

OZone V3

Uživatelský manuál



OZone V3

Uživatelský manuál





OZone V3 Uživatelský manuál byl přeložen v rámci projektu LOCAFI+ RFCS 754072).

OZone V3
Uživatelský manuál

Do češtiny přeložili Lišková N., Cábová K., Wald F.
Zpracovala Fakulta stavební ČVUT
První vydání, 2018



OZONE V3

UŽIVATELSKÝ MANUÁL

Obsah

1 Úvod	5
2. Menu	6
3. Hlavní okno	8
4. Záložka požární úsek - Compartment	10
Obr. 6 Compartment – okno definice vlastností vrstev ohraničujících konstrukcí	11
Obr. 7 Definice otvorů ve svislých konstrukcích	11
5. Záložka Fire	13
5.1 Prostorový požár – Annex E (EN1991-1-2)	13
5.2 Prostorový požár – uživatelsky definovaný požár	15
5.3 Lokální požár	16
6. Záložka Strategy	18
7. Záložka - Parameters	19
7.1 Hlavní parametry	19
7.2 Model vrstvy plynů	19
Heskestad	20
Zukoski	20
Mac Caffrey	20
Thomas	21
7.3 Otevřenost otvorů v závislosti na teplotě a čase	21
Obr. 15 Teplotní a časová závislost otevřenosti otvorů	21
8. Tlačítko - Thermal Action	22
9. Záložka - Heating	23
9. Záložka - Steel profile	24
10. Tlačítko - Steel temperature	25
Příloha A - Zonové Modely	26
A1 Dvou-zónový model	27
A2 Jedno-zónový model	28
A3. Doba integrace	29

A4 Oddíl modelu	29
A4.1 Formulace modelu oddílu	30
A5 Přepnutí z dvou-zónového na jedno-zónový model	34
Příloha B - VÝMĚNA ENERGIE SKRZ PROSTUPY	35
Vertikální otvory (ve stěnách)	35
Horizontální otvory (ve stropní/střešní konstrukci)	37
Nucené větrání (odtah kouře)	37
Příloha C - MODELY SPALOVÁNÍ	38
Model spalování	38
Vnější plameny - spalovací model	38
Prodloužené trvání požáru spalovací model	39
Příloha D - NÁRODNÍ PŘÍLOHY A PARAMETRY PRO APLIKACI PŘIROZENÉHO POŽÁRU V RŮZNÝCH EVROPSKÝCH ZEMÍCH V SOFTWARE OZONE	40
Příloha E – LOKÁLNÍ POŽÁR postup	55
Příloha F – STRATEGIE ANALÝZI A KRITÉRIA PŘECHODU	56
Literatura	60

1 Úvod

Ozón je uživatelsky přívětivý software vyvinutý pro výpočet vývoje teplot v požárním úseku a rozložení teplot v ocelovém konstrukčním prvku. Program nabízí použití nominálních teplotních křivek nebo modely přirozených požárů, založené na fyzikálních a chemických parametrech požáru. Ozon umožňuje modelaci dvou typů přirozených požárů: lokální požáry a prostorové požáry. Umožňuje také výpočet požární odolnosti pomocí jednoduchého modelu.

Pro prostorové požáry program umožňuje využívání jedno nebo dvou zónových modelů dle definice v příloze D EN1991-1-2. Zónové modely jsou numerické modely používané k vyhodnocení vývoje teploty plynu v prostoru během požáru. Na základě omezeného počtu předpokladů, jsou snadno použitelné a poskytují dobrý přehled o vývoji teploty v prostoru. Od prvního numerického jedno-zónového modelu vyvinutého Petersson [SPFE, 1995] bylo dosaženo významných zlepšení numerických modelů rozvoje požárů. Dále byly vyvinuty více zónové modely, šíření požáru mezi prostory a výpočet dynamiky plynů. Ačkoli zónové modely jsou méně sofistikované, mají své vlastní oblasti působnosti a jsou tedy základním nástrojem v požárně bezpečnostním inženýrství.

Hlavní předpoklad v zónových modelech je, že prostory jsou rozděleny do zón, v nichž je v každém okamžiku shodné rozložení teploty plynu. V jedno-zónových modelech je teplota uvažována konstantní v rámci celého prostoru. Tento typ modelu je tedy platný pro plně rozvinutý požár. Dvou zónové modely jsou vhodnější, pokud zůstává požár omezen. V takovém případě dvou-zónový model lépe popisuje rozložení teplot v prostoru, který je dělen na vrstvu horkých plynů pod stropem a na chladnější vrstvu plynů pod ní.

V rámci ECCS výzkumů "Natural Fire Safety Concept" [NFSC1] and "Natural Fire Safety Concept - Full Scale Tests, Implementation in the Eurocodes and Development of a User Friendly design tool" [NFSC2] byly vypracovány zónové modely používané v programu OZone. Pravděpodobnostní přístup vyvinutý v rámci [NFSC 1] je zařazen v EN 1991-1-2.

Ozon zahrnuje dvou zónové a jedno zónové modely s možností přechodu mezi nimi, pokud jsou splněny některé okrajové podmínky. Několik modelů bylo vyvinuto také na různé požární scénáře.

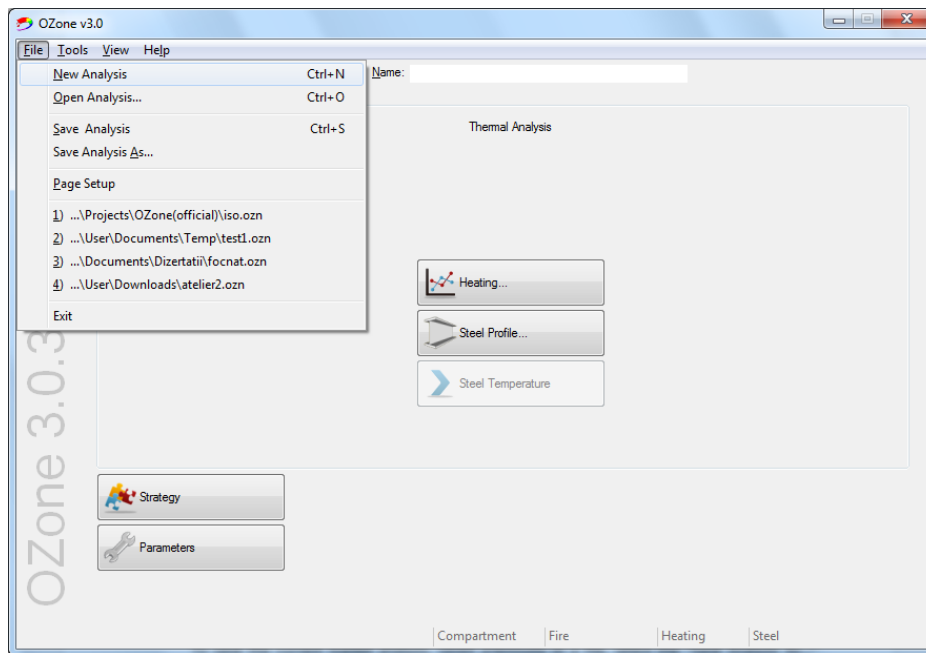
Ve velkých požárních úsecích, kde se nedochází k flashover efektu, je nutné analyzovat chování konstrukce za podmínek lokálního požáru. Postup výpočtu lokálního požáru implementovaný do programu OZone je založen na výsledcích výzkumu RFSR-CT-2012-00023 LOCAFI - teplotní posouzení svislého ocelové člena vystaveného lokálnímu požáru. V postupu při nastavení kde dochází k výměně tepla tepelným konvekčním tokem (člen zasahuje do ohně nebo je umístěn uvnitř ohně, jehož plameny dosahují úrovně stropu) jsou zpracovány aplikací existujících rovnic, které jsou k dispozici v EN 1991-1-2. Pro vertikální členy mimo oheň, kde výměna tepla probíhá zejména radiačním tepelným tokem, se oheň vypočítá jako virtuální pevný plamen, který vyzařuje do všech směrů. Ozon předpokládá pro tento virtuální pevný plamen kónický tvar. Tepelný tok se počítá zvlášť pro 4 strany obvodu profilu namáhaného člena a průměrná hodnota vypočítaných toků se aplikuje na celý obvod ocelového člena. To znamená, že efekt stínu je implicitně zohledněn uvnitř výpočtu.

V programu OZone lze definovat lokální požáry uvnitř požárního úseku. V tomto případě může uživatel získat z teplotní analýzy teplotu ocelových profilů z vrstvy horkých plynů pod stropem, z lokálního požáru nebo z maximálních teplot dosažených mezi oběma.

Software byl validován pomocí mnoha experimenty a CFD modely.

2. Menu

Menu obsahuje okna "File", "Tools", "View" and "Help" (viz Obr. 1).

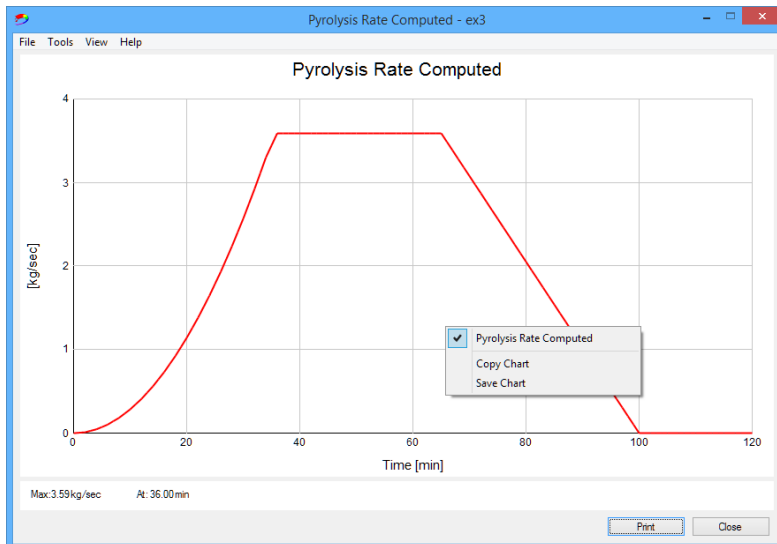


Obr. 1 Hlavní záložka – Menu

- Chcete-li uložit aktuální analýzy do souboru, vyberte příkaz "Save analysis" z nabídky "File". Chcete-li uložit aktuální otevřenou analýzu, dříve uloženou do souboru, vyberte z nabídky soubor příkaz "Save Analysis As...".
Oba příkazy se otevřou "Save As" společné dialogové okno, ve kterém může uživatel vybrat složku a zadat název souboru. Analýza souboru bude uložena s příponou *.ozn a OZone přidruží tyto soubory (tj. dvojitě kliknutí na název souboru v Průzkumníkoví Windows, nebo příkaz Otevřít v místní nabídce, operační systém spustí program OZone a otevřete soubor).
Chcete-li začít novou analýzu, vyberte z nabídky "File" příkaz "New Analysis".
Příkaz "Page Setup" v nabídce "File" otevře nastavení stránky ve společném dialogovém okně ve kterém uživatel může vybrat velikost papíru, orientaci a vyplnit okraje grafu.
- V menu "Tools" uživatel můžete přidat nebo změnit materiály a jejich tepelné vlastnosti, výběrem příkazu "Add Wall Material".
Chcete-li přidat nebo změnit požární ochrany ocelových členů, vyberte příkaz "Add Steel Insulating Materials".
Není možné změnit materiál zdi nebo izolačního materiálu oceli, pokud neexistuje žádná změna v některém z oken. Pokud Ozone zobrazí varování: "There is a loaded file....", vyberte příkaz "New Analysis" z nabídky "File" a změňte hodnoty v některém z dvou oken. Změny na materiálu zdi nebo izolačním materiálu oceli budou provedeny po restartování OZone.
Poslední příkaz v nabídce nástroje je příkaz jazyk. V tuto chvíli jsou k dispozici pouze dva jazyky: angličtina a francouzština. Chcete-li změnit jazyk uživatelského rozhraní OZone, vyberte příkaz "Language" v nabídce "Tools" a v dialogovém okně Otevřít, vyberte požadovaný jazyk v rozevřacím seznamu "Select Language".
- Nabídka "View" obsahuje příkazy pro zobrazení analýzy v grafech (RHR Data, Pyrolysis Rate Data) nebo výsledky (RHR Computed, Pyrolysis Rate Computed, Hot Zone Temperature, atd). Ne všechny

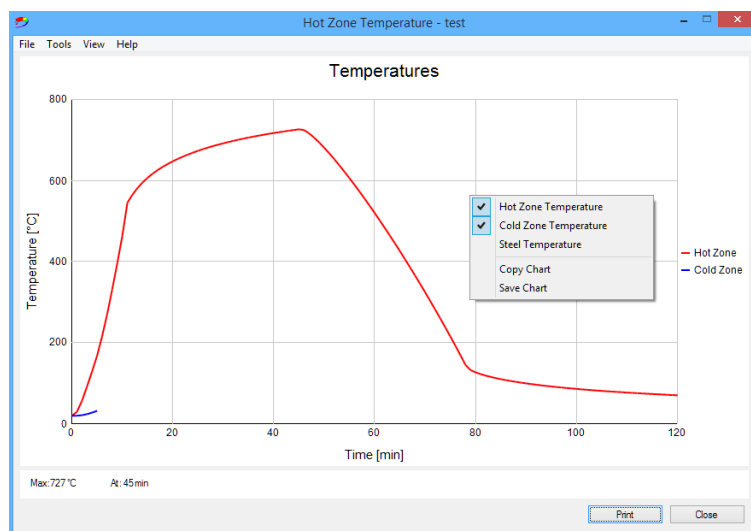
příkazy v nabídce Zobrazit jsou povoleny, podle stavu analýzy. Například pokud je vypočítána teplota oceli je příkaz "Steel Temperature" povolen.

Poslední příkaz v nabídce "View" vytvoří aktuální sestavu analýzy. Zpráva bude uložena jako dokument aplikace Microsoft Word do stejné složky jako soubor název analýzy pod názvem souboru analýzy. Data grafu lze exportovat do aplikace Excel pomocí místní nabídky. Klepněte pravým tlačítkem myši kdekoli v grafu a v místní nabídce vyberte příkaz "Copy Chart". Přepněte do aplikace Excel a vyberte Vložit (viz obr. 2).



Obr. 2 Průběh HRR

Podle vykreslených dat v okně grafu, uživatel může v grafu zobrazit až tři řady, výběrem názvu série z místní nabídky (pravé tlačítko myši) v okně grafu (viz obr. 3).



Obr. 3 Průběh teploty

Složka, kde je uložen soubor analýzy bude obsahovat následující soubory, kromě analýzy souboru (s příponou *.ozn):

- Filename.pri - je výstupní soubor dat, obsahující teplotu horké zóny, studené zóny, atd;
- Filename.out - je výstupní soubor, obsahující údaje o obložení prostoru, stejně jako kritéria přepínání z dvouzónového modelu na modelu jednozónový;

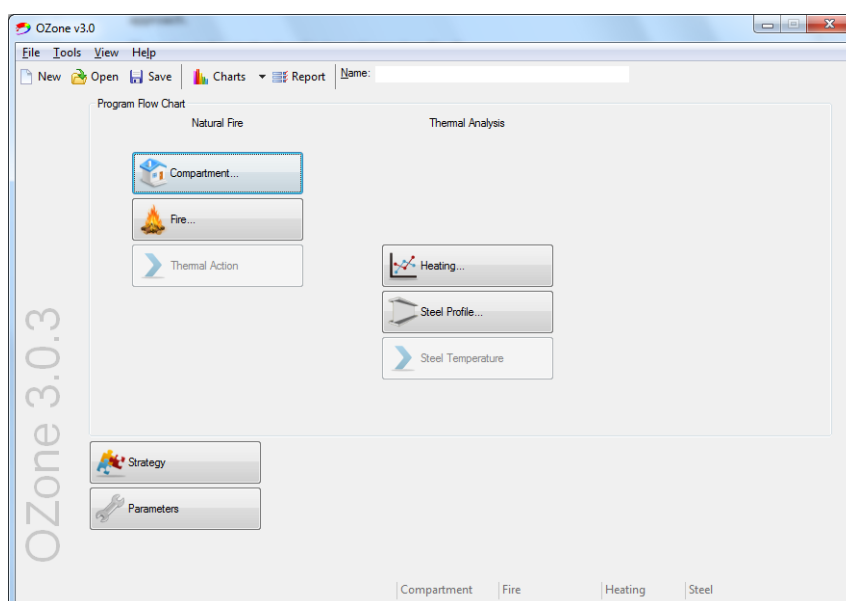
- Filename.NAT - je výstupní soubor, který obsahuje teplotu plynu lokálního požáru nebo maximální mezi oběma lze vybrat v okně "Heating";
- Filename.FLX - je výstupní soubor, který obsahuje jmenovitý tepelný tok pro lokální požáry;
- Filename.STT - je výstupní soubor, který obsahuje vývoj teploty oceli, chráněné nebo nechráněné.

Ne všechny tyto soubory budou ve složce, kde je uložen soubor analýzy, v závislosti na typu požáru (prostorová nebo lokální) a požárního scénář.

3. Hlavní okno

OZone umožňuje uživateli použít normativní přístup (nominální teplotní křivky) nebo přístupy založené na výkonu požáru, v nichž jsou požáry určeny pomocí Zónových modelů.

Hlavní okno je strukturován ve dvou sloupcích, viz obr. 4.



Obr. 4 Hlavní okno

Záložka "Natural Fire" odkazuje na požáry nastavené zónovými modely požáru pro prostorové nebo lokální požáry.

V případě prostorového požáru musí uživatel nejprve definovat geometrii prostoru, složení stěn, stropu a podlahy, jakož i rozměr a umístění otvorů v záložce "Compartment" viz kapitola 4. V záložce "Fire", popsané v kapitole 5, uživatel dále definuje parametry požáru požadované dle přílohy E - EN 1991-1-2 předdefinované nebo přímo zadávané (definované uživatelem).

V případě lokálního požáru uživatel může přeskočit záložku "Compartment". Požár lze definovat přímo v okně "Fire", chcete-li představují lokální požár v otevřeném prostoru. Lokální požár lze uvažovat i uvnitř prostorového požáru, který musí být v takovém případě definován v záložce "Compartment".

Analýza se provádí kliknutím na tlačítko "Thermal Action".

Záložka "Thermal Analysis" umožňuje vypočítat vývoj teplot ocelového profilu, na základě zvoleného výpočtu dle přirozeného požáru (první sloupec) nebo dle nominálních teplotních křivek. Výběr typu požáru (nominální teplotní křivky, prostorový požár, lokální požár) se provádí v záložce "Heating".

V případě dříve určeného typu požáru - přirozený požár může být ocelový profil zahříván dle volby v záložce "Heating" teplotou horké vrstvy plynů (z dvouzónového modelu) nebo teplotou lokálního požáru.

Vlastnosti prostoru jsou definovány v záložce "Compartment" a lokální požár je definován v záložce "Fire", uživatel může rovněž vybrat způsob ohřívání ocelového profilu kombinací maximálních tepelných toků z horké vrstvy plynů (prostorový požár) a lokálního požáru. V tomto případě není nutné definovat prostorový požár v záložce "Fire" (příloha E – EN 1991-1-2 / uživatelem definovaný požár).

V případě křivky nominálního požáru není třeba zadávat první sloupec "Natural Fire" v hlavním okně. Uživatel vybere přímo jmenovitou křivku v záložce "Heating".

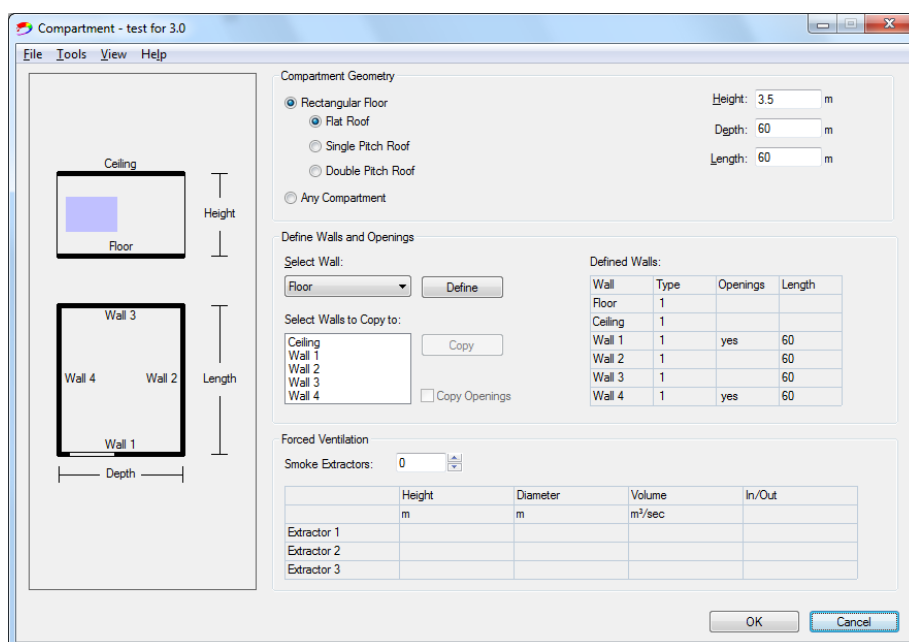
V záložce "Steel profile" je definován chráněný/nechráněný ocelový profil. Analýza se provádí kliknutím na tlačítko "Steel Temperature".

Záložky "Strategy" a "Parameters" jsou vysvětleny v kapitolách 6 a 7.

4. Záložka požární úsek - Compartment

Prvním krokem při modelaci požárního úseku v programu Ozone je vybrat geometrii prostoru (viz obr. 3): obdelníková podlaha (s rovnou střechou, pultovou střechou nebo sedlovou střechou), nebo jiný než obdelníkový tvar podlahy (libovolný prostor) s rovnou střechou.

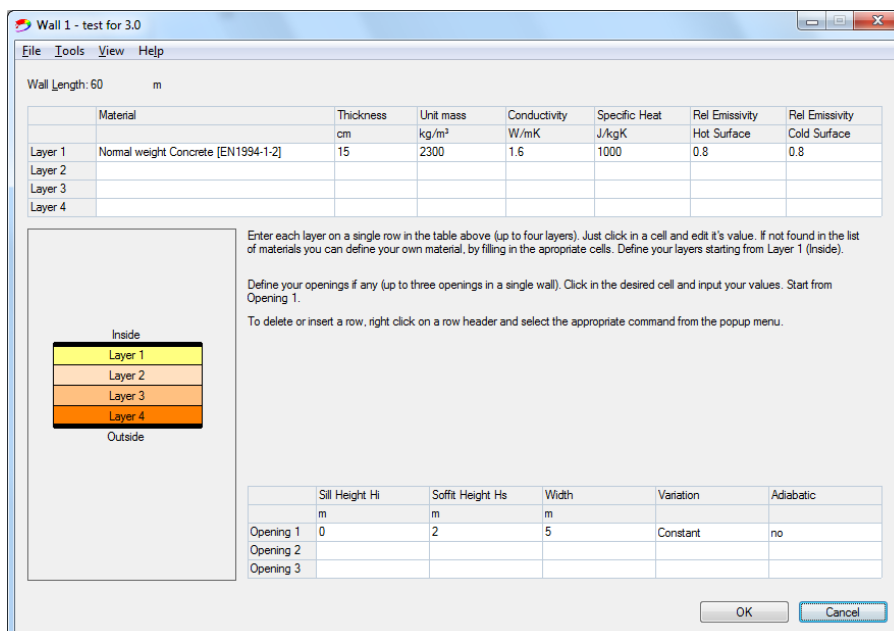
Pro obdelníkový tvar podlahy musí být zadány rozměry v metrech: délka, výška a hloubka. Pro proctor s obdelníkovým tvarem podlahy je maximální počet stěn čtyři a plocha všech povrchů prostoru je počítána v m².



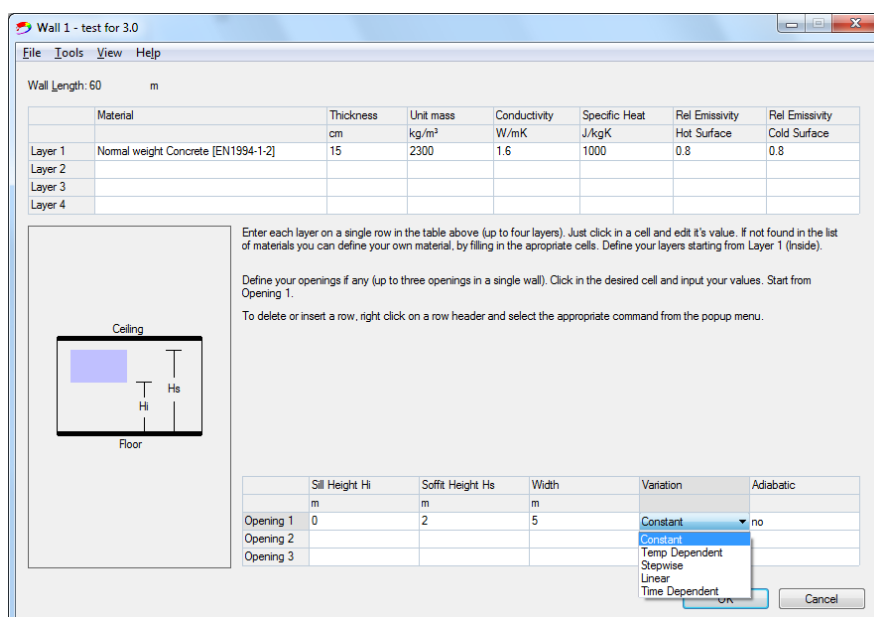
Obrg. 5 Záložka požární úsek - Compartment

Chcete-li definovat konstrukce ohraničující prostor (podlaha/strop/zdi), vyberte odpovídající položku v seznamu "Select Wall" a klepněte na tlačítko "Define". Tím se otevře okno pro definici vlastností vybrané položky (viz obr. 5).

Pro každou obvodovou konstrukci (stěny, strop a podlaha) lze definovat až čtyři vrstvy z nichž je konstrukce složena. Pokud jsou uvažovány jako vícevrstvé, jednotlivé vrstvy musí být definovány směrem zevnitř ven, počínaje 1. vrstvou (vnitřní). Pro předdefinované materiály ze seznamu je třeba uvést pouze tloušťku dané vrstvy. Uživatel může definovat jakýkoliv materiál tím, že uvede všechny jeho vlastnosti v tabulce (Unit Mass, Conductivity, Specific Heat, Relative Emissivity on the Hot and Cold Surfaces) (viz obr. 6).



Obr. 6 Compartiment – okno definice vlastností vrstev ohraničujících konstrukcí

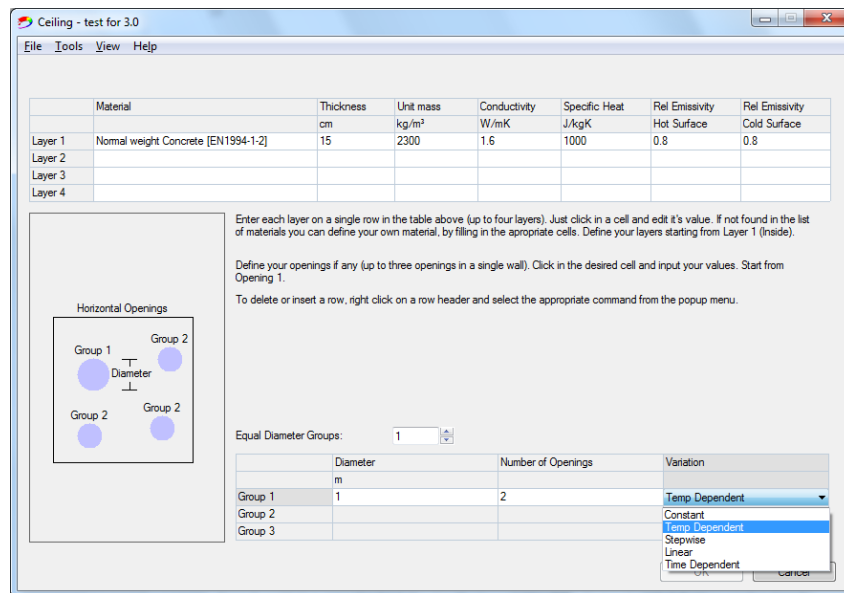


Obr. 7 Definice otvorů ve svislých konstrukcích

Horizontální nebo vertikální otvory ve stěnách a stropu mohou být definovány v rámci definování vlastností vrstev ohraničujících konstrukcí.

Pro stěny mohou být definovány až tři otvory. Pro každý otvor musí být zadána v metrech výška parapetu, podhledová výška a šířka (viz obr. 7). Ve výchozím nastavení je nastaveno úplné otevření, ale otevřenost prostupu lze nastavit v rozevracím seznamu "Variation". Otevření prostupu lze nastavit (teplotně nebo časově závislé/postupné otevření/ lineární), tyto možnosti jsou vysvětleny v kapitole 7 "Parameters". "Adiabatic" možnost a podrobná nastavení přestupu tepla přes otvory viz příloha A.

Otvor ve stropní konstrukci může být definován v tabulce níže, viz obrázek 8. Lze definovat až tři skupiny otvorů o různých průměrech. Musí být zadáván průměr v metrech a počet otvorů pro každou skupinu. Ve výchozím nastavení je zadáno konstantní otevření otvoru, ale otevřenost může být dále nastavena v rozevracím seznamu variant, kde jsou možnosti otevření (teplotně nebo časově závislé/postupné nebo lineární otevření), tyto možnosti jsou vysvětleny v kapitole 7 "Parameters".

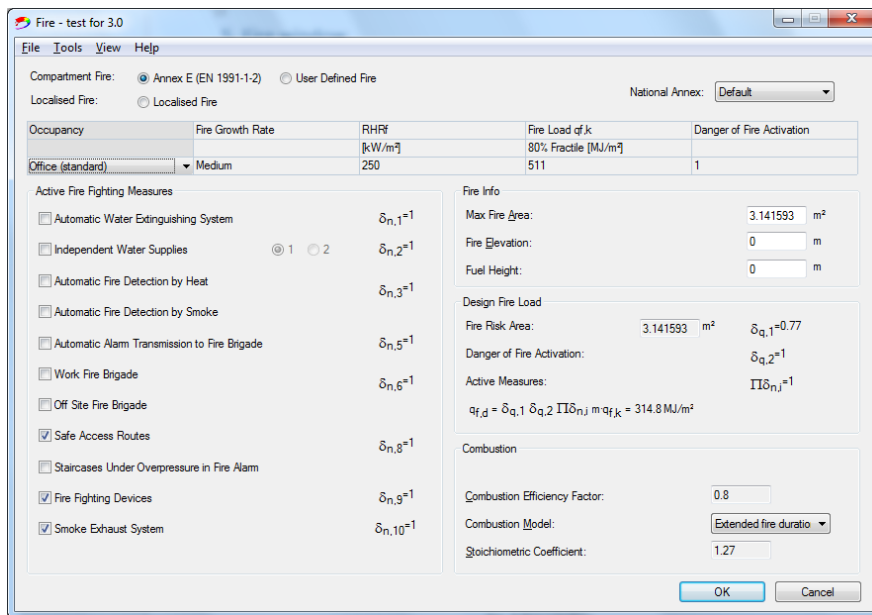


Obr. 8 Definice otvorů ve stropní konstrukci

Nucené větrání může být také definováno v dolní tabulce Compartment - definice okna (viz obr. 5). Kde lze zadat až tři ventilátory, definováním průměru a výšky nad úroveň podlahy (v metrech), objem přijímaného (In) nebo vyfukového vzduchu (Out) v m³/sec. Vysvětlení odvodu tepla a kouře viz příloha B.

5. Záložka Fire

Záložka "Fire" umožňuje definici požárního úseku (příloha E, EN 1991-1-2 a odpovídajících národních příloh nebo uživatelem definovaný požár) nebo lokální požár, viz obr. 9.



Obr. 9 Fire window

5.1 Prostorový požár – Annex E (EN1991-1-2)

Ve výchozím nastavení jsou hodnoty navrženy dle Přílohy E, EN 1991-1-2, ale uživatel může vybrat národní přílohu v rozevíracím seznamu "National Annexes" nebo zadat uživatelem definované hodnoty. Příloha C se zabývá národními parametry pro aplikaci přírodního požáru v různých evropských zemích, jejichž národní přílohy jsou k dispozici v programu OZone.

V rámci této záložky je dle Přílohy E, EN 1991-1-2 (defaultní nastavení) požární zatížení dáno vzorcem:

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

Za prvé, by měly být zavedeny parametry požáru (rychlost rozvoje požáru/ maximální RHR/ charakteristická hustota požárního zatížení / nebezpečí vzniku požáru). OZone obsahuje tabulkové hodnoty pro tyto parametry dle Přílohy E, EN 1991-1-2, které mohou být vybrány v rozevíracím seznamu "Occupancy". Pokud jsou zapotřebí jiné hodnoty, uživatel může vybrat "User Defined" ze stejného rozevíracího seznamu.

$q_{f,k}$ je charakteristická hustota požárního zatížení - 80 % kvantil získaný z testů v reálných prostorech. Údaje jsou k dispozici pro různé typy provozů. Charakteristická hustota požárního zatížení byla získána z hmotností hořlavých látek přítomných v prostoru vynásobené spalnou teplotou paliva a dělena podlahovou plochou prostoru. Absolutní spalné teplo bylo zohledněno při tomto hodnocení.

Ve fázi rozvoje požáru představuje t_a , rychlost rozvoje požáru čas, za který se A_f oblast požáru rozrostla na hodnotu, která odpovídá rychlosti uvolňování tepla 1MW.

Maximální rychlost uvolňování tepla na jednotku plochy požáru (RHRf) je maximální množství energie, které může být uvolněno jednotkou plochy požáru v ustáleném stavu a palivem řízeným požárem. RHRf je uvedena

v příloze E, EN1991-1-2 pro různé typy průvozdů. Hodnoty RHRf představují skutečné požáry, kde se uvažuje a s nedokonalým spalováním.

Rychlost rozvoje požáru, maximální rychlost uvolňování tepla na jednotku plochy a charakteristická hustota požárního zatížení jsou uvedeny v Příloze E, EN1991-1-2.

Součinitel δ_{q2} uvedený v Příloze E, EN1991-1-2 bere v úvahu vliv nebezpečí vzniku požáru.

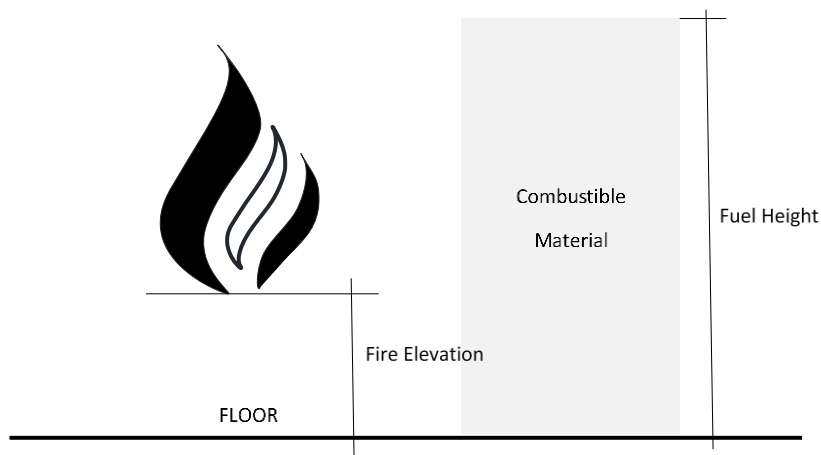
Součinitele $\delta_{n,i}$ uvedené v Příloze E, EN1991-1-2 berou v úvahu vliv aktivních opatření opatření. Uživatel musí zkontrolovat zrušit/zanechat zaškrtnutí možností ve skupině aktivní protipožárních opatření.

Součinitelem δ_{q1} je vypočítávaná funkce povrchů prostoru, která bere v úvahu vliv hořlavosti povrchů. Hodnoty lze aproximovat dle rovnice (1). Tato rovnice byla získána z tabelovaných hodnot z tabulky E1 z EN 1991-1-2.

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

Maximální požární oblast $A_{fi,max}$ je maximální plocha hořícího paliva, tedy maximální plocha podlahy na níž se palivo nachází. Ve většině případů lze maximální požární plochu považovat za rovnou podlahové ploše požárního úseku. Ve výchozím nastavení OZone je uvažována tato hodnota, může být vypočítána z údajů uvedených v záložce Compartment. Uživatel může zvážit různé hodnoty maximální požární plochy, která může být nižší než plocha požárního úseku.

Umístění zdroje požáru je uvažováno ve výchozím nastavení na úrovni podlahy. Uživatel může zadat výškové umístění paliva (viz obr. 10). To může ovlivnit kritéria vzniku Flashover efektu, vysvětleny v příloze F.



Obr. 10 Výška požáru a výška paliva

Účinnost spalování je vážována výchozí hodnotou uvedenou v EN 1991-1-2, tedy $m = 0,8$. Uživatel může zadat jinou hodnotu, funkce Occupancy a typ požárního zatížení.

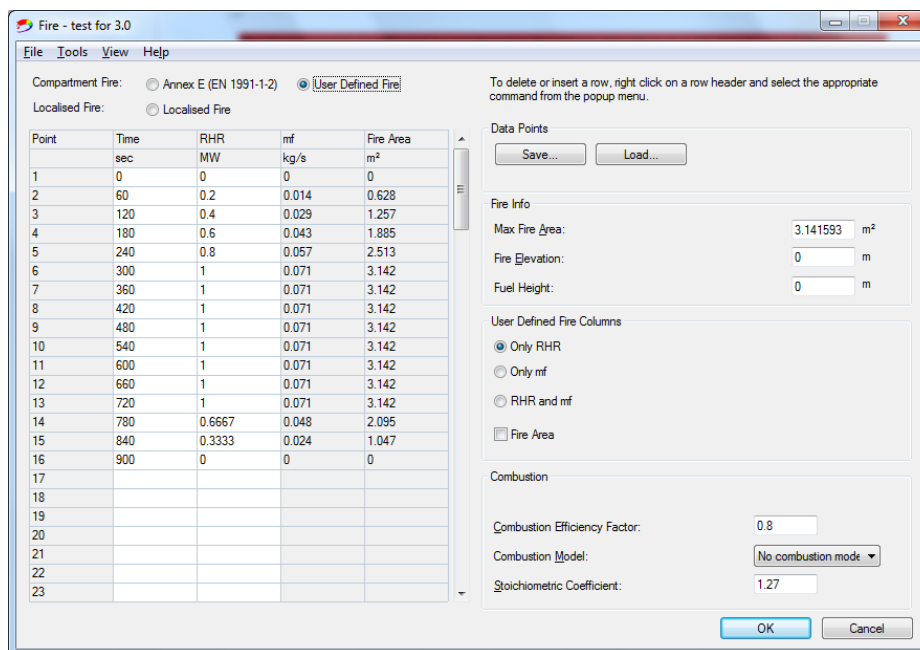
Uživatelé OZone musí zvolit mezi třemi různými modely spalování. "No combustion model" přítomnost kyslíku v prostoru nemá vliv na rychlost uvolňování tepla. Když už není kyslík k dispozici uvnitř prostoru, "External flaming" spalovací model omezuje množství uvolňované energie uvnitř prostoru a spalovací model

"Extended fire duration" omezuje množství uvolňované energie uvnitř prostoru po dobu iniciace požáru. Podrobnější informace jsou uvedeny v příloze B.

Stechiometrický koeficient je uvažován za 1,27 v algoritmu OZone. Uživatel může definovat další koeficient v rámci možnosti "User Defined Fire".

5.2 Prostorový požár – uživatelsky definovaný požár

Lze definovat libovolnou křivku prostorového požáru pomocí možnosti "User Defined Fire" v záložce "Fire". Jak ukazuje obr. 11, tabulka na levé straně má čtyři sloupce, čas (v s), RHR (rychlost uvolňování tepla v MW), m_f (rychlost hoření v kg/s) a plochu požáru (m²).



Obr. 11 Záložka - User Defined fire

Ve skupině "Fire Info" je uvedena maximální požární plocha (v m²), mohou být zavedena výška požáru (v m) a výška paliva (v m) (viz obr. 9). Význam parametrů v rámci skupiny "Combustion" je také shodný s definováním v předchozím odstavci (viz obr. 9).

Skupina "User Defined Fire Columns" zamyká nebo odemyká některé sloupce v tabulce. Je-li vybráno pouze "RHR" ve výchozím nastavení, pouze první dva sloupce (čas a RHR) jsou upravitelné.

Pokud je vybráno pouze "mf", sloupce čas a mf jsou upravitelné. Pokud jsou vybrány "RHR a mf", sloupce RHR a mf jsou upravitelné vedle sloupce času.

Vztah mezi parametry je vyjádřen rovnicí (2):

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

kde

m je faktorem účinnosti hoření

$H_{c,net}$ spalné teplo paliva

Je-li oblast požáru známá v každém časovém kroku, uživatel může zkontrolovat zaškrtačací políčko "Fire Area" a oblast požáru editovat ve sloupci v tabulce nalevo. Hodnoty oblasti požáru v závislosti na čase, mohou být zapsány v tabulce.

Jestliže není známá závislost plochy požáru $A_{fi}(t)$ na čase, Ozone ji vypočítá dle rovnice (3):

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

kde

$A_{fi,max}$ je maximální plocha požáru definovaná v rámci skupiny "Fire Info" pro čtyři možné scénáře.

Případ 1. RHR, mf a plocha požáru jsou v rámci tabulky zadány uživatelem

Kompletní rozsah dat je k dispozici, uživatel může zadat všechny čtyři sloupce. Tento případ odpovídá testům kde byla měřena hmotnostní ztráta a RHR rychlost uvolňování tepla uvnitř prostoru. Plocha požáru v každém okamžiku je také známá. K této situaci může dojít například při modelování plného rozsahu požární zkoušky se dvěma zónami s měřením hmotnostního úbytku a měřením RHR do vyčerpání kyslíku v horní vrstvě plynů. V této situaci není možné použít jakýkoli model spalování.

Případ 2. RHR a mf jsou v rámci tabulky zadány uživatelem

Tento případ odpovídá testům, kde byla měřena hmotnostní ztráta a RHR rychlost uvolňování tepla uvnitř prostoru. Oblast požáru není známa a předpokládá se úměrná rychlosti uvolňování tepla. V této situaci není možné použít jakýkoli model spalování.

Případ 3. RHR nebo mf a plocha požáru jsou v rámci tabulky zadány uživatelem

Tento případ odpovídá testům, kde byla měřena hmotnostní ztráta nebo RHR rychlost uvolňování tepla uvnitř prostoru. Neznámá hodnota je odvozena na základě Eq. (2) a Eq. (3). Plocha požáru je známá v každém okamžiku. V této situaci není možné použít jakýkoli model spalování.

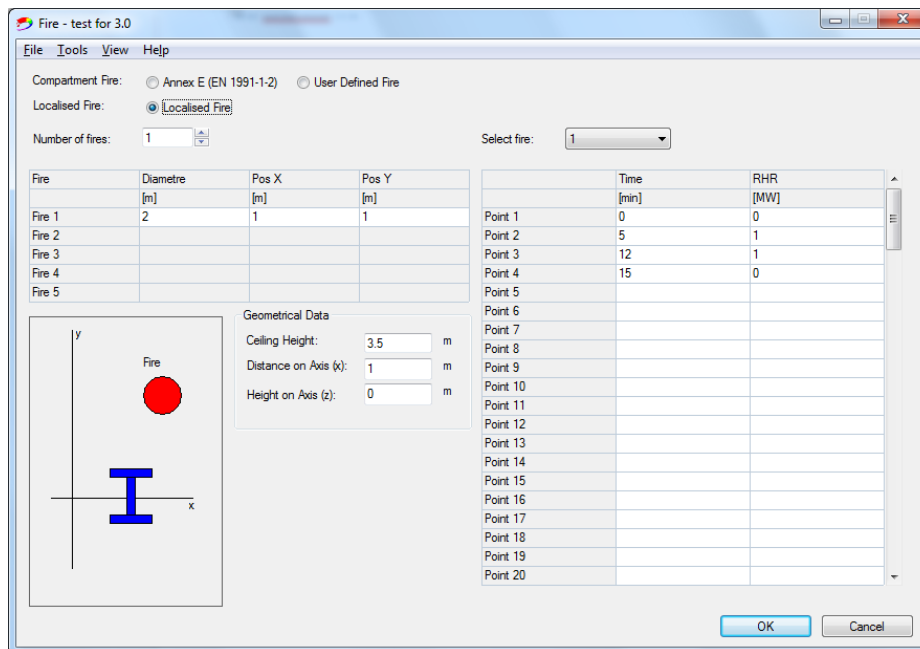
Případ 4. RHR nebo mf jsou v rámci tabulky zadány uživatelem

Tento případ odpovídá testům, kde byla měřena hmotnostní ztráta nebo RHR rychlost uvolňování tepla uvnitř prostoru. Plocha požáru není známa a předpokládá se úměrná rychlosti uvolňování tepla. Nežjištěné hodnoty jsou vypočítány na základě Eq. (2) a Eq. (3). Spalovací modely mohou/nemohou být použity.

Uživatel může importovat nebo exportovat data z tabulky. Pro import dat musí být souborem txt vyplněna data ve dvou, tří nebo čtyřech sloupcích ve stejném pořadí jako jsou uvedena v tabulce. První sloupec musí obsahovat čas v sekundách. Musí být definovány alespoň dva sloupce (např. čas a RHR). Oddělovač dat musí být mezera NE tabulátor nebo čárka.

5.3 Lokální požár

Lze definovat až pět lokálních požárů, viz obr. 11. Horní tabulka na levé straně bude obsahovat jejich průměry (v m) a na podlaze budou zadány pomocí souřadnic x a y (v m).



Obr. 12 Záložka - Lokální požár

Skupina "Geometrical Data" definuje výšku stropu (v m) a místo, kde bude vypočítána teplota od lokálního požáru na ocelovém sloupu, prostřednictvím vzdálenosti na ose x (v m) a výškou nad podlahou - výšky v ose z (v m). Souřadnice y je vždy rovna 0.

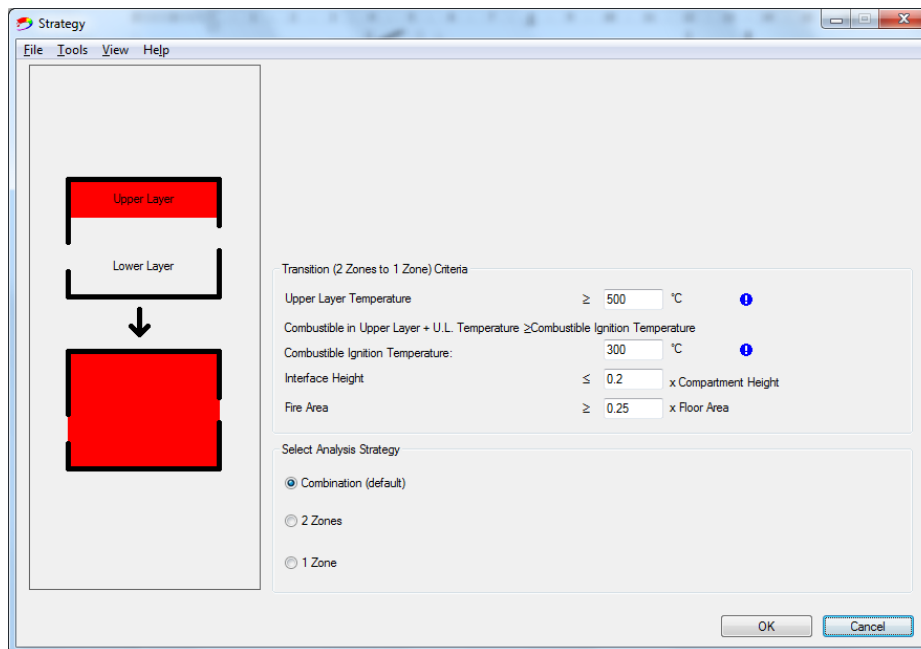
Lokální požár lze definovat přímo v tomto okně bez předchozího definování požárního úseku v záložce "Compartment". Pokud prostor již byl definován v záložce "Compartment", výška stropu bude automaticky uvažována za dříve definovanou výšku prostoru.

Tabulka na pravé straně bude obsahovat RHR (v MW) v čase. Uživatel vybere číslo požáru z rozevřacího seznamu v horní části a vyplní hodnoty v tabulce. Data z tabulkových zdrojů (jako Excel) lze použít k vložení hodnot do tabulky pomocí vložit - klávesová zkratka (Ctrl+V).

Podrobnosti o pravidlech pro výpočet teploty z lokálního požáru jsou uvedeny v příloze D.

6. Záložka Strategy

Záložka “Strategy” se vztahuje pouze k prostorovému požáru.



Obr. 13 Strategy – pro prostorový požár

Dvou zónové a jedno zónové modely jsou založeny na různých předpokladech. Ve skutečnosti odpovídají různým typům požáru nebo různým fázím stejného požáru. Mají různé aplikační domény a ve skutečnosti se vzájemně doplňují. Při modelování požáru v daném prostoru, je důležité vědět, zda je vhodné použít dvou zónový nebo jedno zónový model.

Požární zátížení lze považovat za rovnoměrně rozložené pokud je skutečný hořlavý materiál rozložen více či méně na celé podlahové ploše požárního úseku, a když hostota skutečného požární zátížení (množství paliva na podlahovou plochu) je více či méně jednotné. V opačném případě je hořlavý materiál soustředěn na poměrně malé ploše ve srovnání s celkovou podlahovou plochou, zbytek podlahové plochy je bez paliva.

Iniciace požárů je v mnoha případech lokalizována a požár zůstává uzavřen v rámci určité oblasti po určité období. Jsou-li teploty dostatečně vysoké dochází ke spontánnímu vznícení hořlavých látek přítomných v prostoru, dochází k flashover efektu. Dvou zónový model je obecně platný při požáru, který zůstává lokalizován nebo před tím než nastane flashover efekt, zatímco jedno zónový model je platný v případě plně rozvinutého požáru nebo po té co nastane flashover efekt. Použití dvou zónového modelu není vhodné, pokud je výška studené spodní vrstvy plynů příliš malá. Konečně, je-li oblast požáru velká ve srovnání s podlahovou plochou prostoru, předpoklad jedno zónového modelu je realističtější než dvou zónového modelu.

Automatické kombinace strategie simulace požáru je implementována v OZone. Tato strategie simulace vždy začíná s předpokladem dvou zónového modelu a je-li jedno z kritérií pro flash-over efekt splněno (viz Příloha F), simulace se přepne na jedno zónový model.

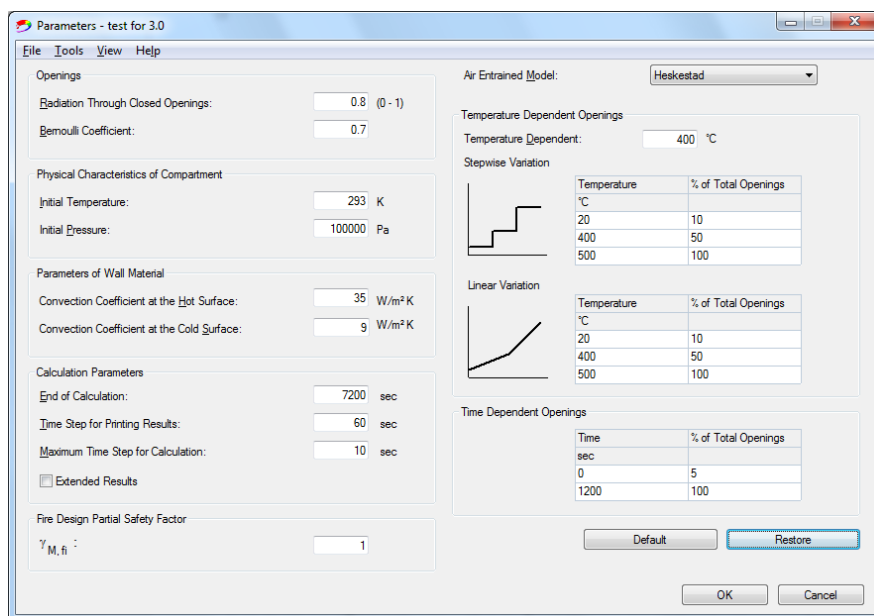
V rámci výběru strategie simulace požáru uživatel může zadat použití jedno nebo dvou zónového modelu nebo nechat výchozí nastavení a tedy kombinaci obou modelů.

V rámci kritérií pro přechod (2 zóny do zóny 1), uživatel může změnit hodnoty čtyř parametrů, které řídí toto přepínání. Důrazně se doporučuje zachovat tyto hodnoty beze změny, pokud jsou k dispozici relevantní data.

Kritéria přechodu z dvou na jedno zónový model a důsledky na průběh požáru jsou uvedeny v příloze F. Změny hlavní proměnné a základní rovnice dojde-li k přepnutí na jedno zónový model jsou podrobně uvedeny v příloze F.

7. Záložka - Parameters

Většina parametrů použitých ve výpočtu je uvedena v rámci této záložky, viz obrázek 14.



Obr. 14 Záložka Parameters

7.1 Hlavní parametry

Na levé straně okna jsou uvedeny následující parametry s výchozími hodnotami:

- Radiace skrz uzavřené otvory: výchozí hodnota převzatá z odborné literatury je 0,8
- Bernoulli koeficient: výchozí hodnota je 0,7
- fyzikální charakteristika požárního úseku: za předpokladu, že počáteční teplota je 20 °C a tlak vzduchu 100000 Pa
- parametry materiálu zdi: konvekční koeficienty pro horké/studené povrchy dle EN1991-1-2; tyto parametry se vztahují pouze na přirozený požár, pro nominální požáry definované v okně "Heating", jsou implementovány koeficienty odpovídající hodnotám EN1991-1-2
- parametry výpočtu: ve výchozím nastavení je čas analýzy uvažován na dvě hodiny; je vhodné udržet maximální časový krok pro výpočet 10 sekund
- Částečný bezpečnostní faktor konstrukce v požáru: uvažován jako standardní hodnota z normy EN1991-1-2

7.2 Model vrstvy plynů

Když hmota horkých plynů je obklopena chladnějšími plyny, teplejší a méně husté plyny stoupají nahoru kvůli rozdílu hustoty nebo v závislosti na rychlosti proudění plynu, díky vztlaku. Tento jev se děje nad hořícím

zdrojem požáru. Tento tok se označuje jako a fire plume. Studený vzduch je vytlačován horkými plyny, které se hromadí jako vrstva horkých plynů pod stropem. Různá analytická vyjádření vlastností plynů uvolněných při požáru bylo navrženo několika autory. Čtyři z nich byly použity v programu OZone.

Je třeba zmínit, že některé z těchto empirických vzorců získaly celkovou uvolněnou energii Q a z ní konvekční část uvolněné energie Q_c . OZone předpokládá, že Q_c je rovna $0,7 Q$.

Heskestad

Model Heskestad je model s předpoklady které jsou nejlépe přizpůsobeny CFD model. Je považován za nejlepší a je výchozí v Ozone.

Virtuální zdroj plynu je ve výšce nad podlahou z_0

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

Výška plamene L_{fl} je dána:

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

Hmotnostní průtok plynu nad plamenem ($z > L_{fl}$) je dán

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

Hmotnostní průtok plynu pod nebo na úrovni plamene ($z < L_{fl}$) je dán:

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

Zukoski

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

Mac Caffrey

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

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

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

Thomas

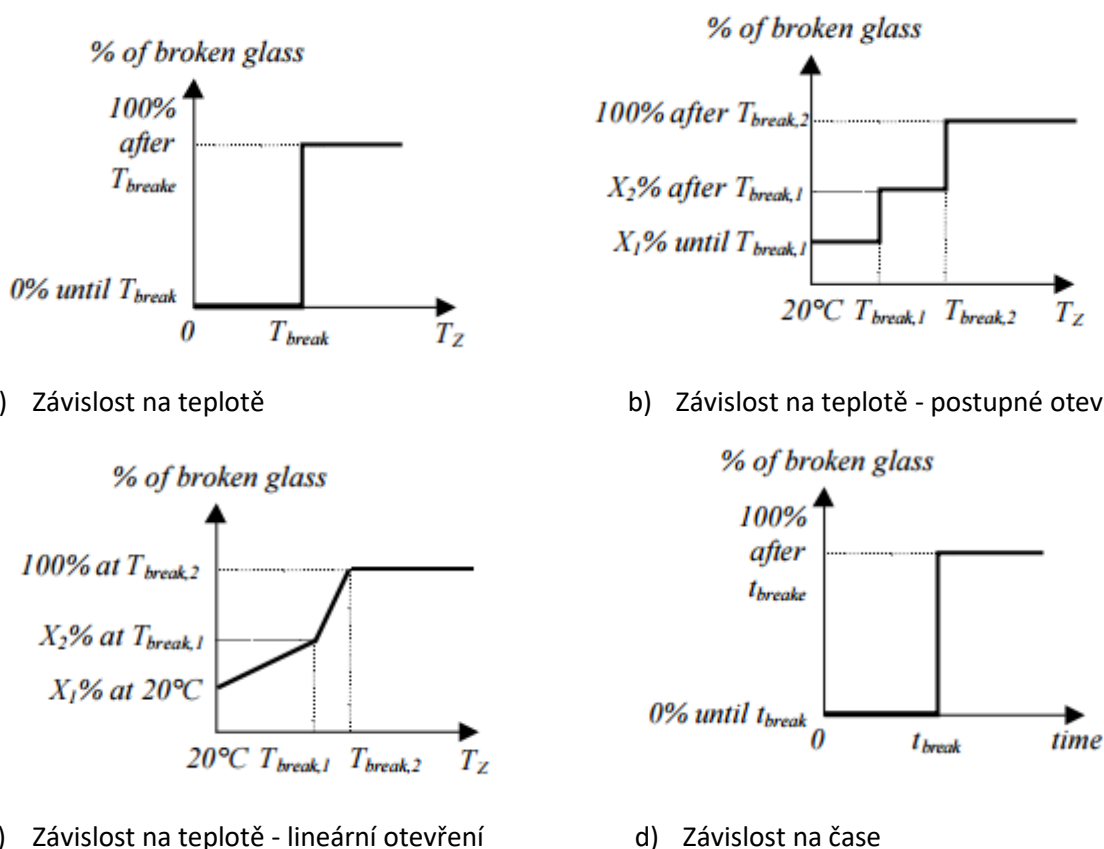
Thomasův model plamene je určen pro plamen, u kterého je výška středního plamene podstatně menší než je průměr ohně. V této oblasti je unášený vzduch méně ovlivněn rychlostí uvolňování tepla a obvodem požáru. Pro průměr požáru platí je hmotnostní průtok plynu nad plamenem

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

7.3 Otevřenost otvorů v závislosti na teplotě a čase

V průběhu požáru se počet otvorů a jejich velikost může lišit, to může být výsledkem rozbití zasklení, automatického otevření nebo příjezdu hasičů. V programu OZone lze otevřenost definovat jako funkci teploty zóny dotýkající se skla (T_z) nebo jako funkci času.

Kritéria funkce teplotní zóny může představovat poškození v důsledku tepelné akce. Kritéria funkce času může představovat příjezd hasičů. Existují čtyři typy otevření: jednokroková varianta s teplotou, postupné otevírání varianta s teplotní zónou, lineární ovladač dle teploty, závislost na čase (viz obr. 15). Rozbité sklo nelze později znovu zavřít. Procento rozbitého skla je tedy buď rostoucí nebo konstantní, ale nikdy neklesá.

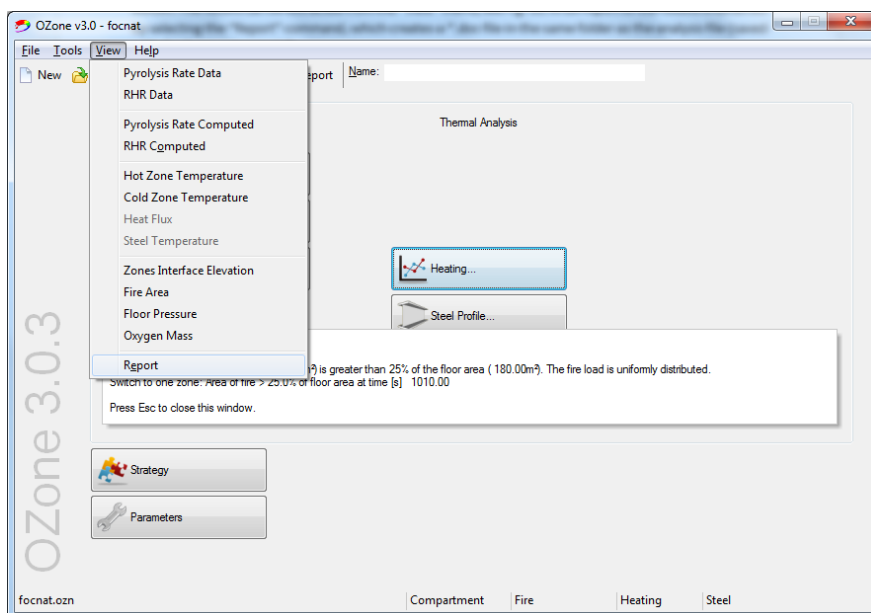


Obr. 15 Teplotní a časová závislost otevřenosti otvorů

EN 1991-1-2 neuvádí doporučení pro otvory, přestože vliv na výsledky může být významný. ITM SST-1551.1 je jediným dokumentem, dle znalosti vývojářů, kteří doporučili konkrétní informace. Vývojáři doporučují používat uvedené scénáře.

8. Tlačítko - Thermal Action

Po definici požárního úseku a parametrů požáru se provádí analýza stisknutím tlačítka "Thermal Action". Výsledky jsou zobrazeny nabídkou "View", viz obr. 16. Úplná zpráva o výsledcích se vybere příkazem "Report", který vytvoří soubor s příponou *.doc ve stejné složce, ve které je uložena analýza souboru, s příponou *.ozn.



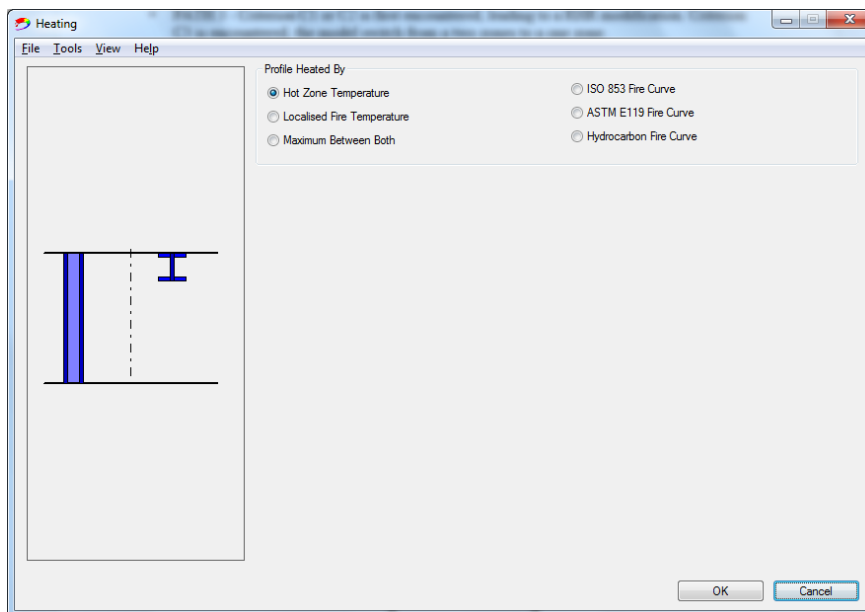
Obr. 16 Hlavní nabídka po stisknutí tlačítka "Thermal Action"

Všechny grafy obsažené v souboru lze otevírat nezávisle na sobě v nabídce "View". Z těchto zobrazení lze importovat vypočtená data do jiných programů (Excel, Word, PowerPoint, atd.), výběrem příkazu "Copy Chart" z nabídky menu, který se zobrazí klepnutím pravého tlačítka myši na příkaz (viz obr. 2).

9. Záložka - Heating

V záložce "Heating", viz obr. 17, lze vybrat tepelné zatížení, které budou uvažovány pro ohřívání průřezu definovaného v záložce "Steel Profile". Lze použít přirozené nebo nominální požáry.

Pokud jsou k ohřívání profilu uvažovány křivky nominálních požárů (ISO 853 / ASTM E119 / uhlovodíková) není definice požárního úseku a požáru v záložce "Natural Fire" nutná.



Obr. 17 Záložka - Heating

Pro modely přirozeného požáru lze použít několik scénářů.

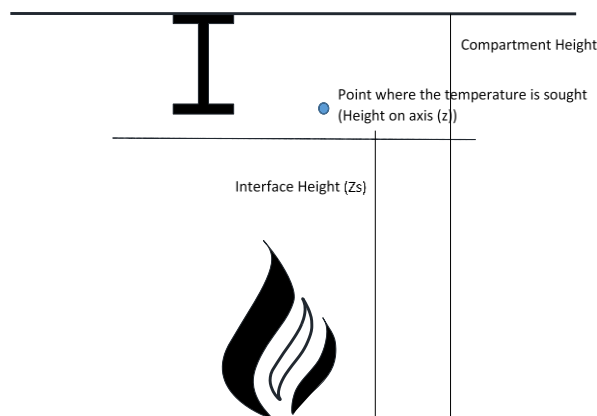
Pro prostorové požáry je nutné definovat požární úsek a požární charakteristiky. Pokud je "Annex E" nebo "Used defined Fire" vybrána v záložce "Fire", je aktivní pouze možnost "Hot Zone Temperature" v záložce "Heating".

Pro lokální požáry, pokud není definováno žádný prostor, je předpokládáno, že se lokální požár vyvíjí v otevřeném prostoru a je aktivní pouze možnost "Localised Fire Temperature".

Je-li v prostoru definován lokální požár, OZone vypočítá teploty v horké/studené vrstvě zónového modelu (v závislosti na zvolené strategii), vzhledem k tomu, automaticky určí "Maximum Fire Area" v záložce "Fire" jako součet lokálních požárů definovaných v záložce "Localised Fire". V tomto případě může uživatel vybrat jednu ze tří možností (Hot Zone Temperature – teplota dle horké vrstvy plynů/ Localised Fire Temperature – teplota dle lokálního požáru/ Maximum Between Both – kombinace maximálních teplot z obou).

Volba Maximum Between Both určuje maximální teploty na základě následujícího algoritmu (viz obr. 18):

je-li místo, kde teplota je vypočítána (výška osy (z) v rozhraní) je v horní vrstvě definována jako rozdíl mezi výškou prostoru a výšky rozhraní (Zs), jsou aplikovány na ocelový profil maximální teploty mezi horkou vrstvou plynů v prostorovém požáru a lokálním požárem;

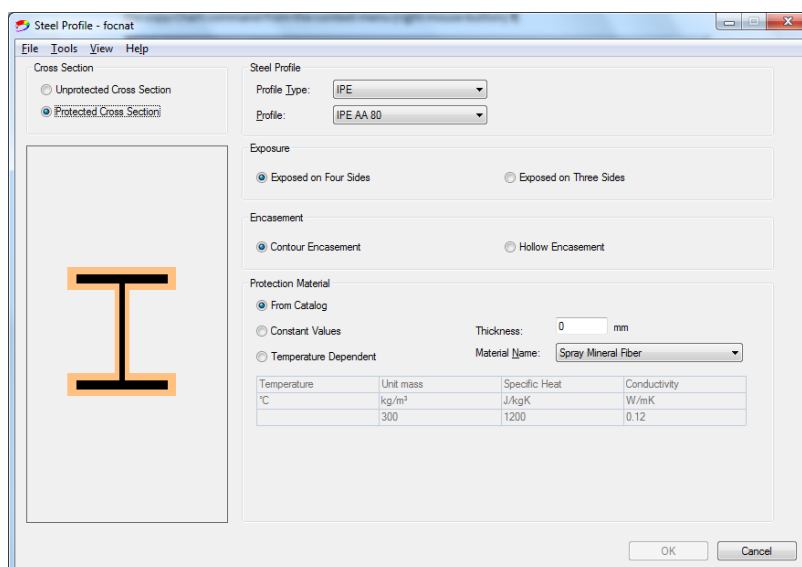


Obr. 18 Kombinace maximálních teplot mezi horkou vrstvou plynů a lokálním požárem.

9. Záložka - Steel profile

Po definici způsobu ohřívání ocelového profilu, tlačítko Steel Profile umožňuje definici typu profilu a způsobu jeho expozice v požáru. Lze nastavit chráněné či nechráněné ocelové průřezy, které budou vystaveny tepelnému namáhání ze čtyři nebo tří stran. Pokud je definován lokální požár, lze nastavit pouze nechráněný profil.

Tloušťku vrstvy a vlastnosti materiálu požární ochrany lze definovat jako konstantní nebo v závislosti na teplotě (zadáva uživatel). Nebo lze vybrat z předdefinovaných materiálů požární ochrany, které mají konstantní hodnoty nezávislé na teplotě.



Obr. 19 Záložka Steel profile

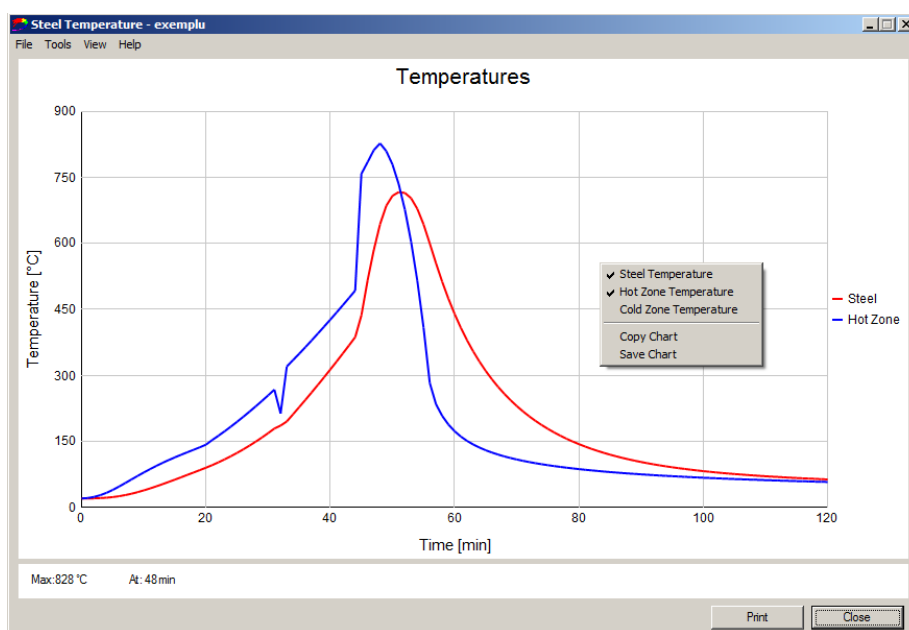
10. Tlačítko - Steel temperature

Ohřívání nechráněného nebo chráněného ocelového profilu se vypočítá podle EN 1993-1-2. Teplota plynu je dána teplotou horní horké vrstvy plynů, teplotou lokálního požáru nebo maximální hodnotou mezi oběma.

Vývoj teploty profilu je vypočítán pomocí rovnice pro výpočet chráněného či nechráněného ocelové průřezu dle EN1993-1-2.

Vývoj teploty průřezu v čase lze získat po klepnutí na tlačítko Steel Temperature. Výsledky teplotní analýzy prostoru mohou být extrahovány z nabídky View a úplná zpráva o výsledcích je získána výběrem příkazu Report, který vytvoří soubor s příponou .doc ve stejné složce, v níž je uložen soubor analýzy. Zpráva obsahuje také vývoj teploty ocelového profilu a jeho vlastnosti.

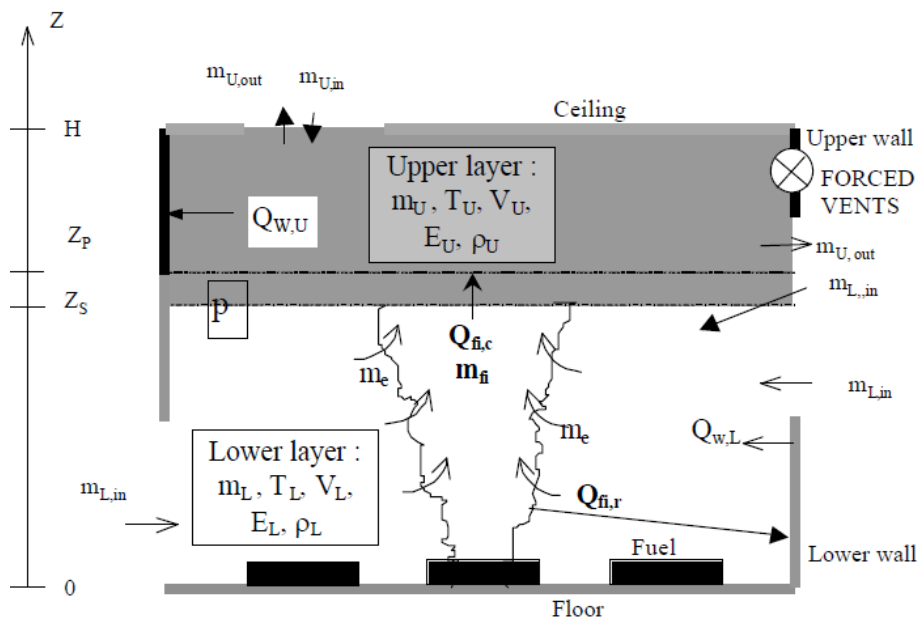
Graf teploty oceli obsažený v souboru Report lze otevírat nezávisle v nabídce View. Z tohoto okna lze importovat data do jiných programů (Excel, Word, PowerPoint, atd.), data grafu budou kopírovány výběrem příkazu Chart z místní nabídky (viz obr. 2).



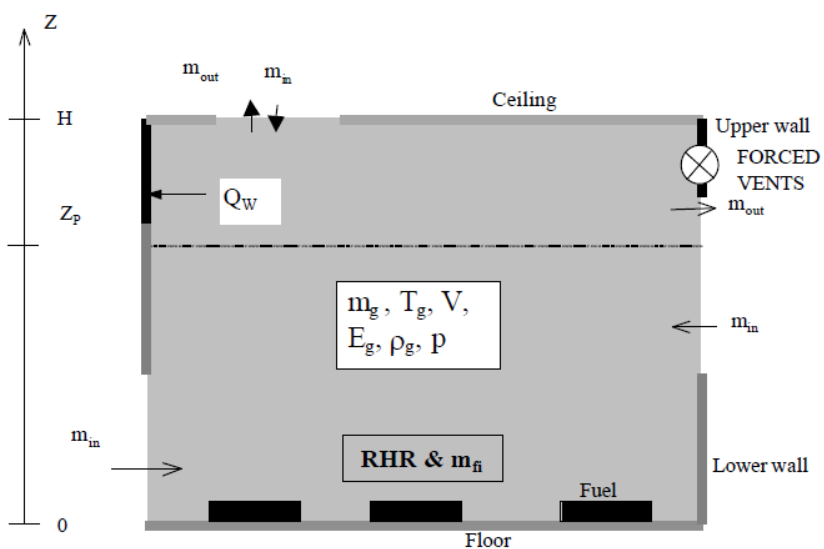
Obr. Porovnání teploty prvku a plynu v čase

Příloha A - Zonové Modely

V příloze jsou uvedeny základní principy dvou a jedno zónových modelů. Obrázky A1-2 schematicky ukazují tyto modely.



Obr. A1 Schematický pohled na dvou-zónový model a související dílčí parametry



Obr. Schematický pohled jedno-zónový model a související dílčí parametry

A1 Dvou-zónový model

Dvou-zónové modely jsou obvykle založeny na jedenácti fyzikálních proměnných. Tyto proměnné jsou propojeny sedmi omezeními a čtyřmi diferenciálními rovnicemi popisujícími hmotnost a energetickou bilanci v každé zóně.

Doba integrace těchto diferenciálních rovnic umožňuje vypočítat vývoj proměnné popisující zemní plyn v jednotlivých zónách. Hmotnostní bilance rovnice vyjadřuje skutečnost, že je změna hmotnosti plynu v zóně rovna v každém okamžiku hmotnosti spalin vyvinutých spalováním paliva, tedy hmotnosti uvolněné do prostoru mínus hmotnost ložek unikajících přes prostupy do vnějšího prostoru. Energetická bilance je vyjádřena tak, že v každém okamžiku je rovnováha na obou stranách rovnice - na jedné straně je energie, která je uvolňována do prostoru spalováním paliva a na straně druhé je způsob, kterým je tato energie spotřebována: zahříváním plynů v prostoru, ztráta horkého vzduchu přes otvory do vnějšího prostoru (včetně započítání energie vzduchu přiváděného do prostoru), ztráta radiací skrz otvory a ohřívání "partition" - konstrukcí prostoru. Je třeba zdůraznit, že pojem "partition" zde představuje pevné povrchy ohraničujících konstrukcí požárního úseku, jmenovitě svislé stěny, podlahu a strop.

Jedenáct proměnných, které jsou uvažovány pro popis plynu v prostoru jsou: m_U a m_L , hmotnost plynu resp. horní a dolní vrstvy; T_U a T_L , teploty plynu; V_U a V_L , objemy E_U a E_L , vnitřní zdroje energie; ρ_U a ρ_L , hustoty plynu resp. horní vrstvy plynu (U) a spodní vrstvy plynu (L) a poslední p , absolutní tlak v prostoru jako celku.

Těchto sedm omezení je formulováno jako

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

$$E_i = c_v(T) m_i T_i$$

$$p = \rho_i R T_i$$

$$V = V_U + V_L$$

$$i = U, L$$

$c_v(T)$ je měrná tepelná kapacita plynu v prostoru

R univerzální konstanta plynu;

i je U pro horní vrstvu & L pro spodní vrstvu;

Měrná tepelná kapacita plynu při konstantním objemu a za konstantního tlaku, je ve vztah s univerzální konstantou plynu R :

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

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

Změna měrné tepelné kapacity plynu s teplotou je berána v úvahu dle vztahu:

$$c_p(T) \rho(T) [J/(kg K)] \rho(T) \quad (3)$$

Toto pravidlo je získáno lineární regresí bod po bodu dle NFPE Handbook of Fire Protection Engineering.

Rovnice hmotnostní bilance mají obecný tvar rovnic (4) a (5) kde jsou prověřovány proměnné x & znamená derivát x s vzhledem k času. Rovnice (4) a (5) udávají, které variace plynné hmoty v jednotlivých zónách jsou vyrobeny celkové výměny jedné zóny s ohněm, jiné zóny a vnější okolí a různé způsoby větrání (viz Příloha B).

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

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

Rovnice rovnováhy energie mají obecný tvar rovnic (A6) a (A7), které uvádějí, že kolísání energie v jednotlivých zónách je způsobeno energetickou výměnou jedné zóny s ohněm, v jiné zóně s okolními prostory a s vnějším prostředím skrz prostupy.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_U = & \dot{Q}_{Urad} + \dot{Q}_{Uwall} + \dot{Q}_{U,Wout} + \dot{Q}_{U,HV,m} + \dot{Q}_{UHVout} \\ & + \dot{Q}_{U,FVin} + \dot{Q}_{UFVout} + c_p(T_L)\dot{m}_{ent}T_L + 0.7RHR \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_L = & \dot{Q}_{Lrad} + \dot{Q}_{L,wall} + \dot{Q}_{UYVin} + \dot{Q}_{LYVin} + \dot{Q}_{LYV,out} \\ & + \dot{Q}_{LHVin} + \dot{Q}_{L,HVout} + \dot{Q}_{LFVin} + \dot{Q}_{LFVout} - \dot{Q}_{ent} \end{aligned} \quad (7)$$

tyto zůstatky jsou záporné, hmotnost nebo energie odpovídající snížení hmotnosti nebo energie v prostoru.

K popisu systému musí být vybrány čtyři základní proměnné. Za předpokladu, že jsou vybrané teploty zón T_U a T_L , výšky zón Z_S a rozdíl tlaku z počáteční doby Δp , rovnice (4) až (7) mohou být vypočteny v systému obyčejné diferenciální rovnice (ODE) tvořené rovnicemi (8) až (11). [FORNEY 1994]

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

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

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

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

A2 Jedno-zónový model

V případě jedno-zónového modelu je počet proměnných, které popisují zemní plyn v prostoru jako celku, snížen na šest. tj m_g , hmotnost plynu; T_g , teplota plynu; V , objem prostoru (konstantní); E_g , vnitřní energie; p , tlak v prostoru; ρ_g , hustota plynu.

Počet omezení je snížen na 4:

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

Hmotnostní bilance je nyní vyjádřena rovnicí (13):

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

a energetická bilance je vyjádřena rovnicí (14):

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

V těchto zůstatcích hmoty nebo energie je odpovídající množství sníženo zápornými hodnotami hmotností nebo energií v prostoru.

K popisu systému musí být vybrány čtyři základní proměnné. Za předpokladu, že teplota zóny T a rozdíl tlaku z počáteční doby Dp jsou vybrány, rovnice (13) a (14) můžou být transformovány v systému obyčejných diferenciálních rovnic, rovnice (15) a (16).

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

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

A3. Doba integrace

Jak již bylo zmíněno, systémy rovnic (8) až (11) (2ZM) a z rovnic (15) a (16) (1ZM) budou řešeny známé charakteristiky plynu zón v každém okamžiku. Tyto systémy ODE jsou pevně dány. Z hlediska matematické interpretace tuhosti není tento systém přísný, je dáno, že časová konstanta vzhledem k tlaku variace je mnohem kratší než časová konstanta kolísání teploty. Proto se obvykle spoléhá na specializované knihovny speciálně psané pro tento druh problému. V kódu OZone je k řešení používán DEBDF.

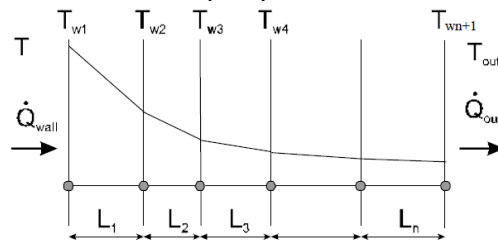
A4 Oddíl modelu

Oddíly modelu zóny jsou obvykle založeny na konečných diferenciálních rovnicích. Metoda neumožňuje řešit rovnice implicitně a proto plně propojit modely zón a oddílů. Tento problém lze vyřešit pomocí metody konečných prvků a změnou složení obvyklé metody konečných prvků. Plně respektovat energetické bilance v případě jedno-zónového modelu, oddíly musí být modelovány jedno dimenzionální metodou konečných prvků a v případě dvou-zónového modelu, musí být modelován dvou dimenzionální metodou konečných prvků, protože vertikální toky existují ve svislých oddílech.

I v případě, že OZone zahrnuje dvou zónový a jedno zónový model, oddíl zahrnuje jednu dimenzi. Některé předběžné práce na dvou zónovém modelu s dvou dimenzionálním modelem oddílu ukázaly, že model oddílu založený na jedenorozměrové metodě konečných prvků je dostatečně přiblížený dvou dimenzionálnímu modelu. Ve většině případů jsou jevy ve dvou dimenzionálním modelu zanedbatelné. Zvýšení času výpočtu a těžko definovatelné jevy jsou při tomto postupu významné komplikace a výsledky nemají ve většině případů žádný vliv. Konstrukce ohraničující prostor lze rozdělit na tři typy: horní vodorovná přepážka, strop; spodní vodorovná přepážka, podlaha; vertikální přepážky, stěny. Základní metoda konečných prvků je pro tyto tři typy oddílu shodná, ale okrajové podmínky se liší.

A4.1 Formulace modelu oddílu

Oddíl je diskretizován pomocí modelu s jedenorozměrným konečným prvkem, jak je znázorněno na obrázku A3. Při této diskretizaci se vypočítává teplota na rozhraní mezi různými vrstvami nebo prvky a hyza je provedena lineární změnou teploty na tloušťce každé vrstvy.



Onr. 3 Diskretizace oddílů - jeden dimenzionální konečný prvek

Díky této diskretizaci a hyze na poli teploty, je rovnováha jednotlivých konečných prvků je popsána dle následujících rovnic:

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

with

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

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

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

and

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

Rovnice, 12 a 13 jsou zjednodušené. Vlastnosti materiálů jsou považovány za konstantní v každém prvku, což je umožňuje uvažovat konstantní násobitele z matice. Teplotní závislost prvku lze uvažovat numerickou Gaussovou integrací. Rovnice (20) je diagonalisovaná úplné matice s hodnotou 1/3 pro diagonální podmínky a 1/6 mimo diagonální podmínky. Výhoda diagonální

formy je ve vyhlazení prostorové oscilace, která by mohly vzniknout, pokud se při diskretizaci použijí příliš silné prvky. Shromáždění N rovnic typu (17), které mohou být napsány pro každý z N konečných prvků oddílu systému rovnic (22) v nichž je pro matice velikost vektorů $N + 1$ a $(N + 1) \times (N + 1)$.

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

with

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

Energie na rozhraní konstrukcí jsou dány přenosem tepla prouděním a zářením mezi zónami a ohraničujícími konstrukcemi a mezi plameny a konstrukcemi. Energie přenášené na rozhraní mezi okolním prostředím a konstrukcemi jsou vyjádřeny přenosem tepla prouděním a zářením.

Pro T_{w1} rozložení vnitřní povrchové teploty a $T_{w,n+1}$ vnější povrchové teploty konstrukcí. T_z je teplota plynu zóny na styku s konstrukcemi na vnitřním povrchu, tj $T_z = T_U$ nebo T_L v případě 2ZM nebo $T_z = T_g$ v případě 1ZM. Ze soustavy rovnic (22) lze získat systém rovnic (24), vypočtený pro diagonálu \mathbf{C} .

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

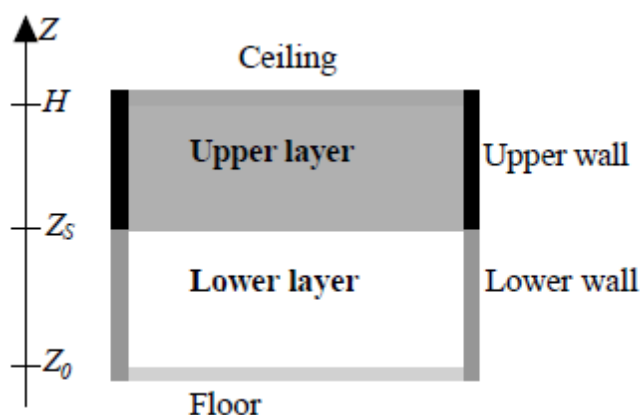
Soustava diferenciálních rovnic N je připravena pro N teplot oddílu. Teplota prostoru je v prvním funkčním období zatížení vektoru. Má podobnou formu, jako systém rovnic (8) až (11) (2ZM) a rovnice (15) a (16) (1ZM) stanovené pro proměnné oblasti plynu, které lze zapsat jako:

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

A4.2 Připojení zónových modelů a modelu ohraničujících konstrukcí - oddílu

Dvou-zónový model

V 2ZM je strop vždy připojen k vrchní vrstvě a podlaha k ohni a spodní vrstvě. Vertikální oddíly se dělí ve dvě části, horní je připojený k vrchní vrstvě a nižší je připojený k ohni a spodní vrstvě (obr. A4). Plochy každé části jsou vypočteny vynásobením délky zdi a její výšky, která se mění s časem a je funkcí výšky zóny, Z_s . Plochy otvorů v každém oddílu jsou samozřejmě odečítány. Discretizace konečných prvků těchto dvou částí jsou totožné, jen okrajové podmínky jsou různé.

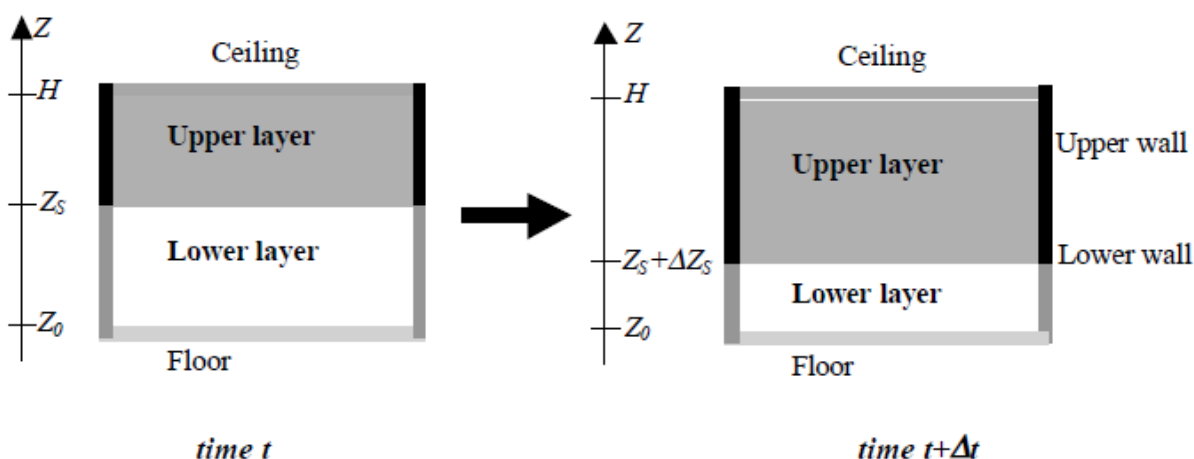


Soustava rovnic (24) obsahuje jednu pro strop a jednu pro na podlahu. Je-li kryt má M různých typů stěn, musí být sestavena $2M$. Pokud je $N_{eq,c}$ a $N_{eq,f}$ počet uzlů stropu a podlahy a $N_{eq,i}$ je číslo uzlu n° zdi. Celková sada rovnic oddílů obsahuje $N_{eq,w}$ diferenciálních rovnic, je dána rovnice (26).

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

Rovnice (8) až (11) a rovnice (24) tvoří soubor $N_{eq,w}+4$ diferenciální rovnice lze předat číselné řešitel. Tenhle bude integrovat rovnice zohledňující spoje mezi kupé a oddíl a řešení $N_{eq,w}+4$ proměnné, které jsou změny tlaku, teplota v horní zóně, teplota v horní zóně a nadmořská výška rozhraní zóny, zvýšené teploty na každém uzlu oddílů.

Pomocí jednoho rozměru oddílů modelu v modelu vedou dvě zóny uměle vytvářet nebo potlačit některé energie ve zdi. Vzhledem k rostoucí tloušťka horní vrstvy (obr. 5), je-li výška oddělení mezi zónami je Z_s v čase t a Z_s+DZ_s v čase $t+Dt$, stěna výšky, kterou proměnil DZ_s ze spodní stěny na horní stěně. Teplota spodní stěny jsou obecně nižší než ty horní zdi, některé energie vzniká (XX). Nao pokud se snižuje tloušťka horní vrstvy, kalorie jsou ztraceny. Jediný způsob, jak být přísný když modelování zdi v ZM, je jedině dvě rozměrová oddílů model, který by brát v úvahu vertikální tavidla. Variace Z_s musí vzít v úvahu v okrajové podmínky dvou dimenzionální prvky.



Obrure A5

Okrajové podmínky

Pro všechny typy oddílů energie přenášené na rozhraní mezi okolním prostředím a oddílem je přenos tepla prouděním a zářením a je dán rovnicí (27).

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

Horní vrstva se skládá ze směsi spalín a vzduchu uvolňovaných z plamenů v nižší vrstvě. Tato vrstva je považována za neprůhlednou a záření mezi oddíly, které jsou k němu připojeny jsou zanedbávány. Energie přenášená mezi vnitřní vrstvou a vrchní vrstvou oddílu je výsledkem z tepelného přenosu konvekcí a radiací.

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

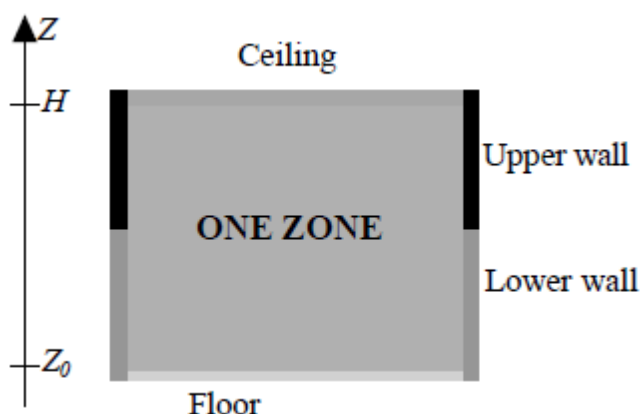
Nižší vrstva se skládá v podstatě z čerstvého vzduchu s jen několika produkty spalování, takže jeho relativní intenzita vyzařování se považuje za rovnou nule. Energie přenášená mezi vnitřní vrstvy a nižší vrstvy povrchu konstrukcí jsou výsledky pouze z tepelného přenosu konvekcí. Záření z požáru je reprezentováno hodnotou $q_{fi,w}$.

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

$q_{fi,w}$ [W/m²] se získává vydělením 30 % míry uvolňování tepla celkovou plochou dolního oddílu, včetně oblasti otvoru (viz také §XX).

Jedno-zónový model

Při zvažování model jedné zóny během celé simulace, vertikální oddíl je rozdělen dvou částí, které jsou připojeny k jediné zóně (obr. A6). Síť konečných prvků ze dvou částí a okrajové podmínky jsou shodné. Proto rozložení teploty v oddílu a magnetickou indukci na pomezí jsou stejné v obou částech. Skutečně v jedno zónovém modelu svislé stěny nejsou obvykle děleny na dvě. Výsledky získané pomocí dvou a jedno zónových modelů jsou pro zdi shodné, ty, které by bylo dosaženo s pouze jedním oddílem modelu pro stejné jedné zdi. Důsledkem tohoto postupu je pouze zvýšení počtu řešených rovnic a pro ně potřebného výpočetního času. Každopádně byly provedeny s cílem umožnit kombinace 2ZM a 1ZM.



V modelu jedné zóny, systém rovnic (24) má vybudovat jednou pro strop a jednou pro na podlahu. Je-li kryt má M různých typů stěn, musí vybudovat $2M$. Pokud $N_{eq,c}$ a $N_{eq,f}$ počet uzlu stropu a podlahy, a $N_{eq,i}$ jsem číslo uzlu n^o i zdi i celkovou sadu rovnic oddíl obsahuje $N_{eq,w}$ diferenciálních rovnic, také dána rovnice (26).

Rovnice (15), (16) a rovnice (24) sestavení $N_{eq,w}$, x tvoří soubor $N_{eq,w}+2$ diferenciálních rovnic které mohou být předány číselné Řešitel. Ten bude integrovat rovnice, brát v úvahu spoje mezi kupé a

oddílů a vyřeší $N_{eq,w}+2$ proměnné, které jsou odchylky tlaku a teploty v prostoru, navíc teploty na každém uzlu oddíly.

Pro 1ZM, nastaví limity prostoru uvnitř povrchu zdi a přidá dílčí model zdi. Protože všechny rovnice jsou řešeny současně s implicitním postupem, energetická bilance mezi plynem a zdmi je plně respektována.

Okrajové podmínky

Pro tři typy oddílů energie přenášené na rozhraní mezi okolním prostorem a konstrukcemi je přenos tepla prouděním a zářením a je dán rovnicí (30).

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

Energie se přenáší na povrchy vnitřních konstrukcí výsledky z rozhraní přenosu tepla prouděním a zářením mezi konstrukcemi a zónou.

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

A5 Přepnutí z dvou-zónového na jedno-zónový model

Pokud je během dvou-zónové simulace dosaženo některé z kritérií, výpočet se automaticky přepne do jedno-zónové simulaci, která lépe vyhovuje situaci uvnitř prostoru v takovém okamžiku.

Simulace bude pokračovat až do konce požáru jako jedno zónový model. Kritéria přepnutí budou vysvětlena v Příloze F. Cílem tohoto odstavce je stanovit, jak se OZone zabývá základními proměnnými zónových modelů, jak nastavuje počáteční podmínky jedné zóny a jak se zabývá modely obvodových konstrukcí - oddíly.

Formulace zónových modelů

Čas, kdy nastane přechod z 2ZM na 1ZM je označován t_s . Hodnoty z jedenácti základních proměnných charakterizujících plyn v obou zónách jsou známy až do t_s díky integraci časové rovnice (8) až (11) a s ohledem na omezení (1). Pro pokračování simulace s modelem pro jednu zónu, lze začít řešit rovnice (15) a (16) přidružené k počátečním podmínkám reprezentujícím situaci v této době. Jde o nastavení počáteční hodnoty 1ZM (v čase t_s).

V jedné zóně modelu existuje šest proměnných popisujících plyn v prostoru jako celku, spojuje čtyři omezení. Pro dvě nová omezení je zapotřebí stanovit nové počáteční podmínky. Získat tyto dvě další podmínky lze nastavením během přechodu od 2ZM na 1ZM, zachováním celkové hmotnosti plynu a celkové energie v prostoru.

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

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

Počáteční (v čase t_s) teploty $T_g(t_s)$ a tlaku $p(t_s)$ v 1ZM lze odvodit z rovnic (32), (33) a (12).

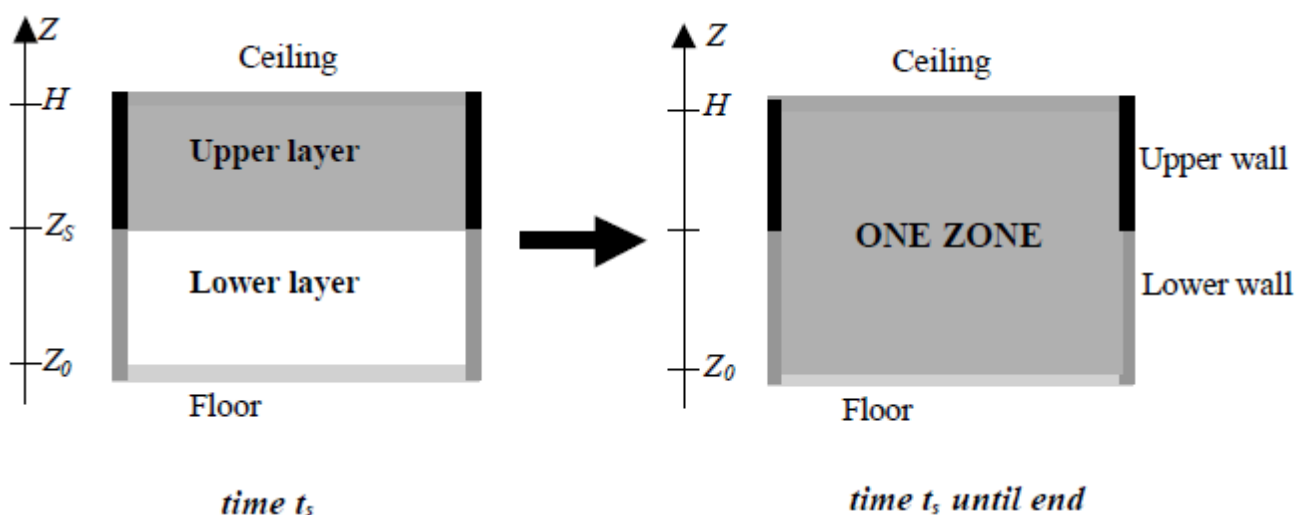
Potom 1ZM běží s jeho přidruženými dílčími simulacemi pro výpočet výměn energie a hmoty skrz prostupy. Formulace modelů obvodových konstrukcí a jejich počáteční hodnoty jsou vysvětleny v příloze F.

Formulace modelu stěn

Teplota oddílu v čase t_s se získává integrací sady rovnic (24) vázané na 2 zónové základní rovnice (8) až (11). V této době výška spodní a horní vrstvy (vertikální oddíly) jsou $Z_S(t_s)$ a $H-Z_S(t_s)$. Od okamžiku přechodu t_s na konci výpočtu modelu jedné zóny je spojena s dolní a horní stěny, které udržují dimenzi, kterou měli v době t_s , tedy $Z_S(t_s)$ a $H-Z_S(t_s)$. Během přechodu, který nebyla provedena žádná úprava teploty oddílu zdi jsou upraveny pouze okrajové podmínky. Tímto způsobem je umožněno pokračovat a plně respektovat zákon zachování energie během přechodu z 2ZM na 1ZM.

Pokud je zvolen jedno zónová simulace od počátku výpočtu, mají dimenze dolní a horní vrstvy původní rozměry, odvozené z původní výšky oddělení zón až do konce výpočtu.

To znamená, že během jedno zónové simulace (1ZM ale i kombinace strategií) zeď je reprezentována dvěma identickými rozděleními, které mají stejné okrajové podmínky.



S 2ZM jsou stěny v nižší vrstvě přímo ohřívány zářením z ohně a vydávají energii zpět do spodní vrstvy konvekcí. Pokud dojde k přepnutí výpočtu na 1ZM dochází k výměně energii zářením a konvekcí v jediné zóně.

Příloha B - VÝMĚNA ENERGIE SKRZ PROSTUPY

V programu Ozone jsou zavedeny tři modely ventilace: vertikální otvory, horizontální otvory a nucené větrání.

Vertikální otvory (ve stěnách)

Výměna konvekcí

Hmotnostní průtok přes otvory je počítán integrací Bernoulliova zákona pro každý otvor.

... (A1)

Kde: index A : proměnná na počátku toku

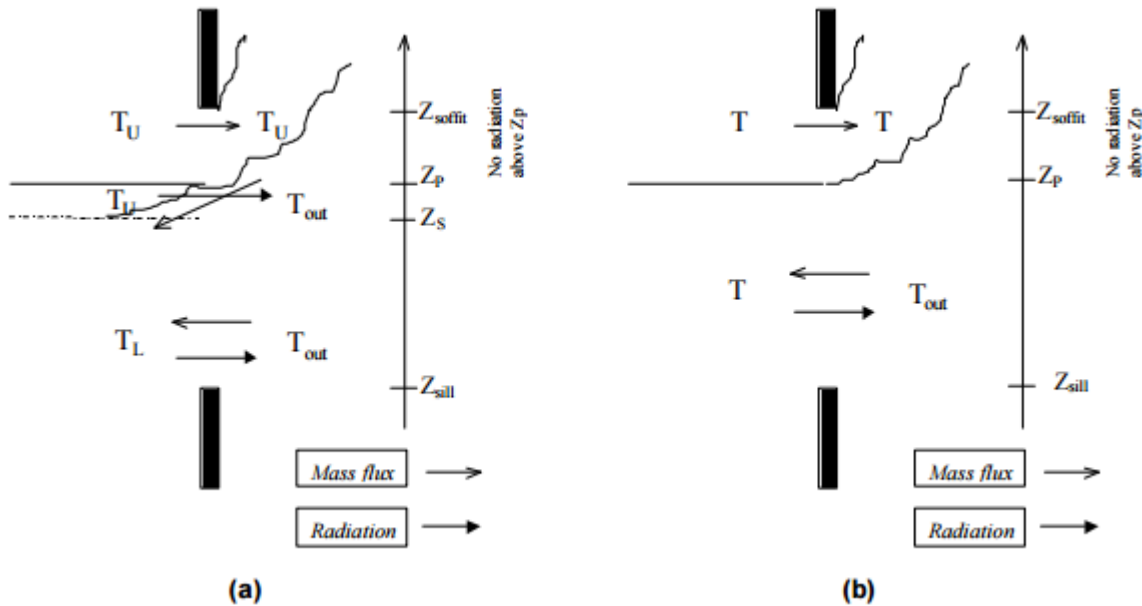
index B : proměnná v na konci toku

Z' & Z'' : hranice integrace ve výšce Z

b : šířka svislého otvoru

a : U pokud se provádí integrace v horní vrstvě, L provádí-li se v nižší vrstvě a g v případě jedno zónového modelu. b : in v případě, že plyn protéká směrem do prostoru, out v případě, že plyn protéká směrem ven z prostoru

Je-li svislý otvor ve výšce nad podlahou, v níž je tlak uvnitř prostoru roven tlaku mimo prostor, je tento otvor rozdělen do dvou částí, v jedné jde hmotnostní průtok směrem do prostoru a ve druhé kde jde hmotnostního průtoku směrem ven. Tato výška se nazývá neutrální rovinou. Navíc v modelu se dvěma zónami, pokud je v otvoru výška neutrálné roviny, dojde k dalšímu rozdělení mezi zónami. V 1ZM (jedno-zónový model) existují tři možnosti polohy neutrálné roviny. V 2ZM (dvou-zónový model), existuje 10 možností výškové pozice neutrálné roviny. Pro každý svislý otvor, rovnice A1 je řešena 1 nebo 3 krát s odpovídající mezí integrace výšky (Z' & Z'' mohou být parapet otvoru, nadpraží otvoru, výška neutrálné roviny nebo výškové oddělení mezi zónami). Obrázek A1 ukazuje v případě 2ZM a 1ZM jednu možnou situaci a relativní pozice Z_{sill} , Z_P , Z_S a Z_{soffit} .



Obr. A1 Výměna skrz svislé otvory (a) 2ZM a (b) 1ZM

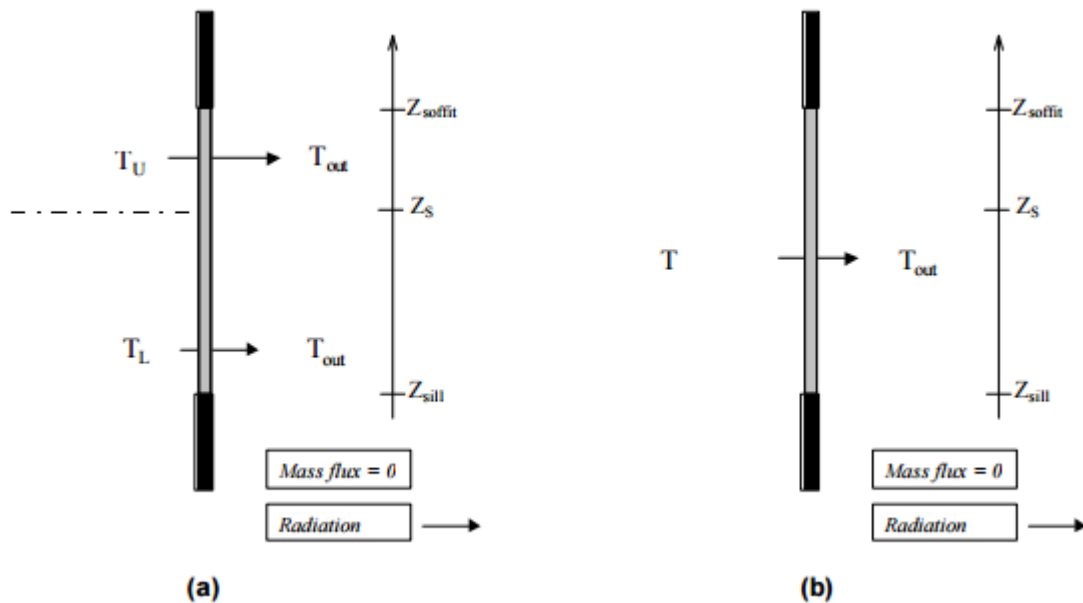
Výměna radiací

Záření přes okna je počítáno na základě uvážení Stefan-Boltzmannova zákona. Kde je předpoklad, že záření existuje jen ve výšce nad podlahou, kde jsou se tlaky vně a uvnitř prostoru rovny. Nad touto hranicí odcházejí plyny mimo prostor a venkovní teplota (v oblaku kouře) je považována za rovna teplotě uvnitř prostoru, takže se předpokládá, že tok čistého tepelného záření je roven nule (obrázek A2).

Pokud je otvor/okno zavřené nedochází skrz něj k žádné tepelné výměně. Zasklení lze předpokládat adiabatické a je uvažováno, že skrz něj neprochází žádné záření. Bude-li záření uvažováno přes zasklení hodnotí Stephan-Boltzmannův zákon:

...

kde e_{gl}^* je parametr, který obsahuje relativní emissivitu povrchů a zahrnují také část energie, která se odráží na rozhraní mezi plynem a zasklením a je absorbována materiálem zasklení; tento parametr je vysoce závislý na povaze materiálu zasklení.



Obr. A2 Tepelná výměna zářením skrz uzavřené svislé otvory v 2ZM (a) a (b) 1ZM

Horizontální otvory (ve stropní/střešní konstrukci)

Průtok plynu otvorem ve stropě není vždy řízen rozdílem jediného tlaku, vztlak může mít významný dopad. Tyto síly mohou vést k obousměrné výměně toku tímto otvorem. Proto není vhodné bezpodmínečně použítí Bernoulliho rovnice pro modelaci tohoto případu.

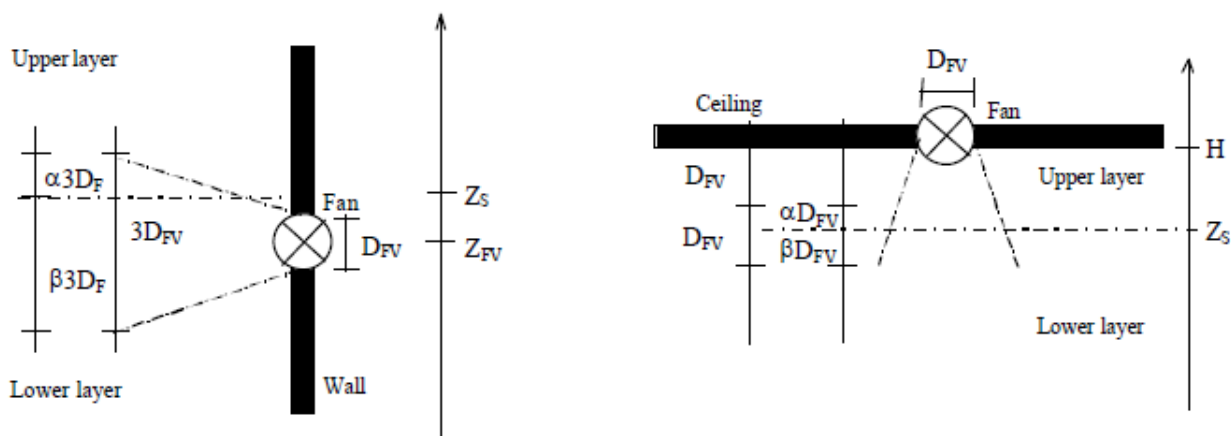
Cooper vytvořil model pro výpočet toků skrz kruhové, mělké (tj malé hloubky v poměru k průměru) vodorovné otvory. Tento model výpočtu toku vzhledem k vztlaku řízeného silou uvažující kombinované účinky tlaku a vztlaku. Cooperův model je popsána v COOPER 95, COOPER 97.

Nucené větrání (odtah kouře)

Model nuceného větrání je postaven na představě vlivu mechanické ventilace. Nucené větrání je definováno jako kombinace vyvolané rychlosti tok, V_{FV} , jejich výšce Z_{FV} a jejich průměru D_{FV} . Pokud je rozhraní zón nad výškou nuceného větrání $+ 1.5 D_{FV}$, vzduch je odváděn pouze z nižší-chladnější vrstvy plynů. Pokud je rozhraní zón pod výškou nuceného větrání $- 1.5 D_{FV}$, vzduch je odváděn pouze z horní vrstvy horkých plynů. Pokud je ventilátor na rozhraní mezi zónami $Z_S + 1.5 D_{FV}$ a $Z_S - 1.5 D_{FV}$, hmotnostní průtok odsávaného vzduchu z každé vrstvy je úměrný vzdálenosti mezi Z_S a Z_{FV} a $3D_{FV}$.

Pokud je nucené větrání ve stropě je zavedena interpolace. Pokud je rozhraní zón nad výškou nuceného větrání $- D_{FV}$, vzduch je odváděn pouze z nižší-chladnější vrstvy plynů. Pokud je rozhraní zón pod výškou nuceného větrání $- 2 D_{FV}$, vzduch je odváděn pouze z horní vrstvy horkých plynů. Pokud je ventilátor na rozhraní mezi zónami $Z_S - D_{FV}$ and $Z_S - 2D_{FV}$, hmotnostní průtok odsávaného vzduchu z každé vrstvy je

úměrný vzdálenosti mezi Z_S and $Z_{FV}-D_{FV}$ and $2D_{FV}$.



Příloha C - MODELY SPALOVÁNÍ

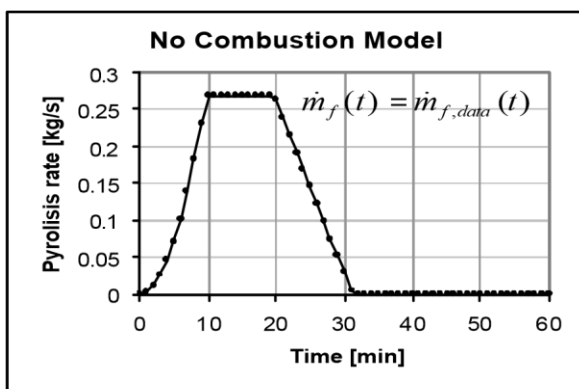
Model spalování

Rychlost pyrolýzy a rychlost uvolňování tepla vvažují data hmotnosti a energetické bilance. Žádná kontrola ze strany ventilace nebude použita. V každém okamžiku bude splněna následující rovnice:

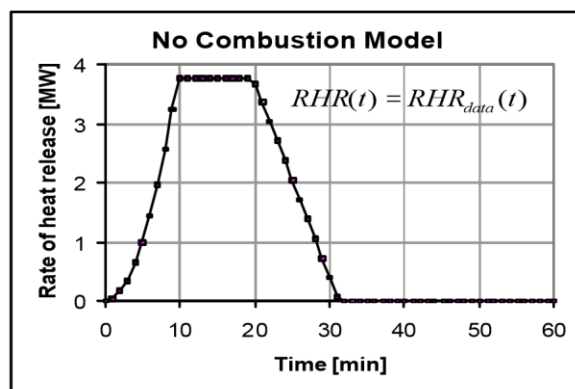
$$\dot{m}_f(t) = \dot{m}_{f,data}(t) \quad (B1-2)$$

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

Tento případ odpovídá simulaci zkoušek, kde byly měřeny hmotnostní úbytky a rychlost uvolňování tepla. Toto je vhodné také pro situace, kde je známa míra pyrolýzy a kde je požár řízen palivem.



Obr. B1 Křivka pyrolýzy



Obr. B2 Křivka rychlosti uvolňování tepla RHR

Vnější plameny - spalovací model

V tomto modelu se předpokládá vnější spalování a požární zatížení je přeměněno na plyny v prostoru, ale pouze část dodává energii do prostoru. Míra tepla uvolněného požárem může být omezena podle množství kyslíku, které je k dispozici v prostoru, zatímco míra pyrolýzy zůstává nezměněna.

Když je hmotnost kyslíku v prostoru vyšší než 0kg, požár je řízen je palivem, hmotnostní úbytek paliva dodává energii do prostoru:

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

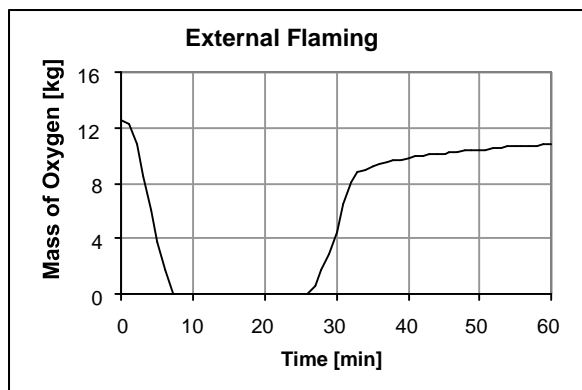
$$RHR(t) = RHR_{data}(t) = \dot{m}_f(t) H_{f,eff}$$

Pokud je kyslík v prostoru spotřebován, požár je řízen ventilací a spalování není dokončeno. Uvolněná energie se řídí hmotností kyslíku procházející otvory:

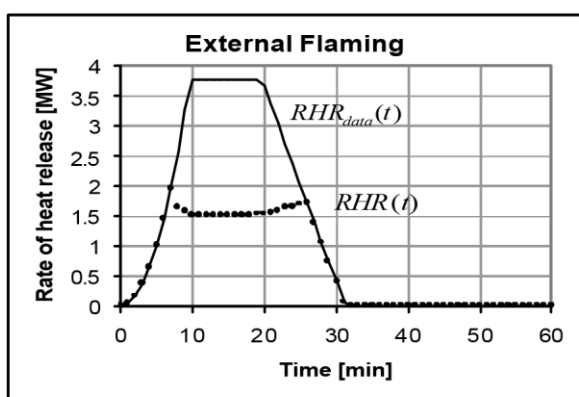
$$\dot{m}_f(t) = \dot{m}_{f,data}(t) \quad (B5-6)$$

$$RHR(t) = \dot{m}_{ox,in}(t) H_{f,eff}$$

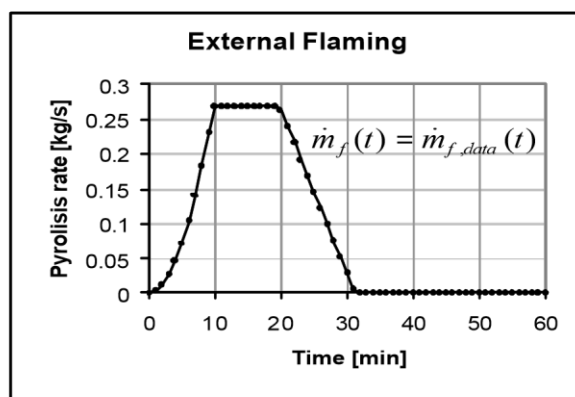
Pokud je kyslík v prostoru opět k dispozici, požár se vrací do palivem řízeného režimu a rovnice B5-6 - řídí pyrolýzu a míru uvolňování tepla.



Obr. B3 Hmotnostní křivka kyslíku



Obr. B4 Křivka rychlosti uvolňování tepla RHR



Obr. B5 Křivka pyrolýzy

Prodloužené trvání požáru spalovací model

Tento model předpokládá, že propuštění hmotnosti může být omezeno množstvím kyslíku, které je k dispozici v prostoru. Celková hmotnost paliva shoří uvnitř prostoru (bezpečný postup), je doba trvání požáru delší.

Pokud je hmotnost kyslíku v prostoru vyšší než 0kg, oheň je řízen palivem, hmotnostní úbytek paliva dodává energii do prostoru:

$$\dot{m}_f(t) = \dot{m}_{f,data}(t) \quad (B7-8)$$

$$RHR(t) = RHR_{data}(t) = \dot{m}_f(t) H_{f,eff}$$

Pokud je kyslík v prostoru spotřebován, požár je řízen ventilací. V tomto případě je hmotnost ztráta a požár se řídí hmotností kyslíku přicházejícím do prostoru a všechny nosné prostředky hmoty jsou přeměněny na energii:

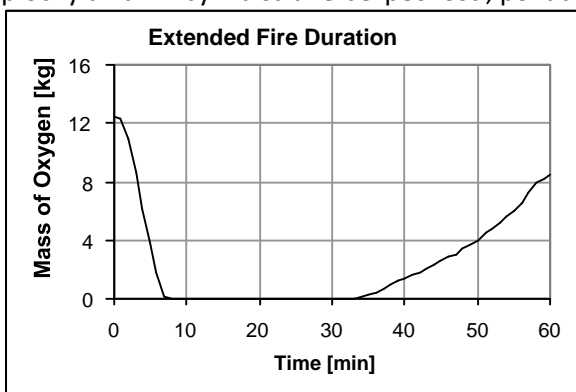
$$\dot{m}_f(t) = \dot{m}_{ox} \cdot 1.27 \cdot \dot{m}_{in}(t) \quad (B9-10)$$

m

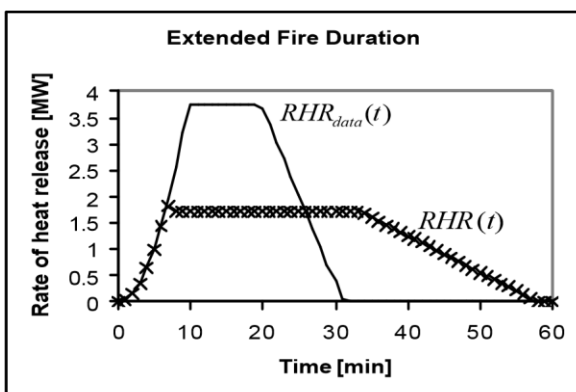
$$RHR(t) = \dot{m}_f(t) H_{f,eff} = \dot{m}_{ox} \cdot 1.27 \dot{m}_{in}(t) H_{f,eff}$$

Lineární fáze poklesu začíná, když je spotřebováno 70 % celkového požárního zatížení.

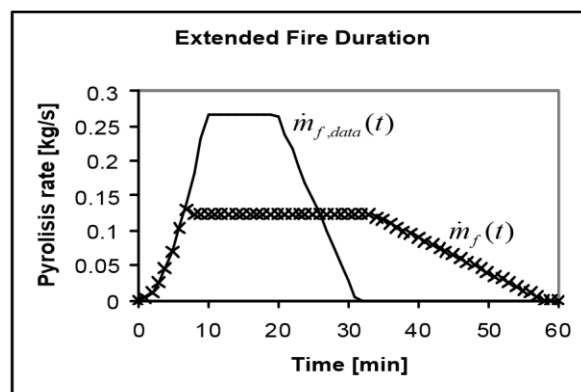
V tomto modelu, kde není předpokládáno žádné externí spalování dodává požární zatížení energii do prostoru. Je-li požár řízen větráním, rychlost pyrolýzy je úměrná kyslíku v prostoru. Tento model není fyzikální model, protože pyrolýza není přímo závislá na koncentraci kyslíku. To bylo prokázáno pro návrhové postupy, aby se zabránilo nejasnosti v pyrolýze s maximální hodnotou na jednotku podlahové plochy a návrh byl na straně bezpečnosti, pokud jde o dobu trvání požáru.



Obr. B6 Hmotnostní křivka kyslíku



Obr. B7 Křivka rychlosti uvolňování tepla RHR



Obr. B8 Křivka pyrolýzy

Příloha D - NÁRODNÍ PŘÍLOHY A PARAMETRY

PRO APLIKACI PŘIROZENÉHO POŽÁRU V RŮZNÝCH EVROPSKÝCH ZEMÍCH V SOFTWARE OZONE

Několik národních příloh uvedených EN 1991-1-2 je zavedeno v OZone. Porovnáním metod výpočtu aplikovaných v různých zemích EU na původní model dle Eurokódů, byly zjištěny tři různé možnosti:

- byly změněny hodnoty faktorů zapojených do výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení, stejně jako postup výpočtu;
- byly změněny pouze hodnoty, které se podílejí na výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení;
- nebyly žádné změny v postupu výpočtu nebo faktorů zapojených do výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení.

Rovněž je třeba poznamenat, že v Dánsku není povoleno použití přílohy E, EN1991-1-2, ale žádná jiná metoda výpočtu se v dánské národní příloze nenavrhuje. Tato země je výjimkou. OZone rozhraní je k dispozici v angličtině a francouzštině a prostředí programu bylo přeloženo do jazyků uvedených národních národních příloh.

Německá národní příloha představuje určitou metodu, kde se počítají dva samostatné částečné bezpečnostní součinitele. První z nich platí pro hustotu požárního zatížení (podobně jako EN) a druhý je použit pro rychlost uvolňování tepla (tento EN neuvažuje). Tyto součinitele jsou funkce pravděpodobnosti nebezpečí výskytu požáru a povolené pravděpodobnosti selhání. Pravděpodobnostní rovnici se používá k vyhodnocení těchto dvou faktorů.

V Nizozemsku je metoda velmi podobné Německé. Avšak je třeba poznamenat, že dva částečné bezpečnostní součinitele pro hustotu požárního zatížení a rychlost uvolňování tepla jsou totožné.

Ve Velké Británii je používáno několik vzorců, které se mírně liší, ale metoda je stejná jako v Eurokódu.

Velký počet zemí se řídí stejnou metodou výpočtu jaká je popsána v EN 1991-1-2, ale liší se hodnotami několika parametrů. Například:

- Německo a Francie používají 90% kvantil (namísto 80%), ustoty požárního zatížení jsou proto odlišné;
- Některé země se rozhodly uvažovat různé hodnoty hustoty požárního zatížení pro různé provozy budov (nezávisle na výběru kvantilu);
- Francie a Portugalsko se rozhodly uvést, že všechny delta součinitele, které představují aktivní protipožární opatření, se rovnají 1;
- Belgie, Španělsko a Itálie používají pro delta faktory, které představují aktivní protipožární opatření, jiné hodnoty.

Velký počet zemí se rozhodl následovat metodu uvedenou v Eurokódu bez jakýchkoli úprav hodnot faktorů, které ovlivňují hustotu požárního zatížení: Česká republika, Estonsko, Maďarsko, Lucembursko, Polsko, Rumunsko, Slovensko a Slovinsko.

Dále jsou uvedeny národní parametry pro aplikaci přirozeného požáru v různých evropských zemích.

Belgie

Žádné změny v postupu výpočtu nebyly uvedeny v Belgické národní příloze EN1991-1-2.

Tabulka A- 1 hodnoty faktorů, které uvažují nebezpečí vzniku požáru vzhledem k velikosti prostoru, nahrazují se vzorcem pro oblasti mezi 25-2500m². Popisy prostorů v budovách jsou také rozšířeny.

V tabulce A- 2 jsou upraveny některé faktory, beroucí v úvahu různé aktivní protipožární opatření.

V tabulce A- 3 hotely a nemocniční pokoje jsou uvažovány stejné hustoty požárního zatížení a některé doplňující ustanovení pro lokální požáry.

Níže jsou uvedeny hodnoty, které mají být zavedeny pro Belgickou národní přílohu v software OZone. Změny oproti ustanovení EN1991-1-2 jsou zvýrazněny.

Tab. A- 1 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti požárního úseku a provozu (Belgie)

Compartment floor area Af [m ²]	Danger of fire activation - Factor 1	Danger of fire activation - Factor 2	Examples of occupancies
25	$\delta q_1 = 1,1 + 0,4 \log_{10} (Af / 25)$	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

Tab. A- 2 : Factory uvažující různé aktivní protipožární opatření (Belgie)

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

Tab. A- 3 : Hustoty požárního zatížení, rychlost rozvoje požáru a RHRf pro různé provozy (Belgie)

Occupancy	Fire Load 80% fractile	Fire Growth Rate	RHRf*
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

* "pro lokální požáry je uvažováno RHRf = 500kW/m² za minimální hodnotu pro všechny typy provozů"

Česká Republika

V národní příloze poskytnuté Českou Republikou nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu nebo hodnot faktorů zapojených do výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení oproti hodnotám uvedeným v EN 1991-1-2. Hodnoty, které mají být zavedeny pro Českou národní přílohu v softwaru OZone jsou ty uvedené v EN1991-1-2.

Chorvatsko

V národní příloze poskytnuté Chorvatskem nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu nebo hodnot faktorů zapojených do výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení oproti hodnotám uvedeným v EN 1991-1-2. Hodnoty, které mají být zavedeny pro Chorvatskou národní přílohu v softwaru OZone jsou ty uvedené v EN1991-1-2.

Estonsko

V národní příloze poskytnuté Estonskem nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu nebo hodnot faktorů zapojených do výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení oproti hodnotám uvedeným v EN 1991-1-2. Hodnoty, které mají být zavedeny pro Estonskou národní přílohu v softwaru OZone jsou ty uvedené v EN1991-1-2.

Francie

V národní příloze poskytnuté Francií nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu oproti EN1991-1-2 ale hodnoty faktorů zapojených do výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení jsou rozdílné.

Ve skutečnosti, všechny hodnoty faktorů berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti prostoru a riziko vzniku požáru vzhledem k typu obsazení, jakož i hodnoty pro součinitele beroucí v úvahu různé aktivní protipožární opatření, jsou uvažovány za jednotné. To znamená, že žádné snížení nebo zvýšení hustoty charakteristického požárního zatížení není uvažováno.

Avšak do Francouzské národní přílohy je z EN1991-1-2 uvedeno, že hustota požárního zatížení může být upravena a vzít v úvahu konkrétní preventivní opatření a ochrany proti požáru. V takovém případě musí být prokázáno, že konečná hodnota uvažovaná nezvyšuje pravděpodobnost kolapsu, ve srovnání s normální situací.

Níže jsou uvedeny hodnoty, které mají být zavedeny pro Francouzskou národní přílohu v software OZone. Změny oproti ustanovení EN1991-1-2 jsou zvýrazněny.

Tab. A- 4 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti požárního úseku a provozu (Francie)

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

Tab. A- 5 : Factory uvažující různé aktivní protipožární opatření (Francie)

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

Tab. A- 6 : Hustoty požárního zatížení, rychlost rozvoje požáru a RHRf pro různé provozy (Francie)

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

Německo

Postupy výpočtu, které jsou k dispozici v německé národní příloze z EN1991-1-2 se liší od přístupu EN. ES a DIN EN mají stejný pravděpodobnostní přístup, ale parametry, vyplývající z jejich výzkumných prací se liší.

Riziko vzniku požáru v DIN EN je dáno vzorcem:

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

kde:

P_1 : pravděpodobnost velkého požáru bez zásahu obyvatel dle kategorie objektu

P_2 : redukční faktor v závislosti na typu hasičského sboru a na době mezi poplachem a hasičským zásahem

P_3 : redukční faktor, je-li přítomna automatická detekce požáru (detekce kouře nebo tepla), automatické vyhlášení poplachu, sprinklerový systém

Bezpečnostní faktor v EN (aplikovaný na hustotu požárního zatížení) se vypočítá jako výsledek faktorů delta, zatímco v německé příloze musí být součinitele bezpečnosti (dva různé součinitele aplikované na RHR a hustotu požárního zatížení) výslovně vypočteny z pravděpodobnostní rovnice:

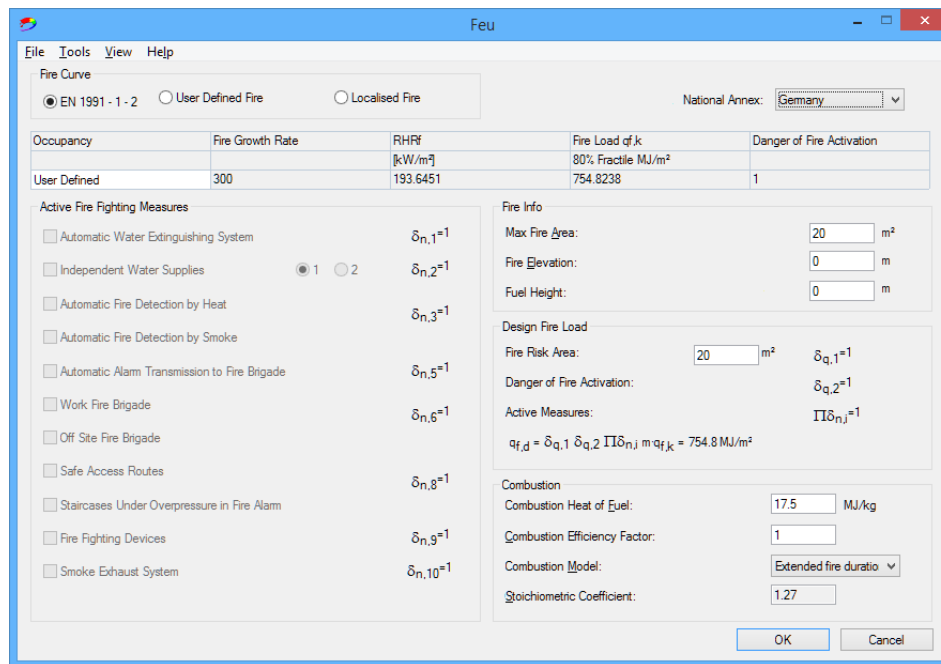
$$\gamma_{fi} = \frac{1 - V \cdot \sqrt{6} / \pi \cdot [0,5772 + \ln(-\ln(\Phi(\alpha \cdot \beta_{fi})))]}{1 - V \cdot \sqrt{6} / \pi \cdot [0,5772 + \ln(-\ln(0,9))]}$$

Dále je změněna tabulky A- 7, obsahující hodnoty hustot požárního zatížení pro různé provozy v budovách. Níže jsou uvedeny hodnoty, které mají být zavedeny pro německé národní přílohy v software OZone. Změny oproti ustanovení v EN1991-1-2 jsou zvýrazněny.

Tab. A- 7 : Hustoty požárního zatížení, rychlost rozvoje požáru a RHRf pro různé provozy (Německo)

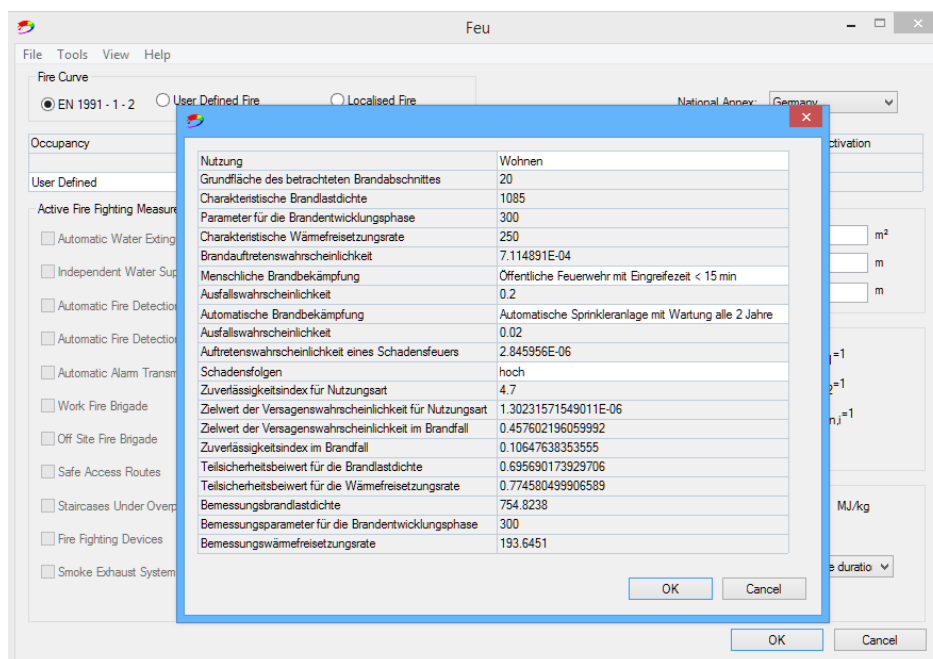
Occupancy	Fire Load 90% fractile	Fire Growth Rate	RHRf
Wohngebäude	1085	mittel	250
Burogebäude	584	mittel	250
Krankenhauss (Zimmer)	320	mittel	250
Hotel (Zimmer)	431	mittel	250
Bibliothek	2087	mittel	250 to 500
Schule	397	mittel	150
Verkaufsstätte	835	schnell	250
Theater, Kino	417	schnell	500

Praktický postup ve společné části softwaru OZone zahrnuje nejprve definici geometrie prostoru (rozměry, druh provozu, otvory, evakuační systémy,...). Rozdíl od jiných postupů je, že při výběru "Německo" v seznamu národních příloh v rozbalovacím seznamu, musí být definovány příslušné vstupní hodnoty.



Obruce A- 1 : Obecné parametry pro uplatňování německé národní přílohy

V hlavním okně "Fire Definition" rychlost rozvoje požáru, RHR_f a q_{fk} jsou vypočítány automaticky. Dále výběrem DIN EN jsou všechny tři součinitele, kterými se násobí q_{fk} z EN, automaticky nastaveny na 1.0.



Obruce A- 2 : Konkrétní parametry německé národní přílohy

OZone provádí výpočet obvyklým způsobem za účelem získání teplotní křivky pro použitý ve výpočtu.

Německo

Tab. A0 Hodnoty pro Německo

Nutzung	Brandlastdichte			Brandausbreitung	Parameter für Brandausbreitung
	Mittelwert	Standardabweichung	90% Fraktile		
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	Brandauftrittswahrscheinlichkeit				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 Eingriffszeit < 15 min	0.20
Öffentliche Feuerwehr mit Eingriffszeit > 20 min	0.50
Werkfeuerwehr mit Eingriffszeit < 10 min (vier Staffeln)	0.02
Werkfeuerwehr mit Eingriffszeit < 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 Eingriffszeit < 10 min (zwei Staffeln)			
Ausfallswahrscheinlichkeit	$p_2 =$	0.05		(Tabelle BB.4)
Automatische Brandbekämpfung	Automatische Sprinkleranlage in anderen Fällen			
Ausfallswahrscheinlichkeit	$p_3 =$	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	

Maďarsko

V národní příloze poskytnuté Maďarskem nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu nebo hodnot faktorů zapojených do výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení oproti hodnotám uvedeným v EN 1991-1-2. Hodnoty, které mají být zavedeny pro Maďarskou národní přílohu v softwaru OZone jsou ty uvedené v EN1991-1-2.

Itálie

V národní příloze poskytnuté Itálií jsou uvedeny některé změny v postupu výpočtu, stejně jako pro hodnoty různých faktorů zapojených do výpočtu hustoty požárního zatížení konstrukce oproti EN1991-1-2. Níže jsou uvedeny hodnoty, které mají být zavedeny pro Italskou národní přílohu v software OZone. Změny oproti ustanovení EN1991-1-2 jsou zvýrazněny.

Tab. A- 8 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti požárního úseku a provozu (Itálie)

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

Druhý faktore pro nebezpečí vzniku požáru je vypočítáván dle následujících zásad:

- 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
- 0,8 pro prostory, které mají nízké riziko vzniku požáru z hlediska pravděpodobnosti zapálení, rychlosti šíření plamene a možnosti zásahu hasičského sboru
- 1.0 pro prostory, které mají střední riziko vzniku požáru z hlediska pravděpodobnosti zapálení, rychlosti šíření plamene a možnosti zásahu hasičského sboru
- 1,2 pro prostory, které mají vysoké riziko vzniku požáru z hlediska pravděpodobnosti zapálení, rychlosti šíření plamene a možnosti zásahu hasičského sboru

Tab. A- 9 : Součinitele uvažující různé aktivní protipožární opatření (Itálie)

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 Obrhting Devices	1/0.9/0.8
Factor 10	Smoke Exhaust System	1/1

Lucembursko

V národní příloze poskytnuté Lucemburskem nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu nebo hodnot faktorů zapojených do výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení oproti hodnotám uvedeným v EN 1991-1-2. Hodnoty, které mají být zavedeny pro Lucemburskou národní přílohu v softwaru OZone jsou ty uvedené v EN1991-1-2.

Nizozemsko

V národní příloze poskytnuté Nizozemskem nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu oproti EN1991-1-2. Namísto použití faktoru delta pro výpočet charakteristické hustoty požárního zatížení je v holandské NA počítáno s globálním rizikovým faktorem. Rizikový faktor, který by měl být vypočten uživatelem, je závislý na velikosti prostoru, obsazenosti a aktivních protipožárních opatřeních. Tento faktor se aplikuje na křivky RHR né na charakteristickou hustotu požárního zatížení. Dle požadavku požární odolnosti se požární

zatížení navíc násobí doplňkovým koeficientem, který je 0,5 po dobu 30 minut; 1,0 pro 60; 1,5 pro 90; 2,0 pro 120 minut.

Tab. 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.

Tabulka A- 10, obsahuje hodnoty hustoty požárního zatížení pro různé provozy. Nižé jsou uvedeny hodnoty, které mají být zavedeny pro Italskou národní přílohu v software OZone. Změny oproti ustanovení EN1991-1-2 jsou zvýrazněny.

Tab. A- 10 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti požárního úseku a provozu (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

Portugalsko

V národní příloze poskytnuté Portugalskem nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu oproti EN1991-1-2., ale stejně jako v případě francouzské národní přílohy, hodnoty faktorů zapojených do výpočtu návrhové hustoty požárního zatížení jsou uvažovány jako jednotné.

Níže jsou uvedeny hodnoty, které mají být zavedeny pro Portugalskou národní přílohu v software OZone. Změny oproti ustanovení EN1991-1-2 jsou zvýrazněny.

Tab. A- 11 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti požárního úseku a provozu (Portugalsko)

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

Tab. A- 12 : Součinitele uvažující různá aktivní protipožární opatření (Portugalsko)

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

Rumunsko

V národní příloze poskytnuté Rumunskem nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu nebo hodnot faktorů zapojených do výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení oproti hodnotám uvedeným v EN 1991-1-2. Hodnoty, které mají být zavedeny pro Rumunskou národní přílohu v softwaru OZone jsou ty uvedené v EN1991-1-2.

Španělsko

V národní příloze poskytnuté Španělskem nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu oproti EN 1991-1-2.

Tabulka A- 13 popisy provozů v budovách jsou rozšířeny a jsou k dispozici různé hodnoty pro koeficienty nebezpečí vzniku požáru.

V tabulce A- 14 jsou zohledněny pouze součinitele, které se týkají automatického systému hašení, automatické detekce požáru (teplo/kouř), automatického vyhlášení poplachu a automatického přenosu poplachu do centrály hasičského sboru.

V tabulce A- 15 jsou upraveny některé hodnoty hustoty požárního zatížení.

Níže jsou uvedeny hodnoty, které mají být zavedeny pro Španělskou národní přílohu v software OZone. Změny oproti ustanovení EN1991-1-2 jsou zvýrazněny.

Tab. A- 13 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti požárního úseku a typu provozu (Španělsko)

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

Tab. A- 14 : Součinitele uvažující různá aktivní protipožární opatření (Španělsko)

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

Tab. A- 15 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k typu provozu (Španělsko)

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

Slovinsko

V národní příloze poskytnuté Slovinskem nejsou uvedeny žádné změny v postupu výpočtu nebo hodnot faktorů zapojených do výpočtu hustoty návrhového požárního zatížení oproti hodnotám uvedeným v EN 1991-1-2. Hodnoty, které mají být zavedeny pro Slovinskou národní přílohu v softwaru OZone jsou ty uvedené v EN1991-1-2.

Švédsko

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.

Žádné změny v postupu výpočtu z EN1991-1-2 nebyly poskytnuty do Švédské národní přílohy. Všechny hodnoty faktorů uvažujících riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti prostoru a k typu provozu, přičemž se zohlední různá aktivní protipožární opatření, jsou uvažovány jako jednotné. To znamená, že žádné snížení nebo zvýšení hustoty charakteristické hustoty požárního zatížení není uvažováno.

Níže jsou uvedeny hodnoty, které mají být zavedeny pro Švédskou národní přílohu v software OZone. Změny oproti ustanovení EN1991-1-2 jsou zvýrazněny.

Tab. A- 16 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti požárního úseku a typu provozu (Švédsko)

Compartment floor area A_f [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

Tab. A- 17 : Součinitele uvažující různá aktivní protipožární opatření (Švédsko)

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

Tab. A- 18 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k typu provozu (Švédsko)

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

Spojené království (UK)

Postup výpočtu uvedený v PD 6688-1-2 je stejný jako v EN1991-1-2. Je zaveden jiný parametr "fire growth rate parameter", ale to vede k výsledkům velmi blízkým těm získaným pomocí EN1991-1-2. Všechny hodnoty pro factory uvažují riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti prostoru a typu provozu, přičemž se zohlední různá aktivní protipožární opatření, která jsou uvažována jako jednotná, s výjimkou přítomnosti sprinklerů.

Níže jsou uvedeny hodnoty, které mají být zavedeny pro UK národní přílohu (PD 6688-1-2) v software OZone. Změny oproti ustanovení EN1991-1-2 jsou zvýrazněny.

Tab. A- 19 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti požárního úseku a typu provozu (UK)

Compartment floor area Af [m2]	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

Tab. A- 20 : Součinitele uvažující různá aktivní protipožární opatření (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

Tab. A- 21 : Součinitele, které berou v úvahu riziko vzniku požáru vzhledem k typu provozu (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)	-	-	-

Příloha E – LOKÁLNÍ POŽÁR postup

Postup výpočtu lokálního požáru v OZone je založen na práci výzkumného projektu RFSR-CT-2012-00023 LOCAFI - Temperature assessment of a vertical steel member subjected to LOCALised Fire.

Analytický model pro lokální požáry byl vyvinut v rámci projektu se dvěma úrovněmi vylepšení:

- Model založený na numerické integraci pro implementaci do pokročilých modelů jako SAFIR a Ansys "geometric model";
- Model založený na analytických vzorcích pro ruční použití nebo implementaci do základní technických nástrojů jako jsou tabulky Excelu - "simplified model".

V geometrických i zjednodušených modelech, kde dochází k tepelné výměně konvektivním tepelným tokem (profil zasahuje do ohně nebo je umístěn uvnitř horké vrstvy plynů) jsou zpracovány aplikací existujících rovnic, které jsou k dispozici v EN 1991-1-2. Vypočítané hlavní tepelné výměny zářením, představují oheň jako virtuální pevné plameny, které vyzařují do všech směrů. Prvním krokem tohoto výpočtu je společný pro geometrické a zjednodušené modely a spočívá v definování geometrie virtuálního pevného plamene představujícího lokální požár a rozložení teploty jako funkci času.

Tvar virtuálního pevného plamene představujícího tepelné působení lokálního požáru může být válcový nebo kuželový. Válcový tvar plamene je jednodušší, ale obvykle představuje méně přesně tepelný účinek vyvolaný požárem a vede k nadhodnocení radiační tepelného toku. V případě, že je délka plamene větší než úroveň stropu, válec nebo kužel musí být zkráceny a kruh okolo vělce nebo kuželu, který má větší průměr, představuje šíření plamene pod stropem.

Rozdíl mezi geometrickým a zjednodušeným modelem je metoda výpočtu použitá pro hodnocení radiačního tepelného toku vyměňovaného mezi virtuálním pevným plamenem a prvky konstrukce. Za účelem navržení metody výpočtu bez integrace povrchu (která obecně vyžaduje implementaci do řešitele) byl zjednodušený model implementovaný v OZone definován na základě konfiguračních faktorů. Pro jednoduché tvary, jako je válec nebo kruh, jsou k dispozici přímé vzorce za několika podmínek. Prostřednictvím nepatrných úprav virtuálního plamene jsou tyto podmínky splněny a výpočet radiačních tepelných toků lze vypočítat pomocí konceptu konfiguračního faktoru.

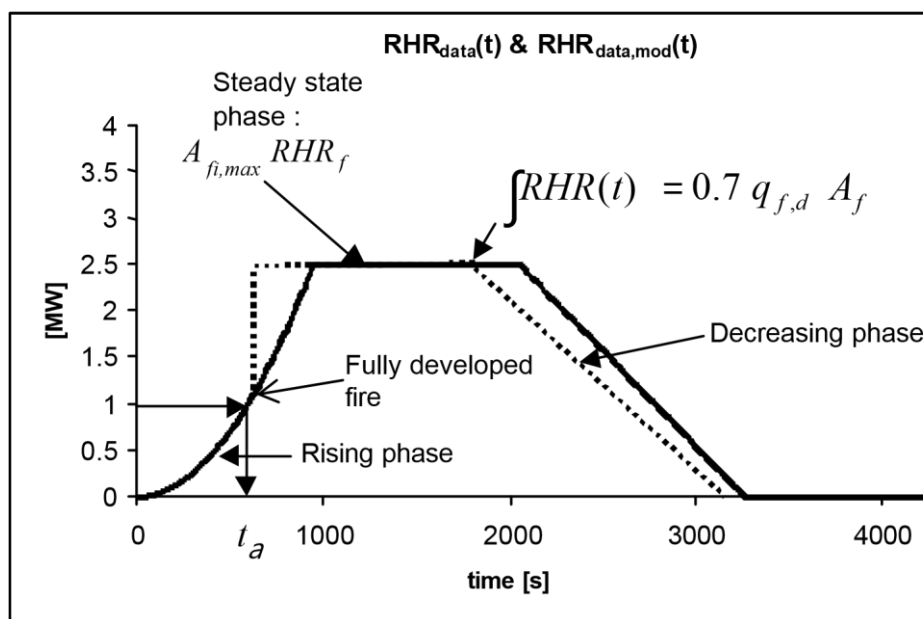
Implementace zjednodušeného modelu v softwaru OZone uvažuje kuželový tvar virtuálního plamene, protože bylo prokázáno, že tento tvar vede k přesnějším předpovědím tepelného toku. Tepelný tok se počítá odděleně pro čtyři plochy obvodu profile zjednodušeného na čtverec a průměrná hodnota těchto toků se aplikuje na celý čtvercový obvod ocelového průřezu. To znamená, že stínový efekt není zohledněn. Spojení mezi lokálním požárem a požárním úsekem umožňuje kombinovat vlivy radiačních tepelných toků z chladné zóny a konvekčních toků z horké zóny. Vstupní data části "Localised fire" vyžadují definování polohy, průměru a vývoje HRR v čase pro maximální počet 5 lokálních požárů. Výpočet teplot ocelového prvku pod vypočítanými tepelnými toky byl již dříve k dispozici a předpokládá se, že teplota je rovnoměrně rozložena po průřezu.

Podrobnější informace o zjednodušeném modelu lokálního požáru implementovaného v OZone jsou uvedeny v závěrečné zprávě výzkumného projektu RFSR-CT-2012-00023 LOCAFI Temperature assessment of a vertical steel member subjected to LOCALised Fire.

Příloha F – STRATEGIE ANALÝZI A KRITÉRIA PŘECHODU

Pokud je oheň modelován jednoduchou křivkou viz obr. F1 jsou rostoucí fáze zde reprezentovány křivkou t^2 , která dosáhne maxima v okamžiku, kdy bylo všechno palivo zapáleno. Pokud se spalování paliva vyskytne pouze šířením plamene, dosáhne se maxima bez modifikace počáteční křivky t^2 . Pokud teplota horní vrstvy plynů dosáhne při požáru dostatečně vysoké teploty (přibližně 500 °C až 600 °C), tepelný radiační tok mezi horkým plynem a nehořlavými/hořlavými materiály je tak vysoký, že se palivo může vznítit. V tomto okamžiku dochází k velmi rychlému nárůstu rychlosti uvolňování energie. Tento jev se nazývá prostorové vzplanutí. To se projevina HRR křivce, jak je naznačeno tečkovanou čarou na obr. F2. V okamžiku prostorového vzplanutí je křivka RHR ponechána a překročí maximální hodnotu rovnající se ploše požáru vynásobené hustotou rychlosti uvolňování tepla RHR_f .

Pokud plyny na styku s palivem dosáhnou teploty cca 300 °C, palivo je zapáleno a rychlost uvolňování tepla se zvyšuje, jako při prostorovém vzplanutí.



Obr. F1. Modifikace křivky RHR(t) v případě flashover efektu

Kritéria přechodu z 2ZM do 1ZM nebo modifikace modelu zdroje požáru jsou následující:

- **Kritérium 1 (C1) :** $T_U > T_{FL}$
Vysoká teplota plynů v horní horké vrstvě, složené z produktů spalování a zachyceného vzduchu, vede ke vzplanutí celého prostoru – flashover efekt. Veškeré palivo v prostoru je zapáleno radiačním tokem z horní horké vrstvy. Teplota vzplanutí (T_{FL}) je nastavena na 500 °C.
- **Kritérium 2 (C2) :** $Z_s < Z_q$ and $T_Z > T_{ignition}$
Pokud mají plyny, které jsou v kontaktu s palivem, vyšší teplotu než je teplota vznícení paliva ($T_{ignition}$), šíření požáru na veškeré hořlavé části prostoru nastane díky tepelnému konvekčnímu toku. Plyny v kontaktu (při teplotě T_Z) mohou patřit buď do spodní vrstvy dvou-zónového modelu, nebo horní vrstvy (pokud pokles úrovně rozhraní (Z_s) vede ke spalování v kouřové vrstvě, Z_q je maximální výška hořlavého materiálu) nebo jedno-zónového modelu. Předpokládá se, že $T_{ignition}$ je rovna 300 °C.

- Kritérium 3 (C3) : $Z_s < 0.2 H$
Výška rozhraní klesá a vede k velmi malé tloušťce chladnější vrstvy, která není reprezentativní pro dvou-zónový model.
- Kritérium 4 (C4) : $A_{fi} > 0.25 A_f$
Plocha požáru je ve srovnání s podlahovou plochou prostoru příliš velká, proto je nutné zvážit, zda požár zůstává uzavřen.

Kritéria 1 nebo 2 vedou ke změnám v uvolňování tepla. Zůstává-li požární zatížení lokalizováno (Kritérium 4 není splněno), simulace bude i nadále používat 2ZM a pokud je požární zatížení rovnoměrně distribuováno bude zohledněn 1ZM. Pokud je splněno některé z kritérií C3 nebo C4, kód se změní na 1ZM, ale křivka RHR se nemění, s výjimkou případů, kdy jsou současně splněna kritéria C1 nebo C2. Tabulky shrnují možnosti kombinace čtyř kritéria.

Tab. F1

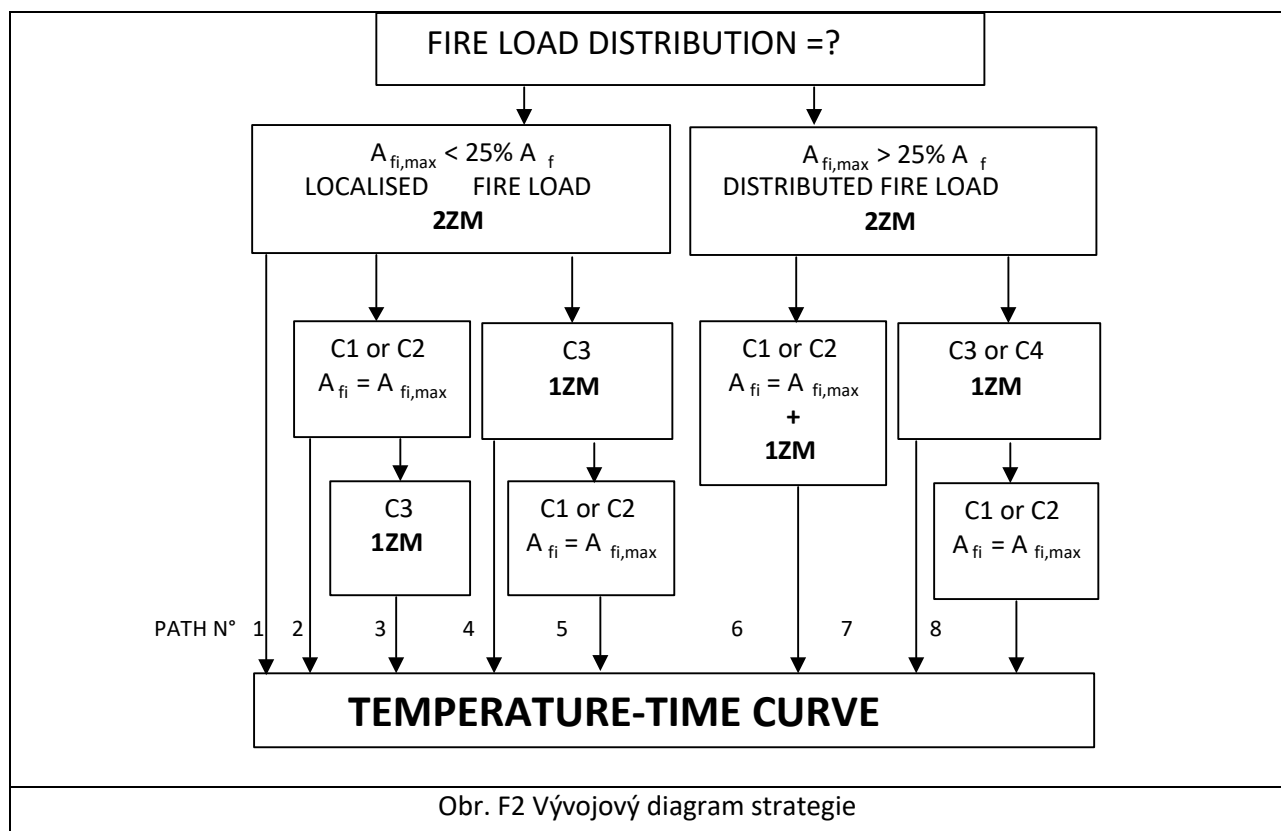
CRITERIA	EFFECT	
	LOCALISED q_f	DISTRIBUTED q_f
C1 : $T_U > 500^\circ\text{C}$	$A_{fi} = A_{fi,max}$	1ZM + $A_{fi} = A_{fi,max}$
C2 : $Z_s < H_q$ and $T_U > T_{ignition}$ (2ZM) or, $Z_s > H_q$ and $T_L > T_{ignition}$ (2ZM) or, $T > T_{ignition}$ (1ZM)	$A_{fi} = A_{fi,max}$	1ZM + $A_{fi} = A_{fi,max}$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

Je-li požární zatížení omezeno, lze použít pět různých cest:

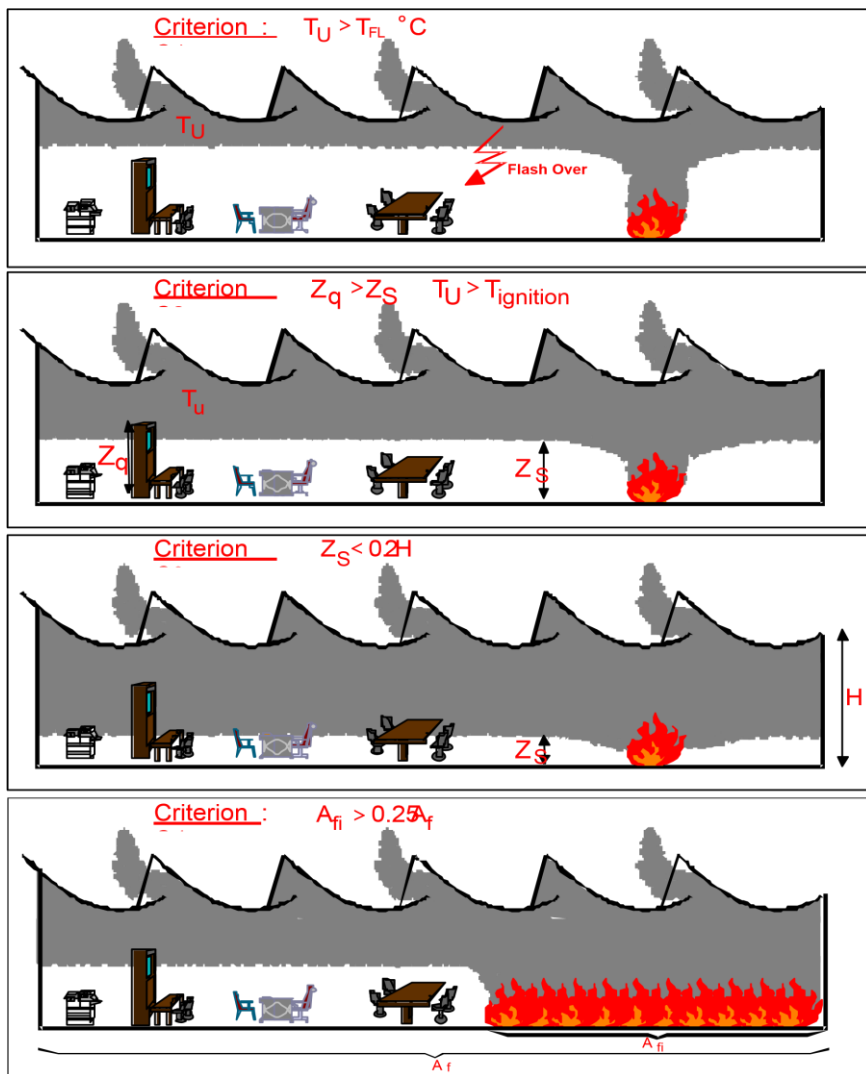
- PATH 1 - Neexistuje žádné kritérium, model zůstane 2ZM a křivka RHR nebude změněna až do konce požáru.
- PATH 2 – jako první je překročeno Kritérium C1 nebo C2, což vede k úpravě křivky RHR. Kritérium C3 nenastane, model zůstává 2ZM.
- PATH 3 - jako první je překročeno Kritérium C1 nebo C2, což vede k úpravě křivky RHR. Kritérium C3 nastane, model je přepnut z 2ZM na 1ZM.
- PATH 4 – jako první nastane Kritérium C3, model je přepnut z 2ZM na 1ZM. Kritéria C1 a C2 nejsou dosažena, takže křivka RHR není modifikována.
- PATH 5 - jako první nastane Kritérium C3, model je přepnut z 2ZM na 1ZM. Kritéria C1 a C2 jsou dosažena, takže křivka RHR je modifikována.

Pokud je požární zatížení rovnoměrně rozloženo, jsou možné tři různé cesty:

- PATH 6 - Kritérium C1 nebo C2 je dosaženo, což vede k úpravě křivky RHR a současnému přepnutí 2ZM na 1ZM.
- PATH 7 - jako první je překročeno Kritérium C3 nebo C4, dochází k přepnutí 2ZM na 1ZM. Kritérium C1 a C2 nejsou dosažena, křivka RHR není modifikována.
- PATH 8 - jako první je překročeno Kritérium C3 nebo C4, dochází k přepnutí 2ZM na 1ZM. Kritérium C1 a C2 jsou následně dosažena a křivka RHR je modifikována.



Obr. F2 Vývojový diagram strategie



Obr F3 Čtyři kritéria pro přepnutí ze dvou-zónového na jedno-zónový model a modifikace uvolněného tepelného toku

Literatura

- 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. Pinteau, 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.

OZone V3 Uživatelský manuál
byl přeložen v rámci projektu LOCAFI+.



OZone V3
Uživatelský manuál

Do češtiny přeložili Lišková N., Cábová K., Wald F.
Zpracovala Fakulta stavební ČVUT
První vydání, 2018



OZone V3 Uživatelský manuál
byl přeložen v rámci projektu LOCAFI+.



OZone V3
Uživatelský manuál

Do češtiny přeložili Lišková N., Cábová K., Wald F.
Zpracovala Fakulta stavební ČVUT
První vydání, 2018

