary differential equations (ODE) formed by equations (8) to (11). [FORNEY 1994]

$$\dot{\Delta p} = \frac{(\gamma - 1)\dot{q}}{V} \quad (8)$$

$$\dot{T}_U = \frac{1}{c_p(T_U)\rho_U V_U} \left(\dot{q}_U - c_p(T_U)\dot{m}_U T_U + V_U \dot{\Delta p} \right) \quad (9)$$

$$\dot{T}_L = \frac{1}{c_p(T_L)\rho_L V_L} \left(\dot{q}_L - c_p(T_L)\dot{m}_L T_L + V_L \dot{\Delta p} \right) \quad (10)$$

$$\dot{Z}_s = \frac{1}{\gamma(T_L)P A_f} \left((\gamma(T_L) - 1)\dot{q} - V_L \dot{\Delta p} \right) \quad (11)$$

A2 One-zone model

In case of a one zone model, the number of variables which is reduce to six, describing the gas in the compartment as a whole. i.e. m_g , the mass of the gas; T_g , the temperature of the gas; V , the volume of the compartment (constant); E_g , the internal energy; p , the pressure in the compartment; ρ_g , the gas density.

The number of constraints is reduce to 4:

$$\begin{aligned} \rho_g &= \frac{m_g}{V} \\ E_g &= c_V(T_g)m_g T_g \\ p &= \rho_g R T_g \\ V &= cst \end{aligned} \quad (12)$$

The mass balance is expressed now by equation (13):

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{in} + \dot{m}_{out} + \dot{m}_{fi} \quad (13)$$

And the energy balance is expressed by equation (14):

$$\dot{q}_U = \dot{q}_{rad} + \dot{q}_{wall} + c_p(T_g)\dot{m}_{out} T_g + c_p(T_{out})\dot{m}_{in} T_{out} + RHR \quad (14)$$

In these balances, mass or energy rate corresponding to a decrease of mass or energy in the compartment are negatives.

Four basic variables have to be chosen to describe the system. Provided that the zone temperature T and the difference of pressure from the initial time Δp are chosen, equations (13) and (14) can be transformed in the system of ordinary differential equations formed by equations (15) and (16).

$$\Delta p = \frac{(\gamma - 1)\dot{q}}{V} \quad (15)$$

$$\dot{T}_g = \frac{1}{c_p(T_g) \rho_g V} (\dot{q} - c_p(T_g) \dot{m}_g T_g + V \Delta p) \quad (16)$$

2.3

A3. Time integration

As mentioned, the systems of equations (8) to (11) (2ZM) and of equations (15) and (16) (1ZM) are to be solved to know the gas characteristics of zones at each time. These systems of ODE are stiff. A physical, although not rigorous from a mathematical point of view, interpretation of stiffness is that the time constant relative to the pressure variation is much shorter than the time constant of the temperature variation. It is therefore usual to rely on a specialised library solver specifically written for this kind of problem. In the code OZone, the solver DEBDF is used.

A4 Partition model

Usually the partition models of zone model are based on finite difference. This method does not allow to solve the equation implicitly and therefore to fully couple the zone and the partition models. This problem can be solved model by using the finite element method and by modifying the usual finite element formulation. To fully respect the energy balance in case of one zone model, partitions have to be modelled by one dimensional finite elements and in case of two zone model have to be modelled by two dimensional finite elements because vertical fluxes exist in vertical partitions.

Even if OZone includes a two zone and a one zone, a one dimension partition model has been included. Some preliminary work on two zone model with a two dimensional partition model has been made and has shown that the partition model based on one dimension finite elements is a good approximation of the one based on two dimension. In most cases, the two dimensional phenomenon are negligible. The increases of the computing time and of the difficulties to define the compartment are quite big and are useless in most cases. Partitions can be divided in three types: the upper horizontal partition, the ceiling; the lower horizontal partition, the floor; and finally the vertical partitions, the walls. The basic finite element formulation is the same for the three types of partitions but the boundary conditions are different.

A4.1 Partition model formulation

A partition is discretised by a single dimension finite element model as depicted in Figure A3. With this discretisation, the temperature is computed at the interface between the different layers, or elements, and the hypothesis is made of a linear temperature variation on the thickness of each layer.

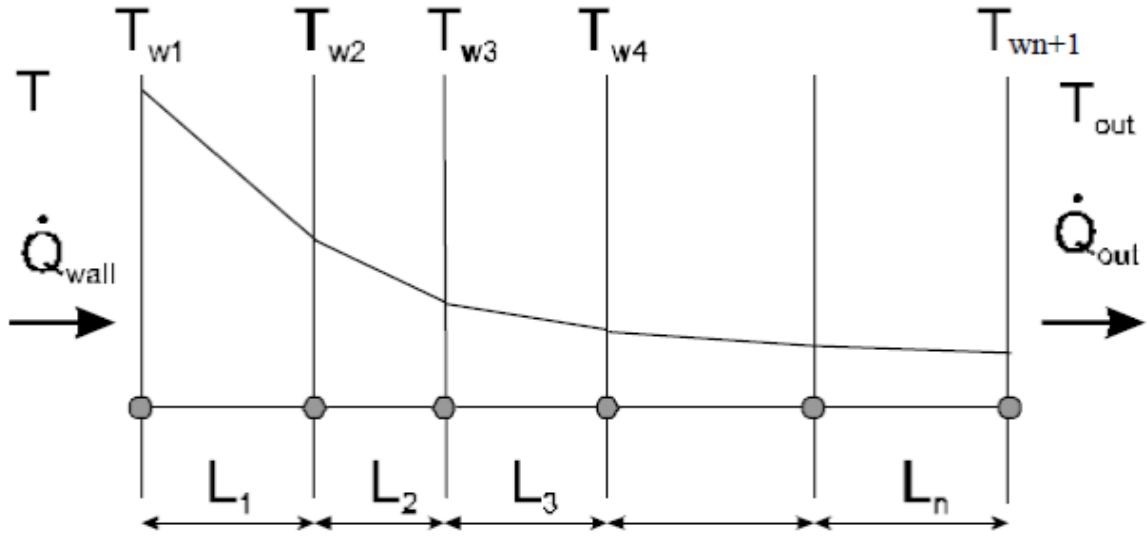


Figure 3 one dimensional finite elements discretisation of partitions

With this discretisation and this hypothesis on the field of temperature, the equilibrium of each finite element i is described by the following equation:

$$\mathbf{K}_{el,i} \mathbf{T}_{el,i} + \mathbf{C}_{el,i} \dot{\mathbf{T}}_{el,i} = \mathbf{g}_{el,i} \quad (17)$$

with

$$\mathbf{T}_{el,i} = \begin{Bmatrix} T_{w,i} \\ T_{w,i+1} \end{Bmatrix} \quad (18)$$

$$\mathbf{K}_{el,i} = \frac{k_i}{L_i} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\mathbf{C}_{el,i} = c_i \rho_i L_i \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (20)$$

and

$$\mathbf{g}_{el,1} = \begin{Bmatrix} \dot{q}_{wall} \\ 0 \end{Bmatrix}; \mathbf{g}_{el,2} \text{ to } \mathbf{g}_{el,n-1} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}; \mathbf{g}_{el,n} = \begin{Bmatrix} 0 \\ \dot{q}_{out} \end{Bmatrix} \quad (21)$$

Equations 12 and 13 are in fact simplified expressions because the material properties have been considered as constant in each element, allowing to take them as constant multipliers out of the matrix. The temperature dependency in the element could also be taken into account, owing to the well known numerical integration techniques of Gauss. Equation (20) is furthermore the diagonalised version of the complete matrix, having a value of $1/3$ for the diagonal terms and $1/6$ for the off diagonal terms. The advantage of the diagonal form is first that it smooths the spatial oscillations which could arise in the solution if too thick elements are used in the discretisation. Another advantage is related to the computing strategy, as will be explained in the formulation of equation XX.

The assembly of the N equations of type (17) which can be written for each of the N finite element making the partition produce the system of equations (22) in which the size of the vectors is $N+1$ and $(N+1) \times (N+1)$ for the matrices.

$$\mathbf{K} \mathbf{T}_w + \mathbf{C} \dot{\mathbf{T}}_w = \mathbf{g} \quad (22)$$

with

$$\mathbf{g} = \begin{Bmatrix} \dot{q}_{wall} \\ 0 \\ 0 \\ \dot{q}_{out} \end{Bmatrix} \quad (23)$$

The energy transmitted at the partition interface results from heat transfer by convection and radiation between zones and the partition and between the fire and the partition. The energy transmitted at the interface between the outside world and the partition is due to heat transfer by convection and radiation.

We note T_{w1} the inside partition surface temperature and $T_{w,n+1}$ the outside partition surface temperature. T_z is the gas temperature of the zone in contact with the partition inside surface, i.e. $T_z = T_U$ or T_L in case of 2ZM or $T_z = T_g$ in case of 1ZM.

From the system of equations (22), it is very easy to obtain the system of equations (24), efficiently computed owing to the diagonal nature of \mathbf{C} .

$$\dot{\mathbf{T}}_w = \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{g} - \mathbf{K} \mathbf{T}_w) \quad (24)$$

This system of equations is a set of N differential equations for the N temperatures of the partition. The temperature of the compartment is only present in the first term of the load vector, see equations XX and XX. It has a similar form as the system of equations (8) to (11) (2ZM) and of equations (15) and (16) (1ZM) established for the variables of the gas zones and could be written in the following way.

$$\begin{aligned} \dot{T}_{w,1} &= g_1(T, T_{w,1}, T_{w,2}) \\ \dot{T}_{w,2} &= g_2(T_{w,1}, T_{w,2}, T_{w,3}) \\ &\vdots \\ \dot{T}_{w,i} &= g_i(T_{w,i-1}, T_{w,i}, T_{w,i+1}) \\ &\vdots \\ \dot{T}_{w,N+1} &= g_N(T_{w,N}, T_{w,N+1}, T_{out}) \end{aligned} \quad (25)$$

A4.2 Connection of the zone and the partition models

Two zone model

In 2ZM, the ceiling is always connected to the upper layer and the floor to the fire and to the lower layer. Vertical partitions are divided in two part, an upper one, connected to the upper layer and a lower one connected to the fire and to the lower layer (Figure A4). The area of each part are calculated by multiplying the length of the wall by its height which is varying with time and is function of the altitude of separation of the zones, Z_s . The area of openings included in each partition are of course subtracted. The finite element discretisations of the two parts are identical, only the boundary conditions are different.

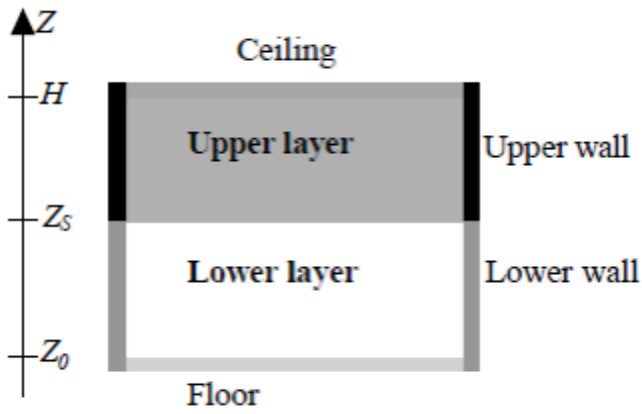


Figure A4

The system of equations (24) has to be build once for the ceiling and once for the for the floor. If the enclosure has M different types of walls, it has to be build $2M$ times. If $N_{eq,c}$ and $N_{eq,f}$ the number of node of the ceiling and of the floor, and $N_{eq,i}$ the number of node of the wall n°i, the total set of partition equations contains $N_{eq,w}$ differential equations, given by equation (26).

$$N_{eq,w} = N_{eq,f} + N_{eq,c} + \sum_{i=1}^M 2N_{eq,i} \quad (26)$$

Equations (8) to (11) and equations (24) form a set of $N_{eq,w}+4$ differential equations which can be passed on to the numerical solver. This one will integrate the equations taking into account the coupling between the compartment and the partition and solving the $N_{eq,w}+4$ variables which are the pressure variation, the temperature in the upper zone, the temperature in the upper zone and the altitude of the zone interface, plus the temperatures at each node of the partitions.

Using one dimension partition model in two zone model lead to artificially create or suppress some energy in the wall. Considering an increasing upper layer thickness (Figure 5), if the height separation between the zones is Z_s at time t and Z_s+DZ_s at time $t+Dt$, a wall of height DZ_s is transformed from lower wall to upper wall. As the temperature of lower wall are generally lower then the ones of upper wall, some energy is created (XX). On the contrary if the upper layer thickness is decreasing, some energy are lost. The only way to be rigorous when modelling walls in 2ZM, is to make a single two dimensional partition model which would take into account vertical fluxes. The variation of Z_s has to be taken into account in the boundary condition of the two dimensional elements.

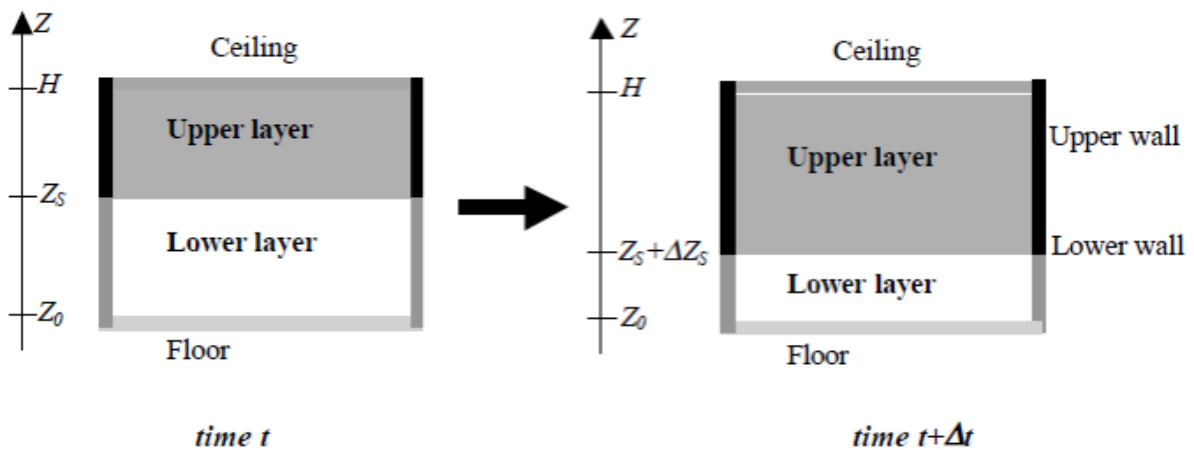


Figure A5

Boundary conditions

For all type of partitions, the energy transmitted at the interface between the outside world and the partition is due to heat transfer by convection and radiation and is given by equation (27).

$$\dot{q}_{pout} = h(T_{out} - T_{wN+1}) + \varepsilon * \sigma (T_{out}^4 - T_{wN+1}^4) \quad (27)$$

The upper layer is composed of a mixture of combustion products and fresh air entrained by the plume from the lower layer. It is considered to be opaque and radiation between partitions connected to it are neglected. The energy transmitted between the inside surfaces of upper partition and the upper layer results from heat transfer by convection and radiation.

$$q_{wallU} = h(T_U - T_{w1}) + \varepsilon * \sigma (T_U^4 - T_{w1}^4) \quad (28)$$

The lower layer is composed essentially of fresh air with only few combustion products, so its relative emissivity is considered to be nil. The energy transmitted between the inside surfaces of lower partitions and the lower layer results only from heat transfer by convection. The radiation from the fire is represented by the $q_{fi,w}$ term.

$$q_{wall,L} = h(T_L - T_{w1}) + q_{fi,w} \quad (29)$$

$q_{fi,w}$ [W/m²] is obtained by dividing 30% of the rate of heat release by the total area of lower partition, including the opening area (see also §XX).

One zone model

When considering a one zone model during a whole simulation, a vertical partition is divided two parts connected to the single zone (Figure A6). The finite element mesh of the two parts and the boundary conditions are identical. Therefore, the temperatures distribution in the partitions and the flux densities on the bounders are the same in the two parts. Indeed in a one zone model a vertical wall would normally not be divided into two. The results obtained with two partition models for a single wall are identical then those which would be obtained with only one partition model for the same single wall. The consequence of this procedure is only to increase the number of equation to be solved and therefor the computing time. Anyway this have been done in order to enable the combination of 2ZM and 1ZM.

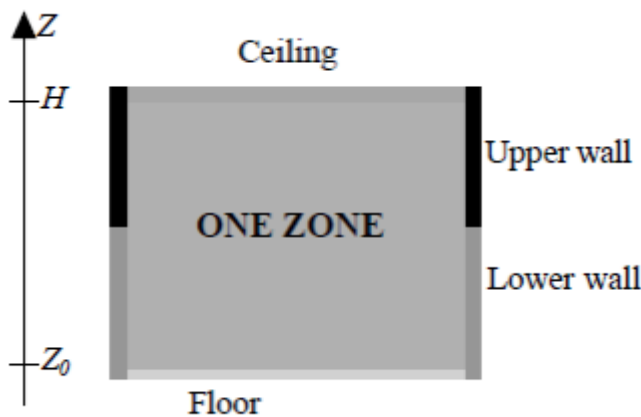


Figure A6

In one zone model, the system of equations (24) has to be build one time for the ceiling and one time for the for the floor. If the enclosure has M different types of walls, it has to be build $2M$ times If $N_{eq,c}$ and $N_{eq,f}$ the number of node of the ceiling and of the floor, and

$N_{eq,i}$ the number of node of the wall n^o i, the total set of partition equations contains $N_{eq,w}$ differential equations, also given by equation (26).

Equations (15), (16) and equations (24) build $N_{eq,w}$ times form a set of $N_{eq,w}+2$ differential equations which can be passed on to the numerical solver. This one will integrate the equations taking into account the coupling between the compartment and the partitions and will solve the $N_{eq,w}+2$ variables which are the pressure variation and the temperature in the compartment, plus the temperatures at every node of the partitions.

For 1ZM, if one considers that the usual procedure sets the limits of the compartment on the inside surface of the wall and adds a wall sub-model on top of it, the proposed procedure amounts in fact to set the limit of the compartment on the outside surface of the wall. Because all the equations are solved simultaneously with an implicit procedure, the energy balance between the gas and the wall is totally respected.

Boundary conditions

For the three types of partitions, the energy transmitted at the interface between the outside world and the partition is due to heat transfer by convection and radiation and is given by equation (30).

$$\dot{q}_{pout} = h(T_{out} - T_{wN+1}) + \varepsilon * \sigma (T_{out}^4 - T_{wN+1}^4) \quad (30)$$

The energy transmitted at the inside partition interfaces results from heat transfer by convection and radiation between the zone and the partitions.

$$\dot{q}_{wall} = h(T_g - T_{w1}) + \varepsilon * \sigma (T_g^4 - T_{w1}^4) \quad (31)$$

A5 Switch from two zones to one zone model

If some criteria are encountered during a two zone simulation, the code will automatically switch to a one zone simulation, which suits better to the situation inside the compartment at this moment. The simulation will continue to the end of the fire considering a one zone model. The criteria of switch will be explained in Annex F. The aim of this paragraph is to set how OZone deals with the basic variables of the zone models, how it sets the one zone initial conditions and how it deals with partitions models.

Zone models formulation

The time at which the switch from the 2ZM to the 1ZM happens is t_s . The values of the eleven basic variables describing the gas in the two zones are known until t_s thanks to the time integration of equations (8) to (11) and considering the constraints (1). To continue the simulation with a one zone model, it is possible to begin to solve the equations (15) and (16) associated to initial conditions representing the situation at that time. The point is to set the 1ZM initial values (at time t_s).

In one zone model there are six variables describing the gas in the compartment as a whole, linked by four constraints. Two new constraints are needed to fix the new initial conditions. One obtain these two additional condition by setting that during the transition from 2 zones to 1 zone, the total mass of gas and the total energy in the compartment are conserved.

$$m_g(t_s) = m_U(t_s) + m_L(t_s) \quad (32)$$

$$E_g(t_s) = E_U(t_s) + E_L(t_s) \quad (33)$$

The initial (at time t_s) one zone temperature $T_g(t_s)$ and one zone pressure $p(t_s)$ can be deduce

from equations (32), (33) and (12).

Afterward the one zone model runs with its associated sub-models for calculating exchanges of energy and mass through the vents. The partition models formulation and their initial values are explained in Annex F.

Wall model formulation

The partition temperatures at time t_s are obtained by integrating the set of equations (24) coupled to the 2 zone basic equations (8) to (11). At this time, the height of the lower and upper walls (vertical partitions) are respectively $Z_S(t_s)$ and $H-Z_S(t_s)$. From the time of transition t_s to the end of the calculation the one zone model is linked to the lower and upper walls which keep the dimension they had at time t_s , i.e. $Z_S(t_s)$ and $H-Z_S(t_s)$. During the transition no modification of partition temperatures or wall dimension is made, only the boundary conditions are modified. This way to proceed enables to fully respect the conservation of energy during the transition from the two zones to the one zone model. If a one zone model simulation is set from the beginning of the calculation, the dimension of the lower and upper walls are the initial dimensions, deduced from the initial altitude of separation of zones, until the end of the calculations.

It means that during a one zone simulation (one zone as well as combination strategy) a wall is represented by two identical partitions which see the same boundary conditions at each time.

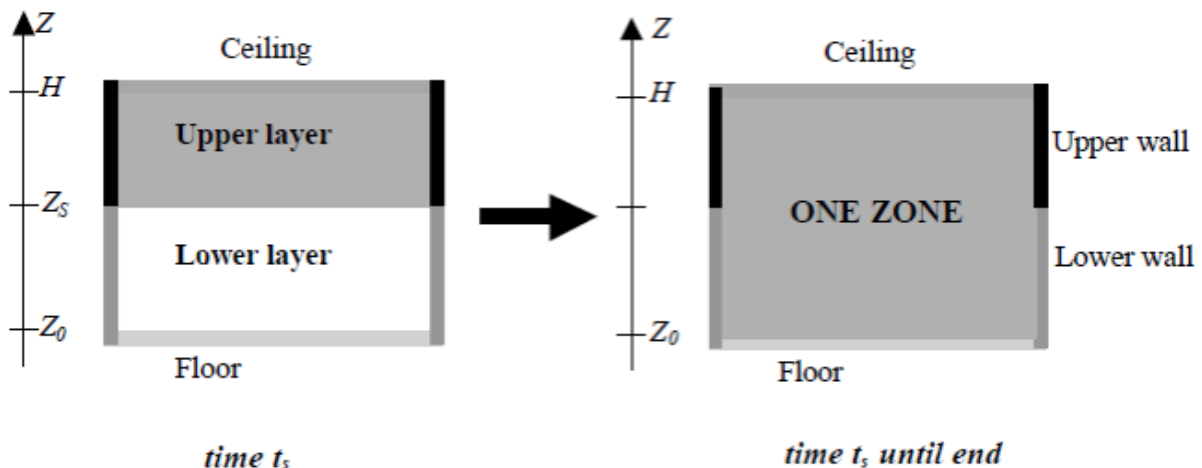


Figure A7

With a two zone model, lower walls are heated directly by radiation from the fire, and they give back energy to the lower layer by convection. If the switch encountered, they exchange energy by radiation and convection with the single zone.

ANNEX B - EXCHANGE THROUGH VENTS

Three types of vent models have been introduced in OZone: vertical vents, horizontal vents and forced vents.

Vertical vents (in walls)

Convective exchanges

The mass flow through vents is calculated by integrating the Bernoulli's law on each openings.

... (A1)

- With:
- subscript *A*: variable at origin of the flux
 - subscript *B*: variable at destination of the flux
 - Z'* & *Z''*: bounds of integration on altitude *Z*
 - b*: width of vertical vent
 - a* : *U* if the integration is made in the upper layer, *L* if the integration is made in the lower layer and *g* in case of one zone model. *b* : *in* if gas goes in the compartment, *out* if gas goes out of the compartment

If the altitude where the pressure inside the compartment is equal to the pressure outside of the compartment is in a vertical vent, the vertical vents is divided in two parts, one where the mass flow goes inside the compartment and another one where the mass flow goes outside. This altitude is called the neutral plane altitude. Moreover in a two zone model, if the altitude of separation between the zones is in the opening, another subdivision in two encountered. In 1ZM (One Zone Model), three possibilities exist following the neutral level position. In 2ZM (Two Zones Model), 10 possibilities exist following the neutral level and the zone separation altitude positions. For each vertical vent, equation A1 is the solved 1 or 3 times with the appropriate bounds of integration on the altitude (*Z'* & *Z''* can be the sill of the vent, the soffit of the vent, the neutral plane altitude or the separation between the zone altitude). Figure A1 shows in case of 2ZM and 1ZM one possible situation of relative position of Z_{sill} , Z_P , Z_S and Z_{soffit} .

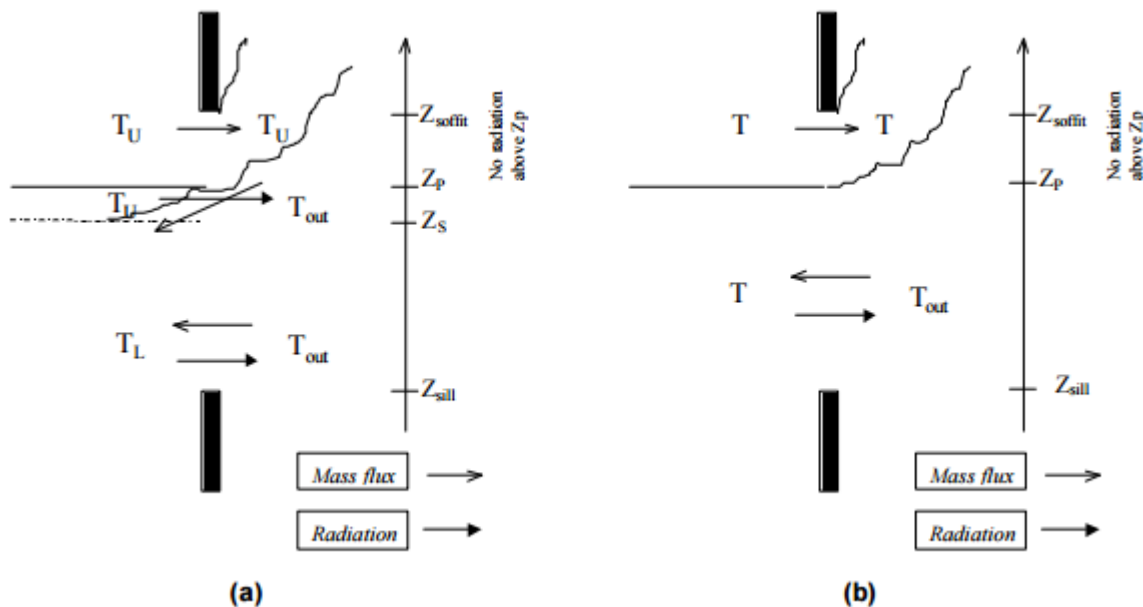


Fig. A1 Exchanges through vertical vents in (a) 2ZM and (b) 1ZM

Radiative exchanges

The radiation through the windows is taken into account by the Stefan-Boltzmann law. One consider that the radiation exists only bellow the altitude where the pressure inside the compartment is equal to the pressure outside the compartment. Above this level the gases goes out of the compartment and the temperature outside (in the plume) is assumed to be equal to the temperature in the compartment and thus it is considered that the net radiation flux is equal to zero (Figure A2).

If the windows is closed no mass exchange exists through it. The glazing can be assumed adiabatic and no radiation through it is considered. If radiation is considered through the glazing, it is evaluated by the Stephan-Boltzmann law:

...

in which e_{gl}^* is a parameter which include the relative emissivities of the gazes and include also the part of energy which is reflected on the interfaces between gas and glass and absorbed by the glazing material; this parameter is highly dependent on the nature of the glazing material.

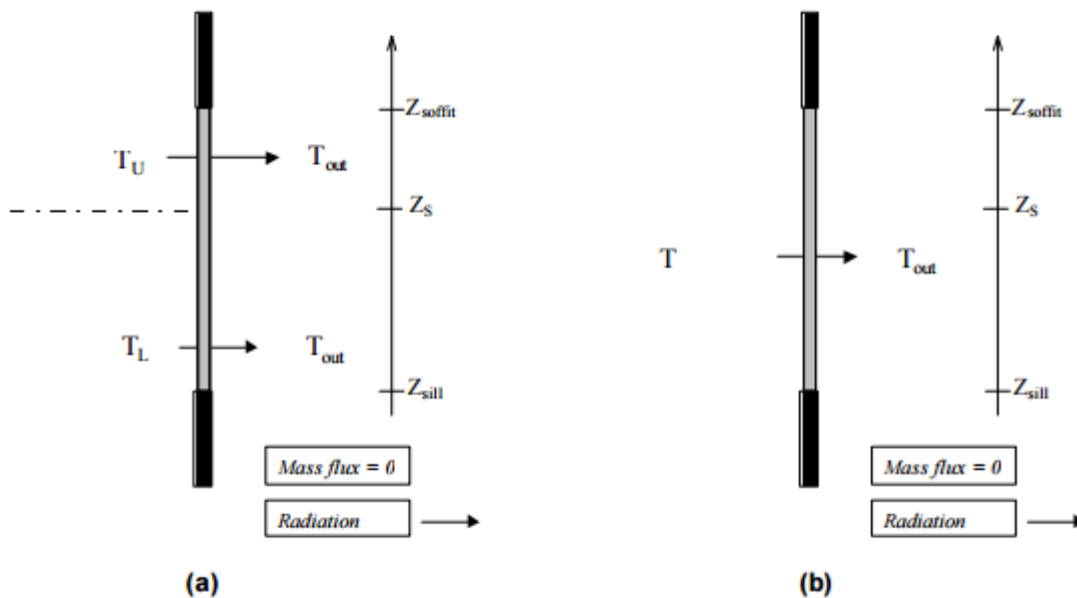


Fig. A2 Radiative exchanges through closed vertical vents in (a) 2ZM and (b) 1ZM

Horizontal vents (in the ceiling)

Gas flow through a horizontal ceiling vent is not always driven by the single pressure difference, buoyancy can also have a significant effect. These forces may lead to bidirectional exchange flow through the vent. Therefore it is not appropriate to unconditionally use Bernoulli's equation to model flow through horizontal vent.

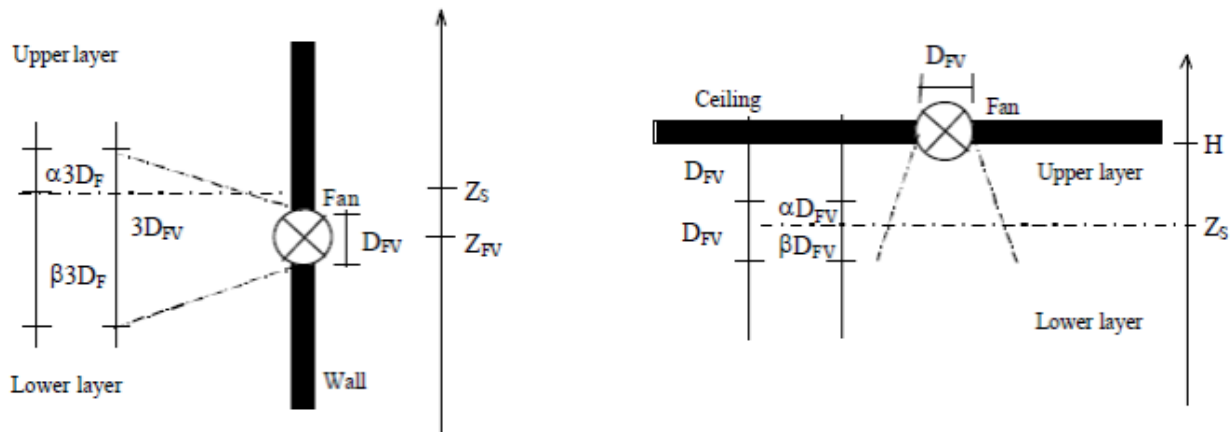
Cooper has established a model for calculating flows through circular, shallow (i.e. small depth to diameter ratio) horizontal vents. This model calculated the flow considering the pressure driven forces and when appropriated the combined pressure and buoyancy effects. The Cooper model is described in COOPER 95, COOPER 97.

Forced vents (smoke extractors)

Forced vent model is built to represent the effect of mechanical ventilation. The forced vents are defined by the volume rate flow that they induced, V_{FV} , their height Z_{FV} and their diameter D_{FV}

When the zone interface is above the forced vent elevation $+ 1.5 D_{FV}$, the exhausted gas is lower-layer air only. When the zone interface is below the forced vent elevation $- 1.5 D_{FV}$, the exhausted gas is upper-layer air only. When the zone interface is between $Z_S + 1.5 D_{FV}$ and $Z_S - 1.5 D_{FV}$, the mass of extracted air from each layer is proportional to the distance between Z_S and Z_{FV} and $3D_{FV}$.

If the forced vent is in the ceiling an interpolation is made. When the zone interface is above the forced vent elevation $- D_{FV}$, the exhausted gas is lower-layer air only. When the zone interface is below the forced vent elevation $- 2 D_{FV}$, the exhausted gas is upper-layer air only. When the zone interface is between $Z_S - D_{FV}$ and $Z_S - 2D_{FV}$, the mass of extracted air from each layer is proportional to the distance between Z_S and $Z_{FV} - D_{FV}$ and $2D_{FV}$.



ANNEX C - COMBUSTION MODELS

No combustion model

The pyrolysis rate and the rate of heat release set in the data are considered in the mass and energy balances. No control by the ventilation will be used. At each time, the following equations will be satisfied:

$$\dot{m}_f(t) = \dot{m}_{f,data}(t) \quad (B1-2)$$

$$RHR(t) = RHR_{data}(t)$$

This case corresponds to the simulation of tests where the mass loss and the rate of heat release have been measured. It suits also to situations where the pyrolysis rate is known and where the fire is assumed to be fuel controlled.

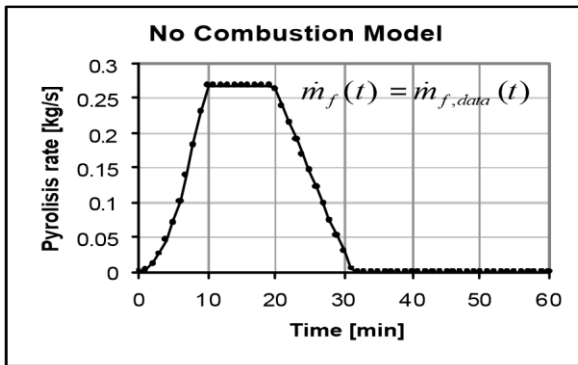


Fig. B1 Rate of Heat Release Curve

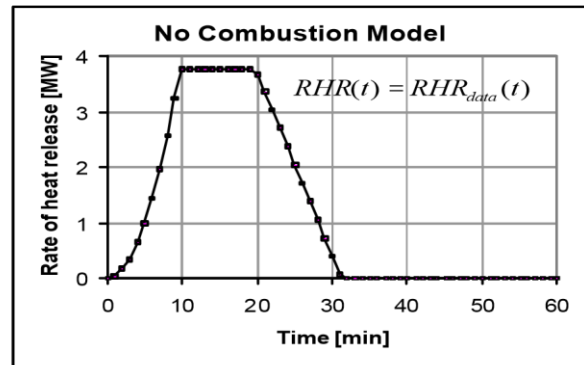


Fig. B2 Pyrolysis rate Curve

External flaming Combustion model

In this model the external combustion is assumed and all the fire load is transformed into gases in the compartment, but only a part of it delivers energy in the compartment. The rate of heat released by the fire may be limited by the quantity of oxygen available in the compartment, while the pyrolysis rate remains unchanged.

When the mass of oxygen in the compartment is higher than 0kg, the fire is fuel controlled and all the mass loss of fuel delivers energy into the compartment:

$$\dot{m}_f(t) = \dot{m}_{f,data}(t) \quad (B3-4)$$

$$RHR(t) = RHR_{data}(t) = m_{O_2}(t) H_{f,eff}$$

If all the oxygen in the compartment is consumed, the fire is ventilation controlled and the combustion is not complete. The energy released is governed by the mass of oxygen coming in the compartment through vents:

$$m_{O_2}(t) = m_{O_2,data}(t)$$

$$RHR(t) = m_{O_2,in}(t) H_{f,eff} \tag{B5-6}$$

When oxygen is again available in the compartment, the fire is coming back to fuel controlled regime and **equation B** governs the pyrolysis and the heat release rates.

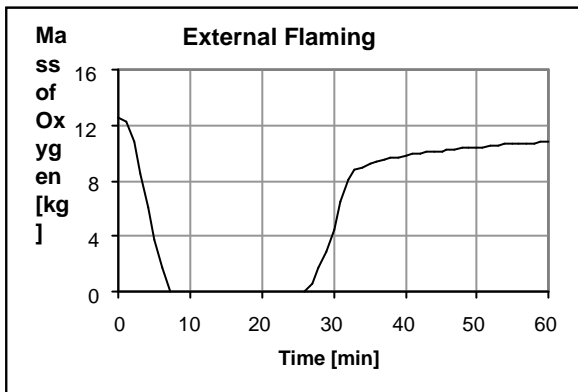


Fig. B3 Oxygen mass curve

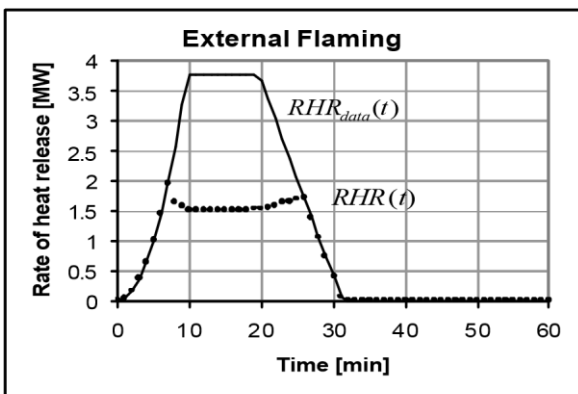


Fig. B4 Rate of Heat Release Curve

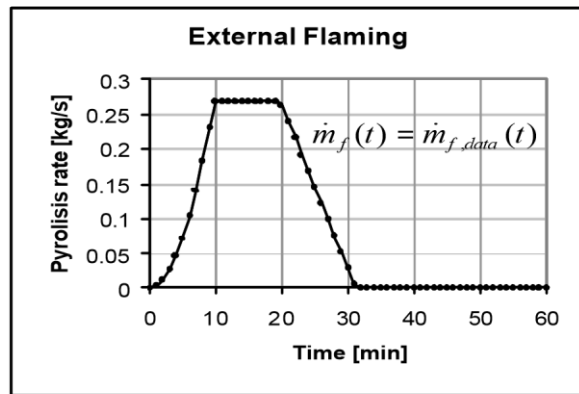


Fig. B5 Pyrolysis Rate Curve

Extended fire duration combustion model

This model supposes that the release of mass may be limited by the quantity of oxygen available in the compartment. The total mass of fuel is burnt inside the compartment (safe procedure) then the fire duration is increased compared to the input one.

When the mass of oxygen in the compartment is higher than 0kg, the fire is fuel controlled and all the mass loss of fuel delivers energy into the compartment:

$$m_{\text{O}_2}(t) = m_{\text{O}_2, \text{data}}(t) \tag{B7-8}$$

$$RHR(t) = RHR_{\text{data}}(t) = m_{\text{O}_2}(t) H_{f, \text{eff}}$$

If the mass of oxygen in the compartment is 0kg, the fire is ventilation controlled. In this case, the mass lost by the fire is governed by the mass of oxygen coming in the compartment and all the pyrolised mass is transformed into energy:

$$m_{\text{O}_2}(t) = m_{\text{O}_2, \text{in}}(t) \tag{B9-10}$$

$$m$$

$$RHR(t) = m_{\text{O}_2}(t) H_{f, \text{eff}} = m_{\text{O}_2, \text{in}}(t) H_{f, \text{eff}}$$

The linear decreasing phase begins when 70% of the total fire load is consumed.

In this model no external combustion is assumed, all the fire load delivers its energy into the compartment. If the fire is ventilation controlled, the pyrolysis rate is proportional to the oxygen coming in the compartment. This model is not a physical model because pyrolysis is not directly dependant on oxygen concentration. It has been established for design procedures, in order to avoid uncertainties on the maximum pyrolysis rate per unit floor area and therefore to be on the safe side concerning the fire duration.

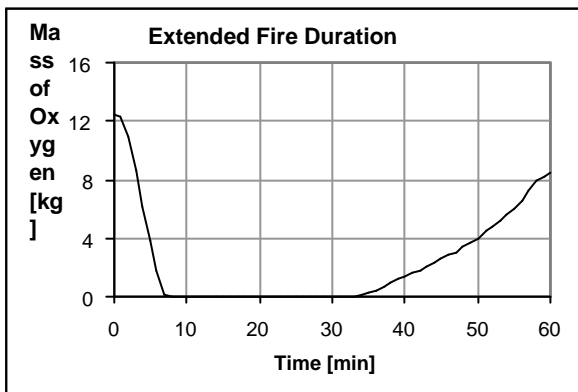
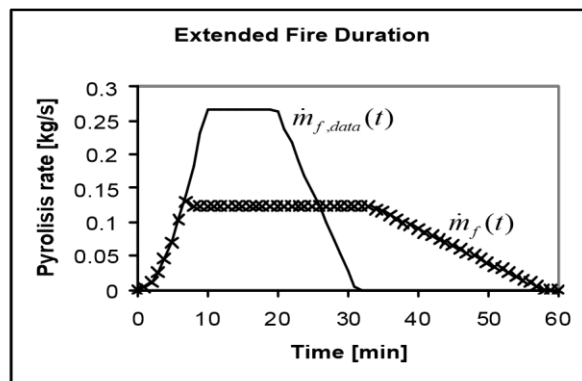
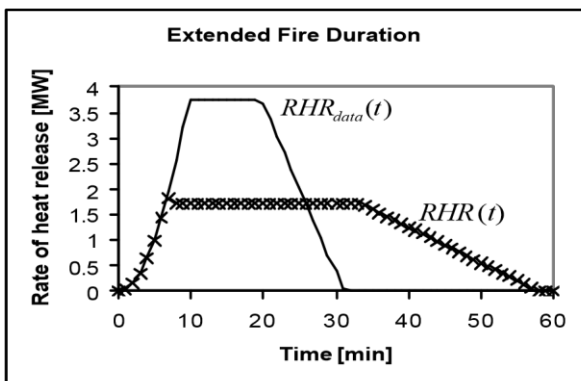


Fig. B6 Oxygen mass curve



ANNEX D - NATIONAL ANNEXES AND NATIONAL PARAMETERS FOR THE APPLICATION OF THE NATURAL FIRE IN DIFFERENT EUROPEAN COUNTRIES IN THE OZONE SOFTWARE

Several National Annexes of EN 1991-1-2 are introduced in OZone. By comparing the calculation method in application in a country to the original one described in the Eurocodes, three different options have been observed:

- the values of the factors involved in the computation of the design fire load density as well as the calculation procedure were changed;
- only the values involved in the computation of the design fire load density were changed;
- no changes in the calculation procedure or for the values of the factors involved in the computation of the design fire load density.

It should also be noted that Denmark do not allow using Annex E of EN1991-1-2 but no other calculation method is proposed in the Danish National Annex. This country is an exception.

OZone interface is available in English and French and the occupancies have been translated into the National language(s) of the country.

The German National Annex presents a specific method where two separate partial safety factors are calculated. The first one is applied to the fire load density (similar to EN) and the second one is applied to the Rate of Heat Release (not considered in the EN). These factors are function of the probability of occurrence of a damaging fire and the permitted probability of failure. A probabilistic equation is used to evaluate these two factors.

In the Netherlands, the method is quite similar to the German one. However, it should be noted that the two partial safety factors applied to the fire load density and the Rate of Heat Release are identical.

In UK, some formulae slightly differ but the method is the same as the Eurocode one.

A large number of countries follow the same calculation method as the one described in the EN 1991-1-2 but the values of several parameters are different. For example:

- Germany and France are using a 90% fractile (instead of 80%), fire load densities are consequently different;
- Some countries have chosen to consider different fire load densities for several occupancies (independent of the choice of fractile);
- France and Portugal have chosen to put all the delta factors accounting for active measures as equal to 1;
- Belgium, Spain and Italy are using other values for delta factors accounting for active measures.

A large number of countries have chosen to follow the Eurocode method without any modification of the values of factors influencing the fire load density, like Czech Republic, Estonia, Hungary, Luxembourg, Poland, Romania, Slovakia and Slovenia.

In the following the national parameters for the application of the Natural Fire in different European countries are given.

Belgium

No changes in the calculation procedure were provided in the Belgium National Annex of EN1991-1-2.

For Table A- 1, the values for the factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment are replaced by a formula for areas between 25-2500m². The descriptions of the occupancies are also extended.

In Table A- 2, some factors taking into account the different active fire fighting measures are modified.

In Table A- 3, the hotel and hospital rooms are considered with the same fire load density and some supplementary provisions are considered in case of localised fires.

The values to be implemented for the Belgium National Annex in OZone software are presented below. The modifications to the provisions of EN1991-1-2 are highlighted.

Table A- 1 : Factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment and type of occupancy (Belgium)

Compartment floor area Af [m ²]	Danger of fire activation - Factor 1	Danger of fire activation - Factor 2	Examples of occupancies
25	$\delta q_1 = 1,1 + 0,4 \log_{10} (A_f / 25)$	0.78	Galerie d'art, musée, piscine
250		1	Bureaux, résidence, hôtel, industries traitant des matières peu inflammables (produits en béton, en acier, industrie papetière), hôpitaux, écoles, commerces, salles de restaurant, espaces publics, parkings
2500		1.22	Fabrique de machines et de moteurs, industries traitant des matières inflammables (scierie, menuiserie, textile) , cuisines collectives
5000	2	1.44	Laboratoire de chimie, atelier de peinture
10000	2.13	1.66	Fabrique d'artifices ou de peintures

Table A- 2 : Factors taking into account the different active measures (Belgium)

Factor 1	Automatic Water Extinguishing System	0.61 or 0.78(industrial)
Factor 2	Independent Water Supplies 0/1/2	1.0/0.95/0.91
Factor 3 / 4	Automatic Fire Detection & Alarm (by Heat/ by Smoke)	0.87 or 0.73
Factor 5	Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	0.87
Factor 6 / 7	Work Fire Brigade / Off Site Fire Brigade	0.78 or 1
Factor 8	Safe Access Routes	1 or 1.5
Factor 9	Fire Fighting Devices	1 or 1.5
Factor 10	Smoke Exhaust System	1 or 1.5

Table A- 3 : Fire load densities, fire growth rate and RHR_f for different occupancies (Belgium)

Occupancy	Fire Load 80% fractile	Fire Growth Rate	RHR _f *
Logement	948	Medium	250
Chambre d'hôtel ou d'hôpital	377	Medium	250
Bibliothèque	1824	Fast	500
Bureau	511	Medium	250
Classe d'école	347	Medium	250
Centre commercial	730	Fast	250
Théâtre (cinéma)	365	Fast	500
Transport de personnes (espace public)	122	Slow	250

* "pour les feux localisés, on considère RHR_f = 500kW/m² au minimum pour tous les types d'occupation"

Czech Republic

No changes in the calculation procedure or for the values of the factors involved in the computation of the design fire load density were provided in the Czech Republic National Annex of EN1991-1-2. The values to be implemented for the Czech National Annex in OZone software are the ones from EN1991-1-2.

Croatia

No changes in the calculation procedure or for the values of the factors involved in the computation of the design fire load density were provided in the Croatian National Annex of EN1991-1-2. The values to be implemented for Croatian National Annex in OZone software are the ones from EN1991-1-2.

Estonia

No changes in the calculation procedure or for the values of the factors involved in the computation of the design fire load density were provided in the Estonian National Annex of EN1991-1-2. The values to be implemented for the Estonian National Annex in OZone software are the ones from EN1991-1-2.

France

No changes in the calculation procedure were provided in the French National Annex of EN1991-1-2, but the values of the factors involved in the computation of the design fire load density are changed.

In fact, all the values for the factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment and the fire activation risk due to the type of occupancy, as well as the values for the factors taking into account the different active fire fighting measures, are considered unitary. This means that, no reduction or increase of the characteristic fire load density is considered.

However, the French National Annex of EN1991-1-2 states that the fire load density may be corrected to take into account the particular measures of prevention and protection against fire, for the specific case considered. In such case, it must be demonstrated that the final value considered does not increase the probability of collapse, compared to the normal situation.

The values to be implemented for the French National Annex in OZone software are presented below. The modifications to the provisions of EN1991-1-2 are highlighted.

Table A- 4 : Factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment and type of occupancy (France)

Compartment floor area Af [m ²]	Danger of fire activation - Factor 1	Danger of fire activation - Factor 2	Examples of occupancies
25	1	1	artgallery, museum, swimming pool
250	1	1	offices, residences, hotel, paper industry
2500	1	1	manufactory for machineries and engines
5000	1	1	chemical laboratory, painting workshop
10000	1	1	manufactory of fireworks and paints

Table A- 5 : Factors taking into account the different active measures (France)

Factor 1	Automatic Water Extinguishing System	1
Factor 2	Independent Water Supplies 0/1/2	1
Factor 3 / 4	Automatic Fire Detection & Alarm (by Heat/ by Smoke)	1
Factor 5	Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	1
Factor 6 / 7	Work Fire Brigade / Off Site Fire Brigade	1
Factor 8	Safe Access Routes	1
Factor 9	Fire Fighting Devices	1
Factor 10	Smoke Exhaust System	1

Table A- 6 : Fire load densities, fire growth rate and RHRf for different occupancies (France)

Occupancy	Fire Load 90% fractile	Fire Growth Rate	RHRf
Logement	930	Medium	250
Hopital	630	Medium	250
Hotel (chambre)	460	Medium	250
Bureau	740	Fast	250
Bibliotheque de bureau - Archives de bureau (stockage 3m)	2300	Rapide	500

Salle de reunion	410	Medium	250
Classe d'ecole	530	Moyen	250
Centre commercial	840	Fast	500
Theatre	420	Rapide	500
Transport (espace public)	140	Slow	250

Germany

The calculation procedure provided in the German National Annex of EN1991-1-2 is different from the EN approach. EC and DIN EN have the same probabilistic approach, but the parameters resulting from their research works are different.

The risk of fire activation in DIN EN is given by:

$$P_{fi} = P_1 \times P_2 \times P_3 \times A_{fi}$$

in which:

P_1 : probability of severe fire not stopped by occupants according to the building category

P_2 : reduction factor depending on the fire brigade type and on the time between alarm and firemen intervention

P_3 : reduction factor if automatic fire detection (by smoke or heat), automatic transmission of the alarm, sprinkler systems are present

The safety factor in EN (applied to the fire load density) is calculated as product of the delta factors, while in the German Annex the safety factors (two different factors applied to RHR and fire load density) have to be explicitly calculated from the probabilistic formula:

$$\gamma_{fi} = \frac{1 - V \cdot \sqrt{6} / \pi \cdot [0,5772 + \ln(-\ln(\Phi(\alpha \cdot \beta_{fi})))]}{1 - V \cdot \sqrt{6} / \pi \cdot [0,5772 + \ln(-\ln(0,9))]}$$

Also, Table A- 7, containing the values of the fire load densities for different occupancies is modified. The values to be implemented for the German National Annex in OZone software are presented below. The modifications to the provisions of EN1991-1-2 are highlighted.

Table A- 7 : Fire load densities, fire growth rate and RHRf for different occupancies (Germany)

Occupancy	Fire Load 90% fractile	Fire Growth Rate	RHRf
Wohngebäude	1085	mittel	250
Burogebäude	584	mittel	250
Krankenhauss (Zimmer)	320	mittel	250
Hotel (Zimmer)	431	mittel	250
Bibliothek	2087	mittel	250 to 500
Schule	397	mittel	150
Verkaufsstätte	835	schnell	250
Theater, Kino	417	schnell	500

Transport (public space)	139	langsam	250
--------------------------	-----	---------	-----

The practical procedure in the OZone software involves first the definition of the geometry of the compartment (dimensions, nature of partitions, openings, smoke evacuator systems,...) in the common module of OZone. The difference from the other procedures is that, upon selecting "Germany" from the list of National Annexes, in the open window the appropriate input values must be defined.

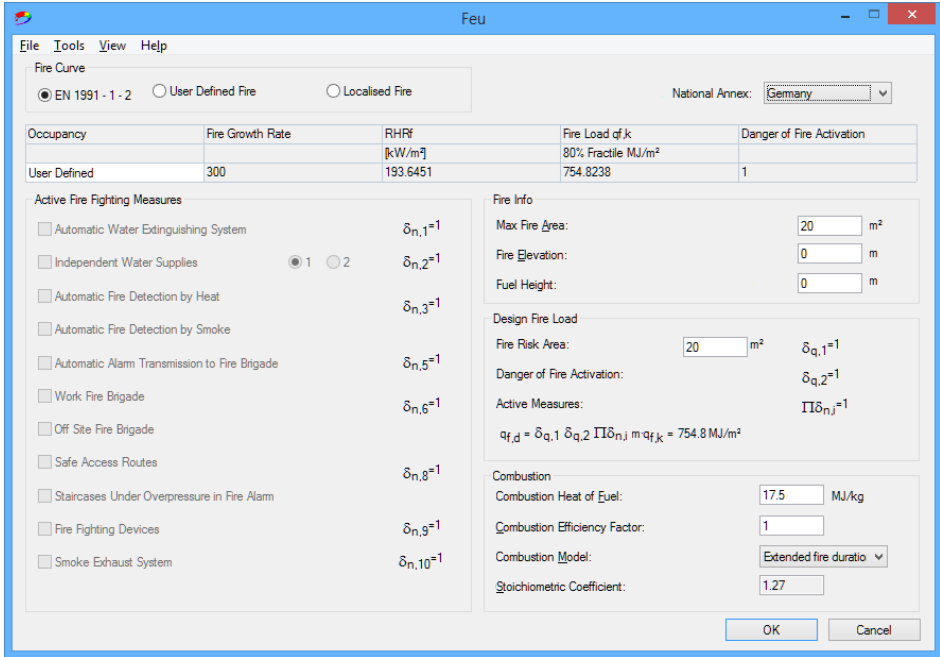


Figure A- 1 : General parameters for application of the German National Annex

In the main "Fire Definition" window, the Fire Growth rate, the RHR_f and the q_{fk} are automatically computed. Also, by selecting the DIN EN, all three factors that multiply q_{fk} from EN are automatically set to 1.0 in OZone.

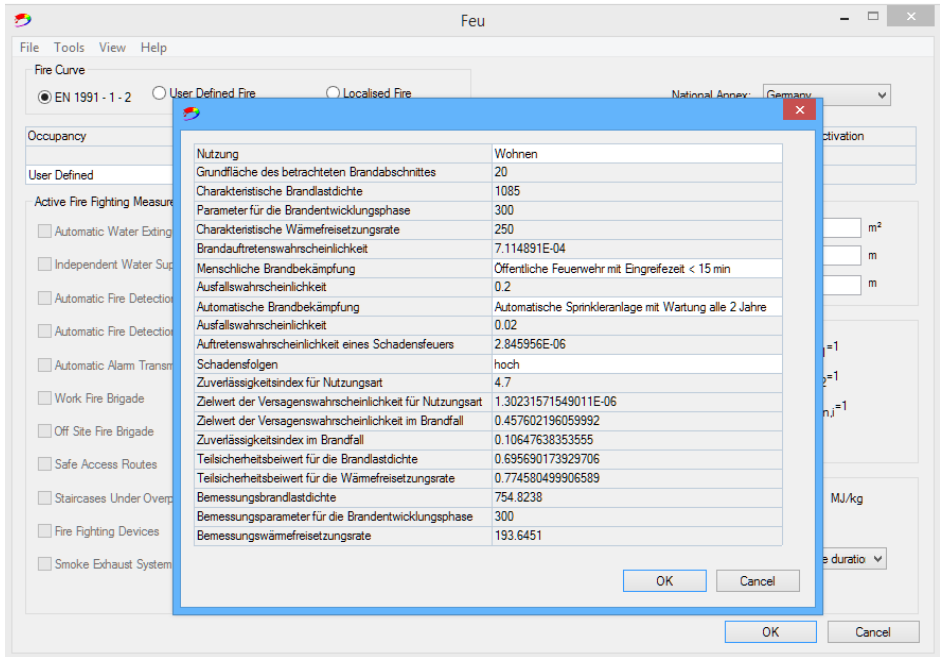


Figure A- 2 : Specific parameters of the German National Annex

Afterwards, the calculation with OZone performs as usual in order to obtain the temperature curve for design purpose.

New procedure for german annex??????

National Annexes

German Annex

Nutzung	Brandlastdichte			Brandausbreitung	Parameter für Brandausbreitung
	Mittelwert	Standardabweichung	90% Fraktile		
					t_a [s]
Wohnen	780	234	1085	mittel	300
Krankenhaus (Zimmer)	230	69	320	mittel	300
Hotel (Zimmer)	310	93	431	mittel	300
Bücherei, Bibliothek	1500	450	2087	schnell	150
Büro	420	126	584	mittel	300
Schule (Klassenzimmer)	285	85.5	397	mittel	300
Einkaufszentrum	600	180	835	mittel	150
Theater (Kino)	300	90	417	schnell	150
Verkehr (öffentl. Bereich)	100	30	139	langsam	600
Industrie (Lager)	1180	-	2240	schnell	150
Industrie (Produktion)	300	-	590	mittel	300

Wärmefreisetzungsrate	Brandaufretenswahrscheinlichkeit				Schadensfolgen		
	λ_1	a	b	p_1	hoch	mittel	gering
RHR _f [kW/m ²]					β	β	B
250	4.70E-06	4.80E-05	9.00E-01	3.00E-03	4.7	4.2	3.7
250	5.60E-06	7.00E-04	7.50E-01	3.00E-01	5.2	4.7	4.2

250		8.00E-05	1	3.70E-02	5.2	4.7	4.2
500	3.80E-06	9.70E-05	0.75	2.00E-02	5.2	4.7	4.2
250	2.10E-06	5.90E-05	0.9	6.20E-03	4.7	4.2	3.7
250	1.90E-06	2.00E-04	0.75	4.00E-02	5.2	4.7	4.2
250	4.70E-06	6.60E-05	1	8.40E-03	5.2	4.7	4.2
500	3.80E-06	9.70E-05	0.75	2.00E-02	5.2	4.7	4.2
250	3.80E-06	9.70E-05	1	2.00E-02	4.7	4.2	3.7
500	1.40E-05	6.70E-04	0.5	1.30E-02	4.7	4.2	3.7
250	6.40E-06	1.70E-03	0.53	4.40E-02	4.7	4.2	3.7

Feuerwehr	p_2
Öffentliche Feuerwehr mit Eingreifezeit < 15 min	0.20
Öffentliche Feuerwehr mit Eingreifezeit > 20 min	0.50
Werkfeuerwehr mit Eingreifzeit < 10 min (vier Staffeln)	0.02
Werkfeuerwehr mit Eingreifzeit < 10 min (zwei Staffeln)	0.05
Löschanlagen	p_3
Automatische Sprinkleranlage mit Wartung alle 2 Jahre	0.02
Automatische Sprinkleranlage in anderen Fällen	0.05
Sonstige Wasserlöschanlage	0.10
Gaslöschanlage	0.10
Keine automatische Löschanlage	1.00

Nutzung	Bücherei, Bibliothek			
Grundfläche des betrachteten Brandabschnittes	$A_f =$	3000	m ²	

Charakteristische Brandlastdichte	$q_{f,k} =$	2087	MJ/m ²	(Tabelle BB.1)
Parameter für die Brandentwicklungsphase	$t_a =$	150	s	(Tabelle BB.2)
Charakteristische Wärmefreisetzungsrate	$RHR_f =$	500	kW/m ²	(Tabelle BB.2)
Brandauftrittswahrscheinlichkeit	$p_1 =$	3.9E-02		(Tabelle BB.3)
Menschliche Brandbekämpfung	Werkfeuerwehr mit Eingreifzeit < 10 min (zwei Staffeln)			
Ausfallwahrscheinlichkeit	$p_2 =$	0.05		(Tabelle BB.4)
Automatische Brandbekämpfung	Automatische Sprinkleranlage in anderen Fällen			
Ausfallwahrscheinlichkeit	$p_3 =$	0.05		(Tabelle BB.4)
Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadensfeuers	$p_{fi} = p_1 * p_2 * p_3$	9.83E-05		(BB.10)
Schadensfolgen	Mittel			
Zuverlässigkeitsindex für Nutzungsart	$\beta =$	4.7		(Tabelle BB.5)
Zielwert der Versagenswahrscheinlichkeit für Nutzungsart	$p_f = \Phi(-\beta)$	1.3E-06		(BB.13)
Zielwert der Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall	$p_{f,fi} = p_f / p_{fi}$	1.3E-02		(BB.14)
Zuverlässigkeitsindex im Brandfall	$\beta_{fi} = -\Phi^{-1}(p_{f,fi})$	2.22		(BB.15)
Teilsicherheitsbeiwert für die Brandlastdichte	$g_{fi,q}$	1.02		(BB.16)
Teilsicherheitsbeiwert für die Wärmefreisetzungsrate	$g_{fi,RHR}$	0.96		(BB.16)
Bemessungsbrandlastdichte	$q_{f,d}$	2120	MJ/m ²	(BB.1)
Bemessungsparameter für die Brandentwicklungsphase	t_a	150	S	
Bemessungswärmefreisetzungsrate	RHR_f	481	kW/m ²	

Hungary

No changes in the calculation procedure or for the values of the factors involved in the computation of the design fire load density were provided in the Hungarian National Annex of EN1991-1-2. The values to be implemented for the Hungarian National Annex in OZone software are the ones from EN1991-1-2.

Italy

Some changes in the calculation procedure, as well as for the values of different factors involved in the computation of the design fire load density were provided in the Italian National Annex of EN1991-1-2. The values to be implemented for the Italian National Annex in OZone software are presented below. The modifications to the provisions of EN1991-1-2 are highlighted.

Table A- 8 : Factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment and type of occupancy (Italy)

Compartment floor area Af [m ²]	Danger of fire activation - Factor 1
25	1
250	1
500	1.2
1000	1.4
2500	1.6
5000	1.8
10000	2

The second factor for danger activation is computed according to the following:

- 0.8 Areas that have a low fire risk in terms of ignition probability, flame propagation speed and possibility of fire control from the fire brigades
- 1.0 Areas that have a medium fire risk in terms of ignition probability, flame propagation speed and possibility of fire control from the fire brigades
- 1.2 Areas that have a high fire risk in terms of ignition probability, flame propagation speed and possibility of fire control from the fire brigades

Table A- 9 : Factors taking into account the different active measures (Italy)

Factor 1	Automatic Water Extinguishing System	1/0.6
Factor 2	Independent Water Supplies 0/1/2	1/1/1
Factor 3 / 4	Automatic Fire Detection & Alarm (by Heat/ by Smoke)	1/0.85/0.85
Factor 5	Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	1/1

Factor 6 / 7	Work Fire Brigade / Off Site Fire Brigade	1/0.9/1
Factor 8	Safe Access Routes	1/0.9/0.9
Factor 9	Fire Fighting Devices	1/0.9/0.8
Factor 10	Smoke Exhaust System	1/1

Luxembourg

No changes in the calculation procedure or for the values of the factors involved in the computation of the design fire load density were provided in the Luxembourg National Annex of EN1991-1-2. The values to be implemented for the Luxembourgish National Annex in OZone software are the ones from EN1991-1-2.

The Netherlands

Changes in the calculation procedure were provided in the Dutch National Annex of EN1991-1-2. Instead of applying directly the delta coefficients to the characteristic fire load density, in the Dutch NA a global risk factor is calculated. The risk factor, which should be calculated by the user, is dependent on the compartment size, occupation and active measures considered. This factor is applied to the RHR curve, not to the characteristic fire load density. Depending on the fire resistance requirement, the fire load is additionally multiplied with a supplementary coefficient, which is 0,5 for 30 minutes; 1,0 for 60; 1,5 for 90; 2,0 for 120.

Table A- 10, containing the values of the fire load densities for different occupancies, is modified. The values to be implemented for the Dutch National Annex in OZone software are presented below. The modifications to the provisions of EN1991-1-2 are highlighted.

Table A- 10 : Fire load densities, fire growth rate and RHRf for different occupancies (The Netherlands)

Occupancy	Fire Load 80% fractile	Fire Growth Rate	RHRf
Dwelling	870	Medium	250
Hospital	350	Medium	250
Hotel (room)	400	Medium	250
Library	1824	Fast	500
Office (standard)	570	Medium	250
School	360	Medium	250
Shopping Centre	730	Fast	250
Theatre (movie/cinema)	365	Fast	500
Transport (public space)	122	Slow	250

Portugal

No changes in the calculation procedure were provided in the Portuguese National Annex of EN1991-1-2, but, as in the case of the French National Annex, the values of the factors involved in the computation of the design fire load density are considered unitary.

The values to be implemented for the Portuguese National Annex in OZone software are presented below. The modifications to the provisions of EN1991-1-2 are highlighted.

Table A- 11 : Factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment and type of occupancy (Portugal)

Compartment floor area Af [m ²]	Danger of fire activation - Factor 1	Danger of fire activation - Factor 2	Examples of occupancies
25	1	1	artgallery, museum, swimming pool
250	1	1	offices, residences, hotel, paper industry
2500	1	1	manufactory for machineries and engines
5000	1	1	chemical laboratory, painting workshop
10000	1	1	manufactory of fireworks and paints

Table A- 12 : Factors taking into account the different active measures (Portugal)

Factor 1	Automatic Water Extinguishing System	1
Factor 2	Independent Water Supplies 0/1/2	1
Factor 3 / 4	Automatic Fire Detection & Alarm (by Heat/ by Smoke)	1
Factor 5	Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	1
Factor 6 / 7	Work Fire Brigade / Off Site Fire Brigade	1
Factor 8	Safe Access Routes	1
Factor 9	Fire Fighting Devices	1
Factor 10	Smoke Exhaust System	1

Romania

No changes in the calculation procedure or for the values of the factors involved in the computation of the design fire load density were provided in the Romanian National Annex of EN1991-1-2. The values to be implemented for the Romanian National Annex in OZone software are the ones from EN1991-1-2.

Spain

No changes in the calculation procedure were provided in the Spanish National Annex of EN1991-1-2.

For Table A- 13, the descriptions of the occupancies are extended and different values are provided for the danger of fire activation coefficient.

In Table A- 14, only the factors accounting for Automatic Water Extinguishing System, Automatic Fire Detection & Alarm (by Heat/ by Smoke) and for Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade are considered.

In Table A- 15, some fire load densities are modified.

The values to be implemented for the Spanish National Annex in OZone software are presented below. The modifications to the provisions of EN1991-1-2 are highlighted.

Table A- 13 : Factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment and type of occupancy (Spain)

Compartment floor area Af [m ²]	Danger of fire activation - Factor 1	Danger of fire activation - Factor 2	Examples of occupancies
25	1.1	0.78	Galería de arte, museo, piscina
250	1.5	1.25	Vivienda, administrativo, residencial, docente
2500	1.9	1.25	Sectores de riesgo especial bajo
5000	2	1.4	Sectores de riesgo especial medio
10000	2.13	1.6	Sectores de riesgo especial alto

Table A- 14 : Factors taking into account the different active measures (Spain)

Factor 1	Automatic Water Extinguishing System	0.61
Factor 2	Independent Water Supplies 0/1/2	1
Factor 3 / 4	Automatic Fire Detection & Alarm (by Heat/ by Smoke)	0.87
Factor 5	Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	0.87
Factor 6 / 7	Work Fire Brigade / Off Site Fire Brigade	1
Factor 8	Safe Access Routes	1
Factor 9	Fire Fighting Devices	1
Factor 10	Smoke Exhaust System	1

Table A- 15 : Fire load densities, fire growth rate and RHRf for different occupancies (Spain)

Occupancy	Fire Load 80% fractile	Fire Growth Rate	RHRf
Vivienda	650	Medio	250
Hospital (habitación)	280	Medio	250
Hotel (habitación)	280	Medio	250
Biblioteca	1824	Rápido	500
Oficina	520	Medio	250
Aula de escuela	350	Medio	250

Centro comercial	730	Rápido	250
Teatro (cine)	365	Rápido	500
Transporte (espacio público)	122	Lento	250

Slovenia

No changes in the calculation procedure or for the values of the factors involved in the computation of the design fire load density were provided in Slovenian National Annex of EN1991-1-2. The values to be implemented for the Slovenian National Annex in OZone software are the ones from EN1991-1-2.

Sweden

No changes in the calculation procedure were provided in the Swedish National Annex of EN1991-1-2. All the values for the factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment and the fire activation risk due to the type of occupancy, as well as the values for the factors taking into account the different active firefighting measures, are considered unitary. This means that, no reduction or increase of the characteristic fire load density is considered.

The values to be implemented for the Swedish National Annex in OZone software are presented below. The modifications to the provisions of EN1991-1-2 are highlighted.

Table A- 16 : Factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment and type of occupancy (Sweden)

Compartment floor area Af [m ²]	Danger of fire activation - Factor 1	Danger of fire activation - Factor 2	Examples of occupancies
25	1	1	artgallery, museum, swimming pool
250	1	1	offices, residences, hotel, paper industry
2500	1	1	manufactory for machineries and engines
5000	1	1	chemical laboratory, painting workshop
10000	1	1	manufactory of fireworks and paints

Table A- 17 : Factors taking into account the different active measures (Sweden)

Factor 1	Automatic Water Extinguishing System	1
Factor 2	Independent Water Supplies 0/1/2	1
Factor 3 / 4	Automatic Fire Detection & Alarm (by Heat/ by Smoke)	1
Factor 5	Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	1
Factor 6 / 7	Work Fire Brigade / Off Site Fire Brigade	1
Factor 8	Safe Access Routes	1

Factor 9	Fire Fighting Devices	1
Factor 10	Smoke Exhaust System	1

Table A- 18 : Fire load densities, fire growth rate and RHRf for different occupancies (Sweden)

Occupancy	Fire Load 80% fractile	Fire Growth Rate	RHRf
Dwelling	750	Medium	250
Hospital	360	Medium	250
Hotel (room)	400	Medium	250
Library	1800	Fast	500
Office (standard)	520	Medium	250
School	450	Medium	250
Shopping Centre	400	Fast	250
Theatre (movie/cinema)	370	Fast	500
Transport (public space)	122	Slow	250

United Kingdom

The calculation procedure provided in the PD 6688-1-2 is the same as the one of the EN1991-1-2. A different parameter "fire growth rate parameter" is introduced but this leads to results very close to those obtained by use of the EN1991-1-2. All the values for the factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment and the fire activation risk due to the type of occupancy, as well as the values for the factors taking into account the different active firefighting measures are considered unitary, except for the presence of sprinklers.

The values to be implemented for the UK National Annex (PD 6688-1-2) in OZone software are presented below. The modifications to the provisions of EN1991-1-2 are highlighted.

Table A- 19 : Factors taking into account the fire activation risk due to the size of the compartment and type of occupancy (UK)

Compartment floor area Af [m ²]	Danger of fire activation - Factor 1	Danger of fire activation - Factor 2	Examples of occupancies
25	1	1	artgallery, museum, swimming pool
250	1	1	offices, residences, hotel, paper industry
2500	1	1	manufactory for machineries and engines
5000	1	1	chemical laboratory, painting workshop

10000	1	1	manufacture of fireworks and paints
-------	---	---	-------------------------------------

Table A- 20 : Factors taking into account the different active measures (UK)

Factor 1	Automatic Water Extinguishing System	0.61
Factor 2	Independent Water Supplies 0/1/2	1
Factor 3 / 4	Automatic Fire Detection & Alarm (by Heat/ by Smoke)	1
Factor 5	Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	1
Factor 6 / 7	Work Fire Brigade / Off Site Fire Brigade	1
Factor 8	Safe Access Routes	1
Factor 9	Fire Fighting Devices	1
Factor 10	Smoke Exhaust System	1

Table A- 21 : Fire load densities, fire growth rate and RHRf for different occupancies (UK)

Occupancy	Fire Load 80% fractile	Fire Growth Rate	RHRf
Dwelling	870	Medium	250
Hospital	350	Medium	250
Hotel (room)	400	Medium	250
Library	2250	Fast	500
Office (standard)	570	Medium	250
School	360	Medium	250
Shopping Centre	900	Fast	250
Theatre (movie/cinema)	-	-	-
Transport (public space)	-	-	-

ANNEX E - LOCALISED FIRE PROCEDURE

The localised fire procedure implemented in OZone is based on the work made in the research project RFSR-CT-2012-00023 LOCAFI - Temperature assessment of a vertical steel member subjected to LOCALised Fire.

The analytical model for localised fires has been developed within the project with two levels of refinement:

- A model based on numerical integration for implementation into advanced models like SAFIR and Ansys - “geometric model”;
- A model based on analytical formulae for handmade use or implementation into basic engineering tools like Excel spreadsheets - “simplified model”.

In both geometric and simplified models, the configurations where the thermal exchanges are drawn by convective fluxes (member engulfed into the fire or situated inside the smoke layer) are treated by application of the existing equations available in the EN 1991-1-2. The major heat exchanges, by radiation, are calculated by representing the fire as a virtual solid flame that radiates in all the directions. The first step of this calculation is again common to the geometric and simplified models and consists in defining the geometry of the virtual solid flame representing the localised fire and the distribution of temperature as a function of time.

The shape of the virtual solid flame representing the thermal action of the localised fire may be cylindrical or conical. The cylindrical shape flame is simpler to deal with but usually represents less accurately the thermal attack induced by the fire and leads to overestimated radiative heat fluxes. In case the flame length is higher than the ceiling level, the cylinder or the cone must be truncated and a radiant ring, representing the spreading of the flame under the ceiling, should be considered outside the truncated cylinder or cone.

The difference between the geometric and simplified models is the calculation method used for the assessment of the radiative heat fluxes exchanged between the virtual solid flame and the elements.

In order to propose a calculation method without surface integral (that generally requires the implementation into a solver), the simplified model implemented in OZone was defined on the basis of configuration factors. For simple shapes like cylinder or ring, direct formulae are available under several conditions. By means of slight adaptations of the virtual solid flame, these conditions are satisfied and the calculation of radiative heat fluxes can be calculated using the concept of configuration factor.

The implementation of the simplified model in OZone software considers a conical shape for the virtual solid flame as it has been demonstrated that this shape is leading to the best flux predictions. The flux is calculated separately for the 4 faces of the box perimeter of the profile and an average value of this flux is applied to the whole perimeter of the steel section. This means that the shadow effect is not taken into account. The coupling between localised fire and compartment fire allows combining the influences of the radiative heat fluxes through the cold zone and of the convective fluxes in the hot zone. The input data of the “Localised fire” part requires defining the position, diameter and evolution of HRR with time for a maximum number of 5 fires. The calculation of steel temperatures under the calculated heat fluxes was already available previously and assumes that the temperature is uniform through the cross-section.

More detailed information about the simplified model for localised fire implemented in OZone is given in the Final Report of the research project RFSR-CT-2012-00023 LOCAFI - Temperature assessment of a vertical steel member subjected to LOCALised Fire.

ANNEX F - ANALYSIS STRATEGY AND TRANSITION CRITERIA

If a fire is modelled by the plain curve of the Figure the growing phase, represented here by a t^2 curve, is reaching a maximum at the time at which all the fuel has been ignited. If the fuel ignition happens only by flame spread, the maximum is reached without modification of the initial t^2 curve. If the temperatures of hot gases of the upper layer of a fire reach a sufficiently high temperature (about 500°C to 600°C), the radiative flux between the hot gas and the non-burning combustible materials can be as high as to ignite the fuel. At this moment there is a very fast increased of the energy release rate. This phenomenon is called flashover. This modification is made by modifying the initial heat release rate curve as indicated by the dotted line in Figure..... At the flashover time, the RHR curve is left and goes to its maximum value equal to the maximum fire area multiplied by the heat release rate density RHR_f .

If the gases in contact with the fuel reach a temperature of about 300°C, the fuel also ignites and the rate of heat release increases as stated for the flashover phenomena.

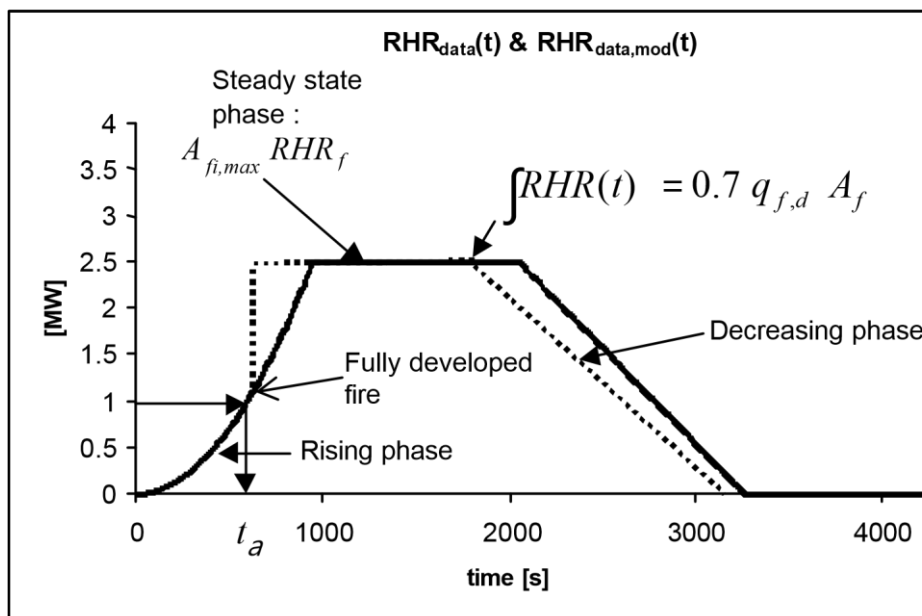


Figure..... Modification of RHR(t) in case of flashover

The criteria of the transition from two to one zone and/or of modification of the fire source model are given in the following.

- Criterion 1 (C1) : $T_U > T_{FL}$
High temperature of the upper layer gases, composed of combustion products and entrained air, leads to a flashover. All the fuel in the compartment is ignited by radiative flux from the upper layer. The flashover temperature (T_{FL}) is set to 500°C.
- Criterion 2 (C2) : $Z_s < Z_q$ and $T_Z > T_{ignition}$
If the gases in contact with the fuel have a higher temperature than the ignition temperature of fuel ($T_{ignition}$), the propagation of fire to all the combustible of the compartment will occur by convective ignition. The gases in contact (at temperature T_Z) can either belong to the lower layer of a two zone, the upper layer (if the decrease of the interface height (Z_s) leads to put combustible in the smoke layer - Z_q is the maximum height of the combustible material) or the unique zone of one zone models. $T_{ignition}$ is assumed to be 300°C.

- Criterion 3 (C3) : $Z_s < 0.2 H$
The interface height goes down and leads to a very small lower layer thickness, which is not representative of two zone phenomenon.
- Criterion 4 (C4) : $A_{fi} > 0.25 A_f$
The fire area is too high compared to the floor surface of the compartment to consider that the fire remains confined.

Criteria 1 or 2 lead necessarily to a modification of the rate of heat release. If the fire load remains localised (C4 is not fulfilled), the simulation will continue using a 2ZM and if the fire load is uniformly distributed, a 1ZM will be considered. If one of the criteria C3 or C4 is fulfilled, the code will switch to a one zone model but the RHR will not be modified, except if criterion C1 or C2 happens simultaneously. The [Table](#) and [Figure](#) summarize the four criteria.

Table

CRITERIA	EFFECT	
	LOCALISED q_f	DISTRIBUTED q_f
C1 : $T_U > 500^\circ\text{C}$	$A_{fi} = A_{fi,max}$	1ZM + $A_{fi} = A_{fi,max}$
C2 : $Z_s < H_q$ and $T_U > T_{ignition}$ (2ZM) or, $Z_s > H_q$ and $T_L > T_{ignition}$ (2ZM) or, $T > T_{ignition}$ (1ZM)	$A_{fi} = A_{fi,max}$	1ZM + $A_{fi} = A_{fi,max}$
C3 : $Z_s < H$	1ZM	1ZM
C4 : $A_{fi} > 0.25\% A_f$	-	1ZM

If the fire load is confined five different paths are possible:

- PATH 1 - None criterion are encountered then the model will remain with two zones and the RHR curve will not be modified until the end of the fire.
- PATH 2 - Criterion C1 or C2 is first encountered, leading to a RHR modification. Criterion C3 is not encountered, the model remains a two zones one.
- PATH 3 - Criterion C1 or C2 is first encountered, leading to a RHR modification. Criterion C3 is encountered, the model switch from a two zones to a one zone.
- PATH 4 - Criterion C3 is first encountered, the model switch from a two zones to a one zone. The criteria C1 and C2 are not encountered, leading to no RHR modification.
- PATH 5 - Criterion C3 is first encountered, the model switch from a two zones to a one zone. The criterion C1 or C2 is then encountered, leading to a RHR modification.

If the fire load is uniformly distributed, three different paths are possible:

- PATH 6 - Criterion C1 or C2 is encountered, leading to a RHR modification and a simultaneous switch from a two zones to a one zone model.
- PATH 7 - Criterion C3 or C4 is first encountered, the model switch from a two zones to a one zone. The criterion C1 and C2 are not encountered, leading to no RHR modification.
- PATH 8 - Criterion C3 or C4 is first encountered, the model switch from a two zones to a one zone. Criterion C1 or C2 is then encountered, leading to a RHR modification.

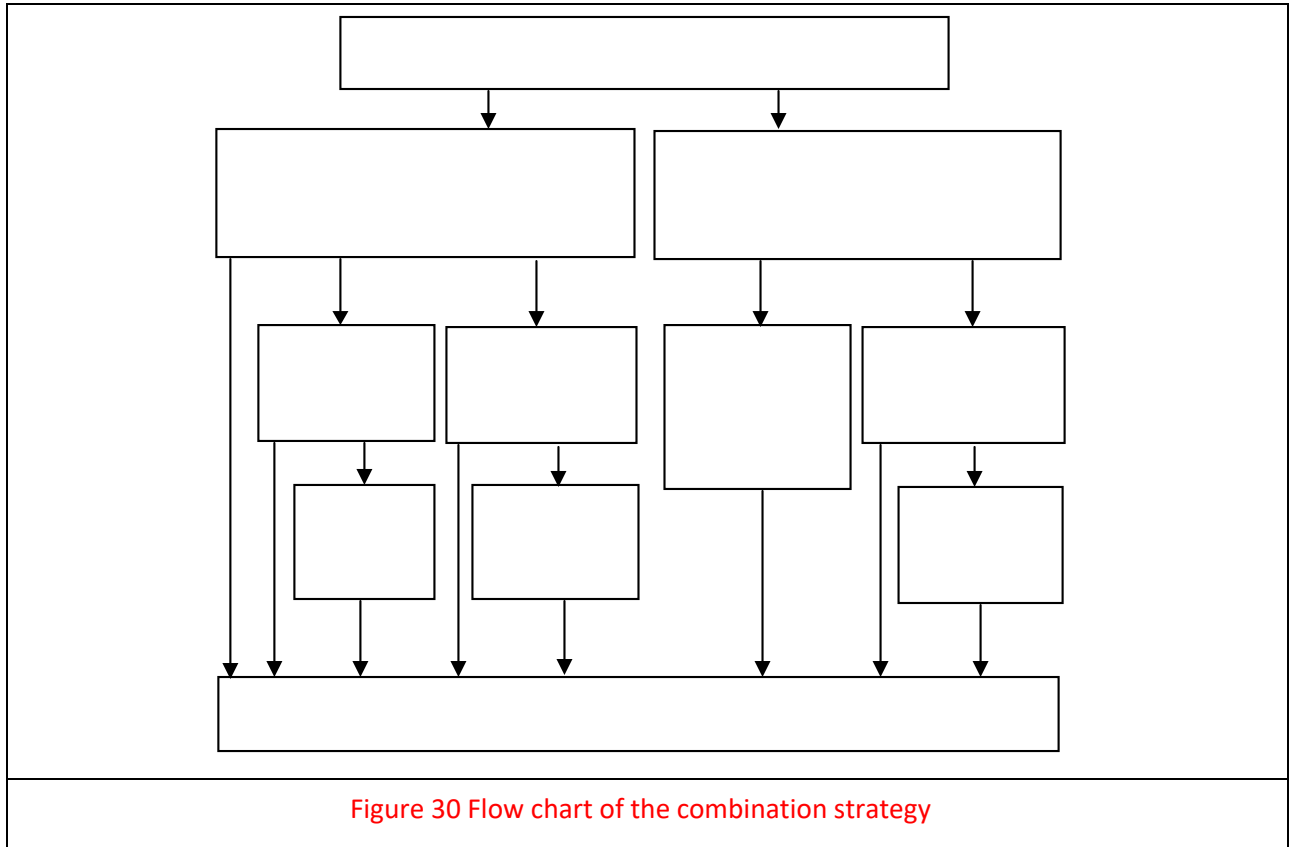


Figure 30 Flow chart of the combination strategy

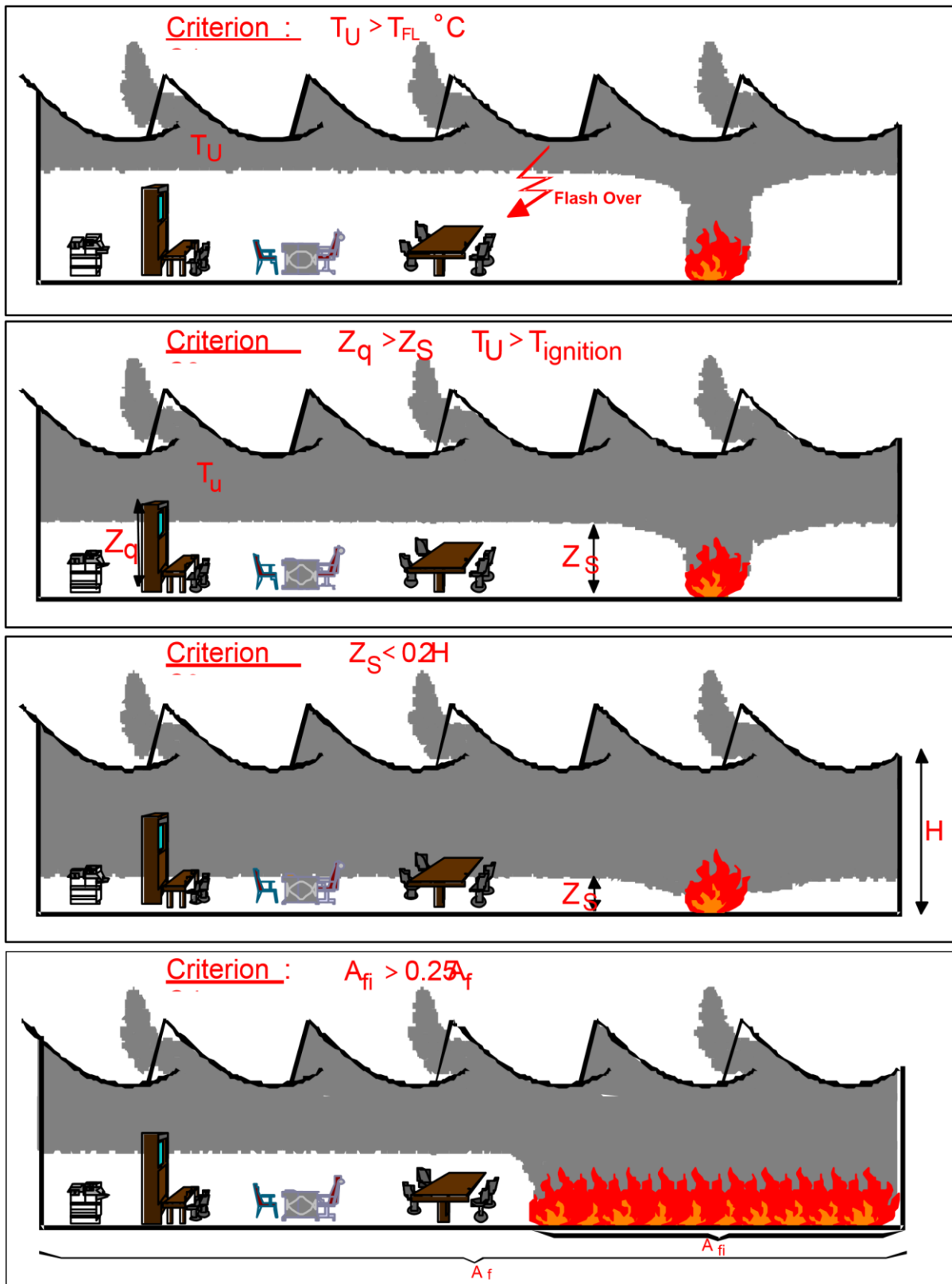


Figure Four criteria to switch from two zone to one zone model and/or modify the heat release rate

Bibliography

- J-F. Cadorin, J-M. Franssen, A tool to design steel elements submitted to compartment fires - OZone V2 - Part 1 : Pre and post flashover compartment fire model, Fire Safety Journal, accepted for publication in May 2002.
- J-F. Cadorin, D. Pintea, J-C Dotreppe, J-M. Franssen, A tool to design steel elements submitted to compartment fires - OZone V2 Part 2: Methodology and application, Fire Safety Journal, accepted for publication in May 2002.
- RFSR-CT-2012-00023 LOCAFI - Temperature assessment of a vertical steel member subjected to LOCALised Fire, European Commission, Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel, 2015
- SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, 2nd Edition, 1995.
- Méthodes d'ingénierie pour les calculs de résistance au feu de systèmes porteurs, Rôles et exigences, R02-v02 – Mars 2017
- G. P. Forney and L. Y. Cooper, The Consolidated Compartment Fire Model (CCFM) Computer Application. VENTS, Parts I, II, III, IV. NISTIR, National Institute of Standards and Technology, 1990.
- G. P. Forney and W. F. Moss, Analysing and exploiting numerical characteristics of zone fire models, Fire Science & Technology, Vol. 14, No.1 & 2, 49-60, 1994.
- M. Curtat, P. Fromy; Prévision par le calcul des sollicitations thermiques dans un local en feu, Première partie: le modèle et le logiciel NAT, Cahiers du CSTC, livraison 327, cahier 2565, mars 1992
- J. M. Franssen, Contributions à la modélisation des incendies dans les bâtiments et de leurs effets sur les structures, Thèse d'agr. de l'ens. sup., F.S.A., Univ. of Liege, 1997.
- Eurocode 3 : Design of steel structures. Part 1.2 : General rules. Structural fire design. Draft ENV 1993-1-2, CEN, Bruxelles, may 1995.
- Y. Hasemi et T. Tokunaga, Flame Geometry Effects on the Buoyant Plumes from Turbulent Diffusion Flames, Fire Science and Technology, 4, 15-26, 1984.
- Y. Hasemi, S. Yokobayashi, T. Wakamatsu et A. Ptchelintsev, Fire Safety of Building Components Exposed to a Localised Fire - Scope and Experiments on Ceiling/Beam System Exposed to a Localised Fire, First Int. ASIAFLAM Conf. at Kowloon, Interscience Communications Ltd, London, 351-360, 1995.
- A. Ptchelintsev, Y. Hasemi et M. Nikolaenko, Numerical Analysis of Structures Exposed

to Localised Fire, First Int. ASIAFLAM Conf. at Kowloon, Interscience Communications Ltd, London, 539-544, 1995.

T. Wakamatsu, Y. Hasemi, Y. Yokobayashi and A. Ptchelintsev, Experimental Study on the Heating Mechanism of a Steel Beam under Ceiling Exposed to a Localised Fire, second INTERFLAM 96 conference, Cambridge, 509-518, 1996.

Myllymäki, J.; Kokkala, M. Thermal exposure to a high welded I - beam above a pool fire. Franssen, Jean-Marc (ed.). Structures in fire : proceedings of the first international workshop. Copenhagen, Denmark, 19th and 20th of June, 2000. University of Liege (2000), s.211 - 224.

CEC Agreements 7210-SA/211/318/518/620/933. Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in Closed Car Parks. Final Report, February 97.

CEC Agreements 7210-SA/125/126/213/214/323/423/522/623/839/937. "Competitive Steel Buildings through Natural Fire Safety Concept", Technical report n°6; July 97.

L. Y. Cooper, VENTCF2: an Algorithm and Associated FORTRAN 77 Subroutine for Calculating Flow through a Horizontal Ceiling/Floor Vent in a Zone-type Compartment Fire Model, Fire Safety Journal, Volume 28, Issue 3, April 1997, Pages 253-287.

L. Y. Cooper, Calculating Combined Buoyancy- and Pressure-driven Flow Through a Shallow, Horizontal, Circular Vent: Application to a Problem of Steady Burning in a Ceiling- vented Enclosure, Fire Safety Journal, Volume 27, Issue 1, July 1996, Pages 23-35.

X. C. Zhou and J. P. Gore, Air Entrainment Flow Field Induced by a Pool Fire, Combustion and Flame, Volume 100, Issues 1-2, January 1995, Pages 52-60.

Marc L. Janssens, An Introduction to Mathematical Fire Modeling, 2nd edn.; Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, USA, 2000, xi, 259 pages, paperback, ISBN 1-56676-920-5

B. Karlsson, J. G. Quintiere, Enclosure Fire Dynamics, CRC Press 2000.