NAVRHOVANIE STĹPOV VYSTAVENÝCH LOKÁLNEMU POŽIARU

SCI
Steel Knowledge

SCI (The Steel Construction Institute) je popredným nezávislým poskytovateľom odborných znalostí a šíriteľom najlepších postupov v sektore oceľových konštrukcií. Spolupracujeme s klientmi, členmi a odborníkmi z oblasti priemyslu, aby sme pomohli budovať podniky a poskytovali konkurenčnú výhodu prostredníctvom komerčného využitia našich znalostí. Sme odhodlaní ponúkať a podporovať trvalo udržateľné a ekologicky šetrné riešenia.

Naša služba pokrýva nasledujúce oblasti:

Členstvo
Individuálne a firemné členstvo

Rady
Poradenská služba pre členov

Informácie
Publikácie
Vzdelávanie
Podujatia a školenia

Poradenstvo
Vývoj
Vývoj produktov
Technická podpora
Udržateľnosť

Posudky
SCI Posudky

Špecifikácia
Internetové stránky
Inžiniersky softvér

© 2018 SCI. Všetky práva vyhradené.

Číslo publikácie: **SCI P423**

ISBN

Vydavateľ:

SCI, Silwood Park, Ascot,
Berkshire. SL5 7QN UK

T: +44 (0)1344 636525
F: +44 (0)1344 636570
E: reception@steel-sci.com

www.steel-sci.com

Kontakt pre nahlásenie nedostatkov:
publications@steel-sci.com

Fotografia na prednom obale:
Test lokálneho požiaru vykonaného na University of Ulster.

Okrem primeraného použitia na účely výskumu, súkromného štúdia, kritiky alebo recenzie, ako to umožňuje Zákon o dizajnových autorských právach a patentoch z roku 1988, táto publikácia nesmie byť reprodukovaná, uložená alebo rozširovaná v akejkoľvek forme alebo akýmkoľvek spôsobom bez predchádzajúceho písomného súhlasu vydavateľov alebo, v prípade reprografickej reprodukcie, iba v súlade s podmienkami licencií vydaných Licenčnou agentúrou Spojeného kráľovstva pre autorské práva, alebo v súlade s podmienkami licencií vydaných príslušnou Organizáciou pre práva na reprodukciu mimo územia Spojeného kráľovstva. Otázky týkajúce sa reprodukcie mimo podmienok uvedených v tomto dokumente je potrebné zaslať vydavateľom, SCI.

Aj keď z našej strany bola venovaná veľká pozornosť, aby sme podľa nášho najlepšieho vedomia zabezpečili, že všetky údaje a informácie obsiahnuté v tomto dokumente sú presné do tej miery, do akej sa vzťahujú buď na fakty, na akceptovanú prax, alebo na názory v čase publikovania, SCI, autori a recenzenti nepreberajú žiadnu zodpovednosť za akékoľvek chyby alebo nesprávne interpretácie takýchto údajov a/alebo informácií, alebo za akúkoľvek stratu alebo škodu vyplývajúce z ich používania, resp. súvisiace s ich používaním.

Publikácie poskytované členom inštitútu so zľavou nie sú určené na ich ďalší predaj.

Údaje programu Cataloguing-in-Publication: katalógový záznam tejto knihy je k dispozícii v British Library.

Autorstvo fotografií:
Pokiaľ nie je uvedené inak, fotografie poskytli členovia konzorcia LOCAFI.

Táto príručka pre navrhovanie bola preložená do slovenského jazyka pracovnou skupinou Technickej univerzity v Košiciach pre projekt LOCAFIplus, Mohamad Al Ali a kol.

PREDHOVOR

Táto publikácia bola vypracovaná ako súčasť projektu Európskej únie "Výskumný fond pre uhlie a oceľ (RFCS)": *Určenie teploty vertikálneho prvku vystaveného účinkom lokálneho požiaru – Rozšírenie výsledkov*, akronym projektu: LOCAFI-plus, zmluva č. 754072.

Organizácie, ktoré sa podieľali na projekte LOCAFIplus:

Arcelormittal Belval & Differdange SA
Luxembursko, koordinátor

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique
Francúzsko

Universitatea Politehnica Timisoara
Rumunsko

Universite de Liège
Belgicko

University Of Ulster
Spojené kráľovstvo

Universita Degli Studi Di Trento
Taliansko

České Vysoké Učení Technické V Praze
Česká republika

Stichting Bouwen met Staal
Holandsko

Universidade de Aveiro
Portugalsko

Bauforumstahl ev
Nemecko

Tallinna Tehnikaulikool
Estónsko

Univerza V Ljubljani
Slovinsko

Instytut Techniki Budowlanej
Poľsko

Universitat Politecnica de Valencia
Španielsko

Technická Univerzita V Košiciach
Slovensko

Staalinfocentrum – Infosteel
Belgicko

Miskolci Egyetem
Maďarsko

Tampere University of Technology
Fínsko

The Steel Construction Institute
Spojené kráľovstvo

RISE Swedish Research Institute
Švédsko

K príprave tejto publikácie významne prispeli:

- Phil Francis, SCI
- Nancy Baddoo, SCI
- Francois Hanus, ArcelorMittal
- Christophe Thauvoye, CTICM

Obrysové grafy boli vyvinuté v CTICM.

Táto publikácia vznikla za finančnej podpory Výskumného fondu pre uhlie a oceľ (RFCS).

Obsah

Číslo strany

PREDHOVOR ii

1 ÚVOD 1
1.1 Rozsah tejto príručky pre navrhovanie 1
1.2 Eurokódy 1
1.3 Národné predpisy o charakteristikami podloženom požiarno-bezpečnostnom inžinierstve 2

2 ÚVOD DO POŽIARNO-BEZPEČNOSTNÉHO INŽINIERSTVA 3
2.1 Návrh proti kolapsu a zabezpečenie protipožiarnej ochrany 3
2.2 Navrhovanie podľa Eurokódov 4

3 LOKÁLNE POŽIARE 8
3.1 Existujúci výskum a implementácia v Eurokóde 8
3.2 Skúšky a kalibrácia 9

4 NOVÝ MODEL POŽIARNEHO ZAŤAŽENIA STĹPOV PRI LOKÁLNYCH POŽIAROCH 18
4.1 Princípy a oblasť aplikácií 18
4.2 Návrhové nástroje pre modelovanie tepelných tokov lokálneho požiaru 20
4.3 Stanovenie teploty segmentu oceľového stĺpa 25

5 NAVRHOVANIE STĹPA 29
5.1 Overovanie 29
5.2 Zaťaženie 29
5.3 Odolnosť 30
5.4 Výpočet odolnosti pomocou MKP 33

6 LITERATÚRA 34

Príloha A MODEL PRE VÝPOČET POŽIARNEHO ZAŤAŽENIA STĹPOV VYSTAVENÝCH LOKÁLNÝM POŽIAROM 36
A.1 Prehľad 36
A.2 Stĺp mimo oblasti požiaru 36
A.3 Stĺp vnútri plochy požiaru 46
A.4 Celkový tepelný tok prijatý segmentom stĺpa 47

Príloha B APLIKÁCIA PRE STĹP MIMO OBLASTI POŽIARU 48

Príloha C OBRYSOVÉ GRAFY 57

Príloha D PRÍKLADY NAVRHOVANIA 82
D.1 Priemyselná budova 82
D.2 Administratívna budova 85
D.3 Zastrešené parkovisko 93

1 ÚVOD

1.1 Rozsah tejto príručky pre navrhovanie

Táto príručka pre navrhovanie prezentuje metódu pre určovanie teploty stĺpa vystaveného lokálnemu požiaru. Predložený postup je zosúladený s Európskymi normami - Eurokódmi. V tejto príručke sú uvedené aj usmernenia na určovanie odolnosti oceľového stĺpa pri zvýšených teplotách. Použitie tohto charakteristikami podloženého postupu pre posúdenie požiarnej odolnosti konštrukcie by malo viesť k zníženiu nákladov na protipožiarnu ochranu, v porovnaní s nákladmi vychádzajúcimi z normatívneho postupu.

Príručka zahŕňa nasledujúci obsah:

- Všeobecný úvod do požiarneho inžinierstva, vrátane výberu scenárov modelovania a výpočtových metód.
- Špecifické usmernenie pre návrh na účinky lokálneho požiaru, vrátane súhrnu výskumných prác, vykonaných v rámci európskeho výskumného projektu LOCAFI.
- Nový návrhový model pre lokálne požiare.
- Popis návrhových nástrojov na modelovanie lokálnych požiarov, zoradených od zjednodušenej analýzy pomocou obrysových grafov až po sofistikované modely konečných prvkov.
- Zhrnutie modelu pre stanovenie návrhovej odolnosti oceľových stĺpov vystavených požiaru podľa Eurokódu 3, ktorý môžu byť použitý s modelom teplotnej analýzy na stanovenie odolnosti stĺpa.
- Príklady navrhovania, prezentujúce použitie modelu v skutočných návrhových scenároch.

1.2 Eurokódy

Eurokódy sú sériou desiatich Európskych noriem, EN 1990 - EN 1999, ktoré poskytujú všeobecný postup na navrhovanie budov, iných inžinierskych stavieb a stavebných produktov. Posudzovania požiarnej odolnosti oceľového alebo spriahnutého oceľobetónového prvku sa týkajú nasledujúce Eurokódy:

- STN EN 1990 Eurokód: Základy navrhovania konštrukcií[1]
- STN EN 1991-1-2 Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženia konštrukcií namáhaných požiarom[2]
- STN EN 1993-1-2 Eurokód 3: Navrhovanie oceľových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru[3]
- STN EN 1994-1-2 Eurokód 4: Navrhovanie spriahnutých oceľobetónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru[4]

Každý z uvedených Eurokódov je doplnený národnou prílohou, ktorá v prípade potreby:

- špecifikuje hodnotu súčiniteľov, tzv. národne stanovené parametre,
- určuje, ktorá metóda sa má použiť pre návrh,
- stanovuje, či sa môže použiť informatívna príloha.

Okrem toho, môže národná príloha poskytnúť odkazy na publikácie, ktoré obsahujú neprotirečivé doplnkové informácie (NCCI), ktoré môžu pomôcť projektantovi.

Usmernenia, uvedené v národnej prílohe sa vzťahujú na konštrukcie, ktoré majú byť postavené v danej krajine. Je pravdepodobné, že národné prílohy sa medzi krajinami v rámci Európy líšia.

1.3 Národné predpisy o charakteristikami podloženom požiarno-bezpečnostnom inžinierstve

Pochopenie výhod a obmedzení charakteristikami podloženého postupu v požiarno-bezpečnostnom inžinierstve sa v posledných rokoch zlepšilo. Každopádne v Európe existujú značné rozdiely v stavebných predpisoch týkajúcich sa požiarnej bezpečnosti. Z tohto dôvodu je nevyhnutné, aby projektant poznal príslušnú legislatívu v krajine, v ktorej bude konštrukcia umiestnená, a aby bol v kontakte s príslušným kontrolným a schvaľovacím orgánom v príslušnom štádiu navrhovania.

Ako pomoc sú na stránke https://research.bauforumstahl.de/ k dispozícii pokyny týkajúce sa krokov potrebných na získanie súhlasu pre použitie metód charakteristikami podloženého postupu v požiarnom inžinierstve v rôznych krajinách Európy.

Priamy odkaz na dokumenty LOCAFIplus:
https://research.bauforumstahl.de/en/fire-safety/locafi-temperature-assessment-of-a-vertical-member-subjected-to-localised-fire/

2 ÚVOD DO POŽIARNO-BEZPEČNOSTNÉHO INŽINIERSTVA

Požiar predstavuje vážne ohrozenie ľudského života. Je dôležité, aby budovy boli navrhnuté a konštruované tak, aby v prípade požiaru bola zabezpečená ich stabilita na dostatočne dlhú dobu, ktorá by umožňovala evakuáciu užívateľov týchto budov, ako aj začatie protipožiarnych opatrení. Úlohou požiarneho inžinierstva je použitie vedeckých princípov pri návrhu konštrukcií za účelom zaistenia bezpečnosti užívateľov budov vo všetkých možných scenároch požiaru.

Požiarne inžinierstvo zahŕňa širokú škálu problémov, vrátane:

- minimalizovania rizika vzniku požiaru, a to v prvom rade,
- obmedzenia požiaru v jeho bode vzplanutia, t.j. zastavenie šírenia požiaru do iných častí budovy alebo iných konštrukcií,
- zabezpečenia protipožiarnych opatrení, napr. samočinných hasiacich zariadení,
- zabezpečenia protipožiarnej ochrany konštrukcie tak, aby sa zabránilo jej kolapsu,
- pochopenia ľudskej reakcie na oheň, napr. reakcia na poplachy, schopnosť nájsť bezpečné únikové cesty, atď.

Zabezpečenie ochranných opatrení na minimalizáciu vplyvu požiaru môže tvoriť významnú časť nákladov na konštrukciu. Nadhodnotenie opatrení protipožiarnej ochrany môže viesť k nehospodárnym návrhom konštrukcií. Je potrebné nájsť vyvážené riešenie, ktoré poskytuje dostatočnú ochranu proti návrhovým požiarnym scenárom pri minimálnych nákladoch klienta.

Viac informácií o požiarnom inžinierstve poskytujú nasledujúce odporúčané publikácie [5,6,7,8].

Táto príručka poskytuje metódu na odhad nárastu teploty v stĺpe vystavenom lokálnemu požiaru. Akonáhle je teplota známa, môže byť stanovená odolnosť stĺpa. Ako je vysvetlené v časti 2.2, tento charakteristikami podložený postup v požiarnom inžinierstve môže viesť k významnému zníženiu požiadaviek na protipožiarnu ochranu, teda aj nákladov, v porovnaní s nákladmi vychádzajúcich z normatívneho postupu.

2.1 Návrh proti kolapsu a zabezpečenie protipožiarnej ochrany

Zabránenie kolapsu je jedným z kľúčových cieľov postupov požiarneho inžinierstva. Kolaps predstavuje náhlu a katastrofickú stratu stability konštrukcie, ktorá má väčšinou za následok smrť osôb prítomných v budove, či už užívateľov budovy alebo príslušníkov záchranných zložiek.

Vo všeobecnosti je kolapsu budovy zabránené pomocou ochrany konštrukčných prvkov. Protipožiarna ochrana má zvyčajne jednu z dvoch foriem: nereaktívna (napr. dosky a nástreky) a reaktívna (napeňujúce nátery). Dosková protipožiarna ochrana poskytuje izoláciu pred ohňom použitím vysoko izolačných cementových dosiek s vysokou hustotou a nízkou tepelnou vodivosťou. Ochrana na báze cementu môže byť aplikovaná aj striekaním.

Napeňujúce nátery sú náterové materiály, ktoré sú pasívne pri nízkych teplotách, ale poskytujú izoláciu ako výsledok komplikovanej chemickej reakcie prebiehajúcej pri teplotách väčšinou 200 až 250 °C. Vlastnosti ocele pri týchto teplotách nebudú ovplyvnené. Nátery v dôsledku tejto reakcie napeňujú a vytvoria expandovanú vrstvu s nízkou vodivosťou.

Izolačný účinok dosky, nástrekového alebo náterového systému je úmerný hrúbke aplikovaného materiálu. Na základe toho je použitie väčšieho množstva ochranného materiálu ako je požadované konzervatívne, avšak zvyšuje náklady. Niekedy je ekonomickejšie navrhnúť väčší nechránený prvok ako menší chránený, pretože náklady na protipožiarnu ochranu budú eliminované.

V mnohých prípadoch sa dá dokázať, že je konštrukcia schopná zostať funkčná bez zabezpečenia protipožiarnej ochrany.

Voľba hrúbky materiálu protipožiarnej ochrany vyžaduje zohľadnenie nasledujúcich faktorov:

(a) závažnosť požiaru a predpokladaný nárast teploty v prvku,

(b) vlastnosti materiálu protipožiarnej ochrany,

(c) teplota, ktorú chránený prvok môže dosiahnuť pred kolapsom, nazývaná "kritická teplota".

Pravidlá na určenie odolnosti konštrukcie pri požiari sú uvedené v Eurokódoch (Kapitola 5).

2.2 Navrhovanie podľa Eurokódov

Kompletný návrh na účinky požiaru vyžaduje použitie kombinácie viacerých Eurokódov. STN EN 1991-1-2, článok 2.1 stanovuje štyri hlavné kroky pri navrhovaní konštrukcií na účinky požiaru:

- výber rozhodujúcich návrhových požiarnych scenárov,
- stanovenie zodpovedajúcich návrhových požiarov,
- výpočet vývoja teploty v rámci konštrukčných prvkov,
- výpočet odolnosti konštrukcie vystavenej požiaru, použitím normy STN EN 1993-1-2 pre oceľové konštrukcie.

2.2.1 Návrhové požiarne scenáre

Postup výberu navrhového požiarneho scenára opisuje článok 2.2 normy STN EN 1991-1-2.

Normatívny postup v požiarnom inžinierstve je často spojený s použitím normalizovanej teplotnej krivky. Je to jedna z troch nominálnych teplotných kriviek daných Eurokódom a je určená na modelovanie nárastu teploty pri plne rozvinutom priestorovom požiari (Časť 2.2.2 tohto dokumentu).

Väčšina konštrukcií administratívnych budov má primerane štandardnú veľkosť a tvar a normatívny postup v požiarnom inžinierstve je považovaný za dostačujúci. Hrúbka protipožiarnej ochrany sa stanovuje za predpokladu pohltenia požiarom podľa normalizovanej teplotnej krivky a závisí od rozmerov prierezu a požiadaviek na požiarnu odolnosť.

Pre určité typy konštrukcií, ako sú letiská a iné veľké otvorené budovy však nie je vždy vhodné použiť normalizovanú teplotnú krivku. Návrh založený na vlastnostiach skutočného požiaru prinesie presnejšie a zvyčajne hospodárnejšie

riešenia. Tento prístup je známy ako charakteristikami podložený postup požiarneho inžinierstva a vyžaduje pochopenie jednak horľavých materiálov, ktoré môžu zapríčiniť požiar, ako aj vplyvu veľkosti a podmienok odvetrania úseku, v ktorom je oheň obsiahnutý. Výber vhodného návrhového požiarneho scenára a vhodných metód modelovania sú rozhodujúce pre zabezpečenie primeraného návrhu.

2.2.2 Priestorový požiar

Plne rozvinutý priestorový požiar nastane, keď sa súčasne zapáli všetok horľavý materiál v miestnosti, čo nastane v okamihu objemového vzplanutia. Je možné dôvodne predpokladať, že teplota bude rovnomerná po celom požiarnom úseku. Obrázok 2.1 znázorňuje príklad priestorového požiaru.

Zdroj: České Vysoké Učení Technické V Praze

Obrázok 2.1 Priestorový požiar

2.2.2.1 Normalizovaná teplotná krivka

Zmenu teploty v čase vnútri požiarneho úseku možno opísať pomocou normalizovanej teplotnej krivky uvedenej v STN EN 1991-1-2. Je to iba referenčná krivka a nie je určená na to, aby predstavovala konkrétny požiarny scenár. V mnohých prípadoch bolo zistené, že krivka je veľmi konzervatívna v porovnaní s zaznamenanými údajmi. Tento postup nezohľadňuje znižovanie teploty v dôsledku spotrebovania horľavého materiálu.

Normalizovaná teplotná krivka je vyjadrená ako:

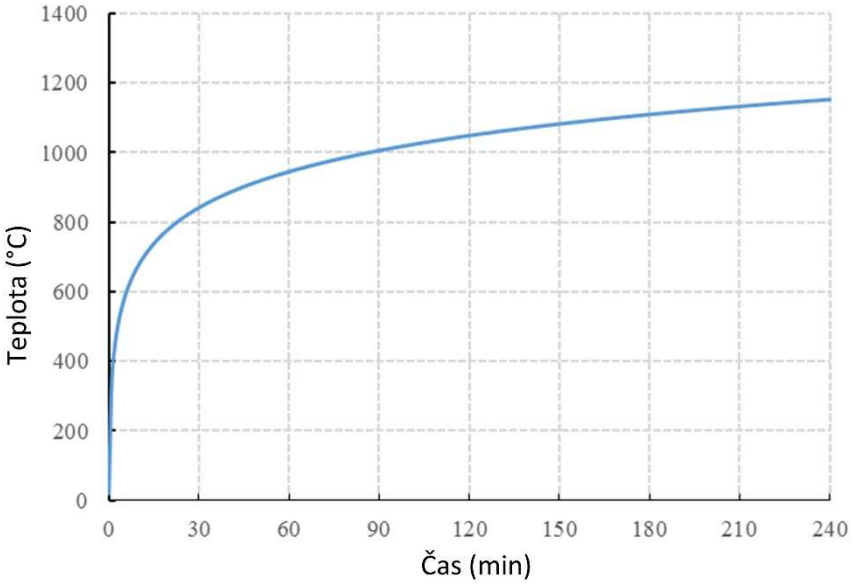
$$\theta_g = 20 + 345\log(8t + 1) \qquad (2.1)$$

kde:

θ_g je teplota plynu v požiarnom úseku,

t je čas meraný v minútach.

Obrázok 2.2 ukazuje závislosť teploty a času, definovaný normalizovanou teplotnou krivkou.



Obrázok 2.2 Normalizovaná teplotná krivka

2.2.2.2 Iné postupy navrhovania na účinky požiaru

Použitie normalizovanej teplotnej krivky by malo viesť k zabezpečeniu protipožiarnej ochrany, ktorá je ekonomicky prijateľná pre väčšinu bežných konštrukcií. Niektoré návrhy však možno vyžadujú podrobnejšiu a realistickejšiu analýzu, ktorá môže mať za následok zníženie návrhových teplôt.

Závažnosť priestorového požiaru je ovplyvnená niekoľkými faktormi, medzi ktoré patrí:

- druh horľavého materiálu, jeho hustota a rozloženie,
- veľkosť a geometria požiarneho úseku,
- podmienky vetrania a prúdenia vzduchu.

Teplotná krivka pre požiarny úsek môže byť alternatívne určená z modelov prirodzeného požiaru, ako je parametrický teplotný model (uvedený v STN EN 1991-1-2, Príloha A), zónový model (uvedený v STN EN 1991-1-2, Príloha D), alebo numerický fluidný dynamický (CFD) model. Ďalšie podrobnosti sú v časti 2.2.4. Tieto modely umožňujú vypočítať teplotu plynu v požiarnom úseku ako funkciu geometrie úseku, podmienok vetrania, tepelných vlastností materiálov v ohraničujúcich konštrukciách požiarneho úseku, miery rastu požiaru a hustoty požiarneho zaťaženia. Treba poznamenať, že použitie prílohy A normy EN 1991-1-2 nie je povolené v národných prílohách viacerých krajín.

2.2.3 Lokálne (nie priestorové) požiare

Scenár priestorového požiaru predpokladá, že teplota v požiarnom úseku stúpa rovnomerne. Toto sa dá považovať za realistické tam, kde požiarne úseky sú celkovo malé, a kde požiarne zaťaženie je rovnomerne rozložené. Avšak, ak sa veľkosť požiarneho úseku zväčšuje, alebo ak je požiarne záťaženie umiestnené na relatívne malej ploche, tento predpoklad sa stáva čoraz konzervatívnejším. V týchto prípadoch postup, ktorý berie do úvahy variácie teploty s polohou, môže poskytovať výrazne menej konzervatívne výsledky, i keď analýza potrebná na vytvorenie teplotného profilu je podstatne zložitejšia.

Kapitola 3 je zameraná na analýzu pomocou modelov lokálnych požiarov.

2.2.4 Numerická fluidná dynamika (CFD)

Požiar predstavuje zložitú kombináciu fyzikálnych javov, čo znamená, že nie je možné vždy použiť jednoduché postupy na presné určenie teplôt spojených s návrhovým požiarnym scenárom. V takýchto prípadoch, sofistikované softvérové modely založené na CFD môžu projektantovi poskytnúť najlepšie dostupné znázornenie požiaru. CFD možno použiť na modelovanie všetkých možných požiarnych scenárov, vrátane plne rozvinutých požiarov, lokálnych požiarov, požiarov mimo budov, atď.

Reprodukcia fyzikálnych javov potrebných na presné modelovanie požiaru je mimoriadne náročná. Najmä turbulencia nemôže byť vypočítaná s úplnou presnosťou v akomkoľvek meradle. Namiesto toho sa na aproximáciu celkových účinkov všeobecne používa niekoľko poloempirických modelov. Škála potenciálnych modelov je veľká a je nutné starostlivo zvážiť voľbu najvhodnejšieho modelu pre danú situáciu. Z uvedených dôvodov, CFD spravidla používajú iba odborníci.

Užitočný úvod do CFD metód na modelovanie požiarov možno nájsť v *Guide to the advanced fire safety engineering of structures*[9].

3 LOKÁLNE POŽIARE

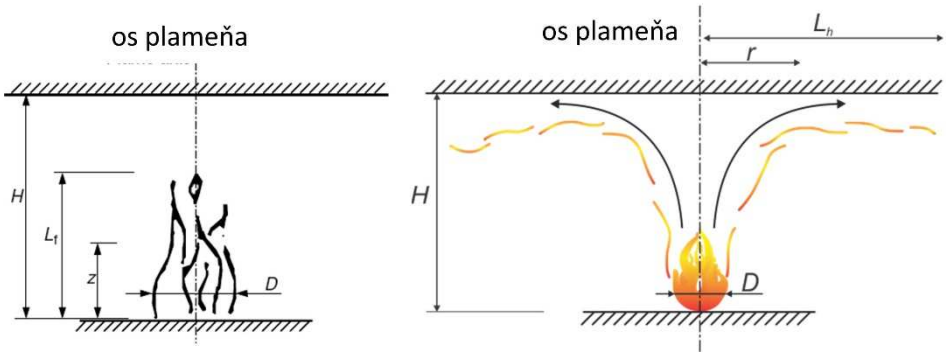
Ako bolo popísané v kapitole 2, normatívne pravidlá pre požiarny návrh zvyčajne predpokladajú plne rozvinutý požiar v požiarnom úseku pri rovnomernej teplote v celom priestore. Tento predpoklad sa pri veľkých požiarnych úsekoch stáva obzvlášť nevýhodným. Charakteristikami podložený postup požiarneho inžinierstva umožňuje užívateľovi brať do úvahy skutočné správanie požiarov, ktoré môžu často pôsobiť na značne malej ploche. V takýchto prípadoch je nevyhnutné pochopiť, ako sa správajú lokálne požiare a akým spôsobom ovplyvňujú ostatné oblasti v požiarnom úseku.

Obrázok 3.1 Laboratórna skúška stĺpa vystaveného lokálnemu požiaru

3.1 Existujúci výskum a implementácia v Eurokóde

Charakteristikami podložený postup požiarneho inžinierstva je zahrnutý v Prílohe C normy STN EN 1991-1-2 [2]. Táto príloha poskytuje spôsob výpočtu dĺžky plameňa a teplôt v oblaku horiacich plynov lokálneho požiaru. Je to založené na prácach Heskestad[10] a Hasemi[11], ktoré poskytujú vzájomný vzťah medzi veľkosťou požiaru (definovanou rýchlosťou uvoľňovania tepla a priemerom plameňa) a ďalšími parametrami, vrátane výšky plameňa a vnútornej teploty požiaru.

Požiare, ktoré zasahujú strop majú tendenciu sa šíriť v radiálnom smere. Model to zohľadňuje pri výpočte rozloženia teploty v požiarnom úseku. Obrázok 3.2 zobrazuje obe situácie.



Obrázok 3.2 Kľúčové parametre, ktoré popisujú lokálny požiar (vľavo: plameň nezasahuje strop, vpravo: plameň zasahuje strop)

Príloha C normy STN EN 1991-1-2 neposkytuje metódu na stanovenie teploty alebo tepelného toku prijatého prvkom pri danej vzdialenosti od zdroja požiaru. Okrem toho, metóda v prílohe C normy STN EN 1991-1-2 konzervatívnym spôsobom stanovuje hodnotu emisivity plameňa rovnú 1, čo dáva konzervatívne výsledky v porovnaní s experimentmi. V rámci projektu LOCAFI, realizovaného pod Výskumným fondom Európskej únie pre uhlie a oceľ (RFCS), sa uskutočnil výskum s cieľom zlepšiť metodiku uvedenú v prílohe C pre lokálne požiare. Prostredníctvom realizovanej série experimentov a následných numerických a analytických prác boli navrhnuté vylepšenia tejto metodiky, ktoré riešia uvedené nedostatky.

Zlepšený model je uvedený v kapitole 4 a detailne popísaný v kapitole Príloha A tohto dokumentu. Skúšky, ktoré sa vykonali na kalibráciu a overovanie tohto modelu sú prezentované v časti 3.2.

3.2 Skúšky a kalibrácia

Táto časť opisuje experimentálne skúšky, ktoré boli vykonané s cieľom vyvinúť vylepšený tepelný model lokálnych požiarov. Všetky podrobnosti možno nájsť vo výstupoch projektu LOCAFI, ako je uvedené v texte.

3.2.1 Skúšky uskutočnené na University of Liège

Prvá skupina skúšok, relizovaná ako súčasť projektu LOKAFI, bola vykonaná na University of Liège. Bolo realizovaných 24 samostatných skúšok v nádržiach s palivom. Podrobné informácie o skúškach možno nájsť vo výstupoch projektu LOCAFI, v časti Deliverable 6[12].

Použili sa dva druhy horľavých kvapalín (n-heptán a nafta), pričom testy boli vykonané tak, aby bola dosiahnutá rovnaká rýchlosť uvoľňovania tepla (RHR).

Boli vykonané dva druhy skúšok, so stĺpom i bez stĺpa v strede nádrže s palivom. Prítomnosť sĺpa zrejme nemala významný vplyv na rýchlosť uvoľňovania tepla (RHR).

Obrázok 3.3 Spôsob dopĺňania paliva do skúšobnej nádrže s priemerom 2 m (zdroj: LOCAFI Deliverable 15[13])

Horľavá kvapalina bola umiestnená v nádržiach s piatimi rôznymi priemermi, od 600 mm do 2200 mm. Každý priemer bol testovaný s n-heptánom i s naftou v identických konfiguráciách. Na rozdiel od skúšok popísaných v bode 3.2.2, palivo bolo dodávané do nádrže ustálenou rýchlosťou, čo je vhodnejšie, ako začať skúšku s plným objemom paliva v nádrži. Tento kontrolný mechanizmus umožnil, aby RHR zostala konštantná na úrovni cca 500 kW/m².

Pre testy v Liège sa RHR vypočítala pomocou rovnice (3.1), kde hustota paliva (kg/m^3) ρ is 680 (heptán), alebo 840 (nafta), a entalpia spaľovania (kJ/kg) ΔH_c je 44600 (heptán) alebo 43200 (nafta)[20].

$$HRR = \chi \, q \, \rho \, \Delta H_c \qquad (3.1)$$

Tabuľka 3.1 sumarizuje údaje z uskutočnených skúšok.

Tabuľka 3.1 Zhrnutie skúšok vykonaných na University of Liège

Číslo skúšky	Priemer (m)	Palivo	Nameraná RHR (kW)
1	0.6	nafta	145
2	0.6	heptán	140
3	0.6	nafta	121
4	0.6	heptán	120
5	1.0	nafta	397
6	1.0	heptán	393
7	1.0	nafta	373
8	1.0	heptán	369
9	1.4	nafta	769
10	1.4	heptán	771
11	1.4	nafta	750
12	1.4	heptán	747
13	1.4	nafta	769
14	1.4	heptán	771
15	1.8	nafta	1272
16	1.8	heptán	1272
17	1.8	nafta	1229
18	1.8	heptán	1228
19	2.2	nafta	19011
20	2.2	heptán	1899
21	2.2	nafta	1858
22	2.2	heptán	1858
23	drevo		
24	drevo		

3.2.2 Skúšky vykonané vo FireSERT (University of Ulster)

Vo FireSERT (University of Ulster) bolo celkovo vykonaných 52 skúšok, ktoré zahŕňali širokú škálu požiarov rôznych rozmerov a umiestnení. Skúšky boli rozdelené do 2 sérií, a to skúšky požiarov bez stropu (Tabuľka 3.2) a so stropom (Tabuľka 3.3).

Podrobné informácie o skúškach možno nájsť vo výstupoch projektu LOCAFI, časť Deliverable 7 [14].

3.2.2.1 Skúšky požiarov bez stropu

V rámci prvej fázy bolo vykonaných 31 skúšok (Tabuľka 3.2). Vzdialenosť medzi stĺpom a zdrojom ohňa sa menila, aby sa skúmali rôzne scenáre umiestnenia a požiarneho zaťaženia. Palivové zaťaženie sa líšilo podľa typu paliva (nafta, kerozín a drevo), celkovej veľkosti požiaru (počet a veľkosť nádrží) a polohy. Použilo sa tiež niekoľko rôznych typov oceľových stĺpov, aby bolo možné merať vplyvy zmien tvaru alebo veľkosti prierezu oceľových stĺpov na teploty a na tepelné toky. Tiež bola meraná rýchlosť uvoľňovania tepla (RHR) pre rôzne palivá na vylepšenie a rozšírenie prílohy C normy EN 1991-1-2.

Bol zaznamenaný rozdiel medzi nameranými hodnotami uvoľňovania tepla a očakávaným uvoľňovaním tepla pri kombinácii veľkosti požiaru a testovanej horľaviny. Pre účely numerického modelovania bola aplikovaná korekcia

nameraných údajov, ako je opísané v LOCAFI dokumentoch, časti Deliverable 8-9[16]. Tabuľka 3.2 a Tabuľka 3.3 uvádza pôvodné namerané, ako aj upravené hodnoty.

Tabuľka 3.2 Zhrnutie skúšok vykonaných vo FireSERT bez stropu

Číslo skúšky	Palivo	Priemer a počet nádrží	RHR (kW)	
			Nameraná hodnota	Upravená hodnota
Column O2 - O1	kerozín	0,7 m	783	503
Column O2 - O2	kerozín	0,7 m	728	515
Column O2 - O3	nafta	0,7 m	640	468
Column O2 - O4	nafta	0,7 m	543	442
Column O2 - O5	nafta	0,7 m	485	388
Column O2 - O6	nafta	0,7 m	640	441
Column O2 - O7	kerozín	0,7 m	658	493
Column O2 - O8	kerozín	1,6 m	4378	3492
Column O2 - O9	kerozín	0,7 m × 4	3388	2665
Column O2 - O10	nafta	1,6 m	3617	2725
Column O2 - O11	nafta	0,7 m × 4	2601	2015
Column O2 - O12	kerozín	1,6 m	3713	2648
Column O2 - O13	nafta & kerozín	0,7 m × 2	2899	2428
Column O2 - O14	drevo	0,5 m hrana	1944	1433
Column I2 - I1	kerozín	0,7 m	737	529
Column I2 - I2	kerozín	0,7 m	663	484
Column I2 - I3	kerozín	0,7 m	692	559
Column I2 - I4	kerozín	0,7 m	806	637
Column I2 - I5	nafta	0,7 m	688	578
Column I2 - I6	nafta	0,7 m	658	513
Column I2 - I7	nafta	0,7 m	547	466
Column I2 - I8	nafta	0,7 m	676	484
Column I2 - I9	kerozín	1,6 m	4762	3750
Column I2 - I10	kerozín	1,6 m	3894	3200
Column I2 - I11	kerozín	0,7 m × 3	2255	1873
Column I2 - I12	kerozín	0,7 m × 2	1439	1192
Column I3 - I13	kerozín	0,7 m	736	570
Column I3 - I14	kerozín	0,7 m	708	525
Column I3 - I15	kerozín	0,7 m	617	520
Column I3 - I16	kerozín	0,7 m × 2	1335	1114
Column H2 - H1	kerozín	0,7 m	641	438
Column H2 - H2	kerozín	0,7 m	610	514
Column H2 - H3	kerozín	0,7 m	628	458
Column H2 - H4	kerozín	0,7 m	630	484
Column H2 - H5	kerozín	0,7 m × 2	1425	1106
Column H2 - H6	kerozín	0,7 m × 3	2402	1771
Column H2 - H7	kerozín	1,6 m	3828	2955

Obrázok 3.4 zobrazuje dve skúšky. Na fotografii vľavo sú znázornené nádrže používané na kvapalné palivo, ktoré obmedzujú priemer ohňa.

Obrázok 3.4 Zostava požiarnej skúšky vo FireSERT (vľavo: nádrže obsahujúce tekuté palivo, vpravo: drevo)

3.2.2.2 Požiarne skúšky so stropom

Ďalších 21 skúšok bolo vykonaných v rámci druhej fázy. Rovnako ako v prvej fáze bola veľkosť požiaru a jeho poloha v rámci požiarneho úseku rôzna. Popis tejto série skúšok sumarizuje Tabuľka 3.3.

Tabuľka 3.3 Zhrnutie skúšok vykonaných vo FireSERT so stropom

Číslo skúšky	Palivo	Priemer a počet nádrží	RHR (kW)	
			Nameraná hodnota	Upravená hodnota
Ceiling - O21	kerozín	0,7 m	739	563
Ceiling - O22	kerozín	0,7 m	759	575
Ceiling - O23	kerozín	0,7 m	814	511
Ceiling - O24	kerozín	0,7 m	763	607
Ceiling - O25	kerozín	0,7 m	476	512
Ceiling - O26	kerozín	1,6 m	3653	2885
Ceiling - O27	nafta	0,7 m	515	496
Ceiling - O28	nafta	0,7 m	397	468
Ceiling - O29	nafta	0,7 m	633	490
Ceiling - O30	nafta	0,7 m	614	472
Ceiling - O31	kerozín	0,7 m × 2	1420	1074
Ceiling - O32	nafta	0,7 m × 2	1185	952
Ceiling - O33	drevo	0,5 m hrana	440	295
Ceiling - O34	drevo	0,5 m hrana	400	273
Ceiling - O35	drevo	0,5 m hrana × 2	702	666
Ceiling - O36	drevo	1 × 1 × 0,5 m	1410	1870
Ceiling - O37	kerozín	0,7 m × 4	3215	2506
Ceiling - O38	drevo	1 × 1 × 0,5 m	1788	2253
Ceiling - O39	nafta	1,6 m	-	-
Ceiling - O40	kerozín	0,7 m	-	-
Ceiling - O41	drevo	1 × 1 × 0,5 m	-	-

Obrázok 3.5 ukazuje plameň zo skúšky ‘Ceiling - O38’, na ktorom je účinok plameňa na strop jasne viditeľný.

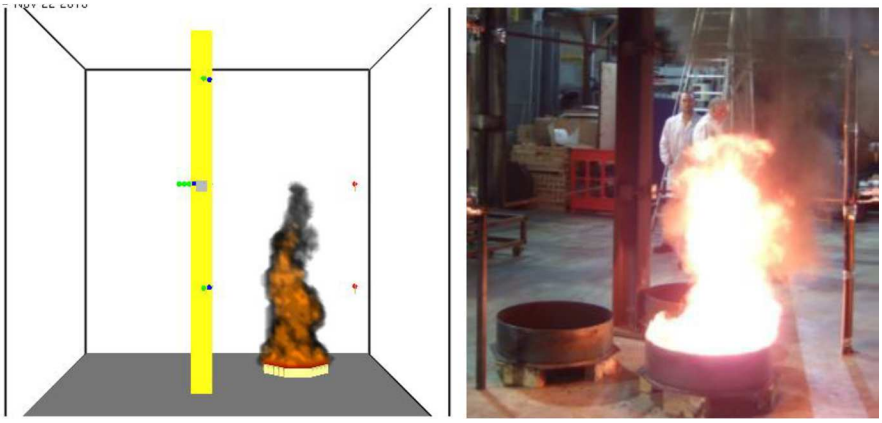
Obrázok 3.5 Požiar zasahujúci strop

3.2.3 Numerické modelovanie

Na podporu výsledkov skúšok sa uskutočnila obsiahla numerická štúdia. Hlavným cieľom numerickej analýzy bola extrapolácia experimentálnej databázy pre situácie mimo rozsahu testov, vrátane požiarov so zväčšeným priemerom, ktoré by boli nebezpečné pre experimentálne skúšanie.

Pri numerických prácach bol použitý softvér “Fire Dynamics Simulator – FDS“ [15], ktorý simuluje prestup tepla z požiaru na základe numerickej fluidnej dynamiky (CFD). Obrázok 3.6 porovnáva fotografiu skutočného plameňa z experimentu s predpokladaným plameňom použitím softvéru FDS.

Požiar je dynamický a premenlivý jav, ktorý je veľmi ťažké predvídať výpočtom. Preto FDS vyžaduje množstvo vstupných parametrov, z ktorých mnohé závisia od konkrétnych okolností týkajúcich sa danej skúšky. Parametre modelu zahŕňajú účinnosť spaľovania, výdatnosť sadzí, podiel radiačneho úbytku, model turbulencie, parametre turbulencie a počet radiačných uhlov. Najvýznamnejšie vstupné parametre sú popísané v nasledujúcich kapitolách.



Obrázok 3.6 Porovnanie tvaru plameňa simulovaného pomocou FDS a odfotografovaného počas požiarnej skúšky Column I2 - I11 vo FireSERT [16]

3.2.3.1 Model turbulencie

Správna reprodukcia turbulencie (chaotické zmeny tlaku a rýchlosti plynu) je nesmierne dôležitou súčasťou väčšiny problémov CFD. Pri požiari má turbulencia v priebehu času tendenciu viesť k zmenám výšky a polohy plameňa. Reprodukcia fyzikálnych procesov spojených s turbulenciou je v súčasnej dobe mimo možností akéhokoľvek výpočtového modelu. Namiesto toho, programy ako FDS využívajú globálne aproximačné algoritmy, z ktorých každý môže mať rôzne výhody a nevýhody v rôznych situáciách v závislosti od okrajových podmienok daného problému. FDS 5 používa relatívne starý, ale dobre zavedený "Smagorinsky" model, zatiaľ čo FDS 6 umožňuje výber množstva ďalších modelov turbulencie, vrátane dynamického modelu "Smagorinsky", modelu "Vreman" a modelu "Deardoff"[17], ktorý je vybraný ako predvolený.

Na preskúmanie rozdielov v teplotách získaných pri použití rôznych modelov bolo vykonaných množstvo parametrických štúdií. Štúdie tiež skúmali vplyv zmeny parametrov, ktoré riadia správanie v rámci každého z algoritmov, z ktorých pozostáva model. Záverom štúdie bolo, že model "Constant Smagorinsky" dával najlepšiu zhodu s výsledkami experimentov pri uvažovaní Smagorinského konštanty rovnej 0,1.

Projektanti, ktorí chcú využiť CFD riešenia, by si mali uvedomiť, že voľba modelu turbulencie môže významne ovplyvniť numerické výsledky.

3.2.3.2 Podiel radiácie

Radiačná (sálavá) zložka predstavuje časť energie uvoľnenej z požiaru ako tepelné žiarenie, kým ďalšia časť sa uvoľní konvekciou (prúdením). Ako je vysvetlené v časti 13.1.1 Užívateľskej príručky FDS[15], skutočný podiel sálania je funkciou teploty plameňa a chemického zloženia, pričom žiadna z týchto hodnôt nemôže byť programom vypočítaná dostatočne podrobne tak, aby bol výsledok presný. Namiesto toho program používa globálnu kalibrovanú hodnotu.

FDS používa predvolenú hodnotu 0,35; t.j. 35% tepla je radiačné a 65% konvekčné. Ďalšie hodnoty podielu radiácie boli tiež testované, čo viedlo k rozdielnej rovnováhe medzi konvekčným a radiačným teplom. Najlepšia zhoda sa dosiahla použitím predvolenej hodnoty.

3.2.3.3 Bočný vietor

Numerické simulácie sú zvyčajne založené na predstave dokonale pokojného požiarneho úseku, čo znamená že vzduch stúpa vertikálne nahor a plamene majú

tendenciu byť v zvislej polohe. V reálnych podmienkach je tento predpoklad zriedka pravdivý, pričom i najmenší pohyb vzduchu často spôsobuje nakláňanie plameňa. Mnoho zo skúšok, opísaných v kapitolách 3.2.1 a 3.2.2, ukázalo významné nakláňanie plameňa; príklad je znázornený na Obrázok 3.7.

Obrázok 3.7 Skúška O36 – nakláňanie plameňa

Aj keď to nebolo systematicky merané počas skúšok, nakláňanie plameňa bolo jasne viditeľné. Zahrnutie vetra bolo preto podstatné na dosiahnutie vysokej miery presnosti pri kalibrácii modelu.

3.2.4 Kľúčové zistenia

Skúšky realizované v rámci projektu LOCAFI poskytujú veľké množstvo údajov o konfiguráciách, ktoré v súčasnej dobe nie sú zahrnuté v prílohe C normy EN 1991-1-2.

Skúšky University of Liège boli zamerané na konfigurácie, v ktorých je stĺp pohltený ohňom. Bol skúmaný vplyv prítomnosti stĺpa na výšku a teplotu plameňa pri rôznych úrovniach, pričom bolo preukázané, že prítomnosť stĺpa spôsobuje vyšší plameň. Každopádne, výška a teplota plameňa pozdĺž vertikálnej osi, predpovedané normou EN 1991-1-2, zostávajú na strane bezpečnej, či už s alebo bez stĺpa v oblastiach plameňa (zóna spaľovania) a v oblastiach s plynnými splodinami (zóna bez spaľovania).

Skúšky University of Ulster sa zameriavali na konfigurácie, v ktorých sú stĺpy umiestnené mimo ohňa. Tieto skúšky preukázali, že výška a teplota plameňa pozdĺž vertikálnej osi zdroja ohňa, predpovedané normou EN 1991-1-2, boli na strane bezpečnej. Okrem toho tieto skúšky poskytli veľké množstvo údajov na kalibráciu metódy na predpovedanie tepelného toku prijímaného stĺpom umiestneným mimo požiaru. Skúšky vykonávané so stropom a bez stropu ukázali, že vietor má silný

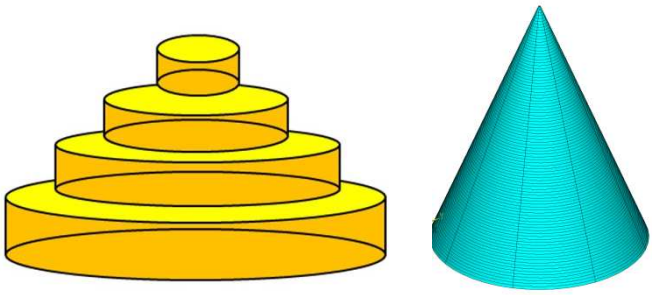
vplyv na teploty a na tepelné toky namerané v blízkosti zdroja ohňa, zatiaľ čo tepelný tok prijímaný ďaleko od ohňa nebol výrazne ovplyvnený vetrom.

4 NOVÝ MODEL POŽIARNEHO ZAŤAŽENIA STĹPOV PRI LOKÁLNYCH POŽIAROCH

4.1 Princípy a oblasť aplikácií

Nový model pre lokálne požiare bol vyvinutý na základe poznatkov z experimentálneho programu popísaného v časti 3. Nový model bol overený v nadväznosti na merané tepelné toky z experimentálneho programu, pričom sa zistilo, že model vo všetkých prípadoch poskytuje prijateľne konzervatívne výsledky.

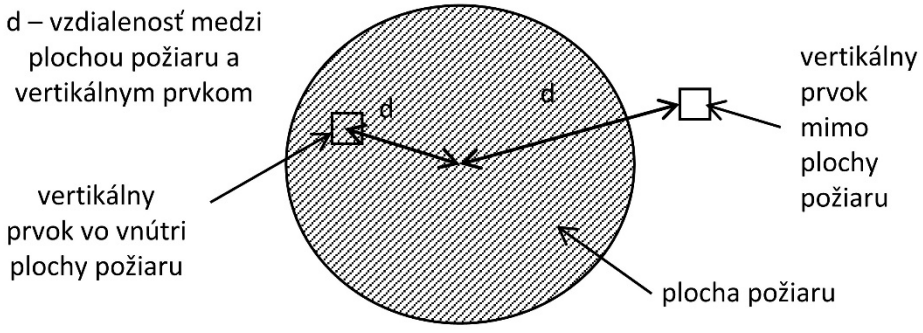
Kľúčovou koncepciou je nahradenie ohňa virtuálnym plným plameňom, ktorý sa skladá z valcov a prstencov alebo v prípade pokročilého modelovania z hladkých kóniockých tvarov (Obrázok 4.1).



Obrázok 4.1 Modelovanie lokálneho požiaru pomocou cylindrických alebo kónických tvarov

Radiačný tok z virtuálneho plného plameňa je možné vypočítať na ľubovoľnom mieste v priestore použitím štandardných techník modelovania radiačneho prenosu tepla. Akonáhle je tok známy, teplota oceľového stĺpa môže byť určená v akejkoľvek polohe v požiarnom úseku.

Ak je stĺp vnútri plameňa, teplota sa prevažne riadi konvekčným prenosom tepla. V prípade, že stĺp je mimo plameňa, teplota sa riadi hlavne radiačným prenosom tepla (Obrázok 4.2).

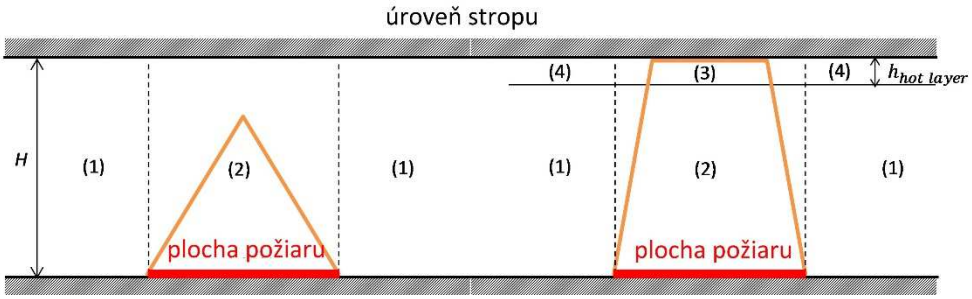


Obrázok 4.2 Ploha požiaru vzhľadom k stĺpu

Model predpokladá, že tvar ohňa na zemi je kruhový a je určený pre lokálne požiare, ktoré nepresahujú priemer 10 m a RHR 50 MW.

Úroveň tepelného toku prijímaného stĺpom závisí od toho, v ktorej z nasledujúcich štyroch zón sa nachádza (Obrázok 4.3):

1) mimo požiaru,
2) vnútri požiaru,
3) vnútri požiaru v horúcej (hornej) vrstve,
4) mimo požiaru v horúcej (hornej) vrstve,



Obrázok 4.3 Zóny pre modelovanie vplyvu lokálneho požiaru

Pred projektom LOCAFI bolo k dispozícii viacero modelov pre zóny 2, 3 a 4, ale pre zónu 1 nebol k dispozícii žiadny model.

Nový model, ktorý je podrobne popísaný v kapitole Príloha A tohto dokumentu, pokrýva všetky situácie s osobitným dôrazom na zónu 1. Časť A.2 popisuje model pre stĺpy mimo oblasti požiaru, t.j. zóna 1 a zóna 4. Časť A.3 popisuje model pre stĺpy v oblasti požiaru, teda zóny 2 a 3.

Väčšina požiarov je kužeľovitého tvaru. Avšak, stred kužeľa sa môže pohybovať v závislosti od vetra. Z tohto dôvodu, zóny 2 a 3 sú aproximované ako valce s okrajmi zrovnanými s okrajom požiaru.

Zóny 3 a 4 existujú len v prípade, že oheň zasahuje strop. V tomto prípade, odporúčaná hodnota pre výšku zón 3 a 4 je H/10. Táto výška sa ale môže úpraviť (viď Príloha A).

Metóda pozostáva z do dvoch krokov, a to z výpočtu dopadajúceho tepelného toku prijímaného segmentom stĺpa a následne z výpočtu teploty segmentu.

Poznámka pre čitateľa:

V tomto dokumente sa jasne rozlišuje medzi dopadajúcim tokom (ekvivalentom impaktného toku) a absorbovaným tokom.

Príspevok čistého radiačného toku (W/m^2) je daný

$$\dot{q}_{net,rad} = \dot{q}_{abs,rad} - \dot{q}_{emi,rad}$$

kde $q_{abs.rad}$ je absorbovaný radiačný tepelný tok (W/m^2) a $q_{emi,rad}$ je radiačný tepelný tok (W/m^2) vyžarovaný povrchom. Absorbovaný a emitovaný radiačný tepelný tok je možné definovať nasledovne:

$$\dot{q}_{net,rad} = \alpha_s \dot{q}_{inc,rad} - \varepsilon_s \sigma \left(\theta_s + 273\right)^4$$

kde α_s je absorptivita, ktorá sa pre Kirchhoffov zákon rovná emisivite povrchu ε_s, $q_{inc.rad}$ je dopadajúce žiarenie (radiácia) (W/m^2), θ_s (°C) je teplota povrchu a σ je Stefan-Boltzmannova konštanta (W/K^{4}m^2).

Absorbovaný radiačný tepelný tok povrchom je teda rovný

$$\dot{q}_{abs,rad} = \varepsilon_s \dot{q}_{inc,rad}$$

pričom dopadajúci radiačný tepelný tok je možné vyjadriť ako:

$$\dot{q}_{inc,rad} = \sum_i \sigma \varepsilon_{f.i} \phi_i \left(\theta_{f.i} + 273\right)^4$$

kde $\varepsilon_{f.i}$ je emisivita i-teho zdroja, φ_i je polohový faktor i-teho zdroja a $\theta_{f.i}$ je teplota (°C) i-teho zdroja.

4.2 Návrhové nástroje pre modelovanie tepelných tokov lokálneho požiaru

Analytický model, ktorý opisuje tepelné správanie oceľových stĺpov pri lokálnom požiari, je pomerne zložitý a nie je vhodný pre použitie v praxi. Táto časť opisuje štyri návrhové nástroje, ktoré implementujú model v Príloha A tohto dokumentu.

4.2.1 Obrysové grafy

4.2.1.1 Úvod

Táto časť popisuje rýchlu metódu pre výpočet tepelných tokov na základe obrysových grafov. Grafy boli generované pomocou modelu opísaného v kapitole Príloha A, a umožňujú používateľovi vypočítať dopadajúci tepelný tok v potrebnom mieste bez nutnosti vykonávať podrobné výpočty. Absorbovaný tepelný tok sa získa násobením dopadajúceho toku emisivitou.

Tieto obrysové grafy znázorňujú tepelný tok v definovaných vzdialenostiach od požiaru (popísaných priemerom a RHR) vo vertikálnom a horizontálnom smere.

Tepelné toky pre zónu 2 sú tiež uvedené v grafe a sú vypočítané v súlade s modelom podľa Heskestad (ako je opísané v časti A.3). V takom prípade obrysový graf poskytuje hodntou absorbovaného toku.

Obrysové grafy pre viacero ďalších prípadov sa nachádzajú v časti Príloha C.

4.2.1.2 Použitie obrysových grafov pri navrhovaní

Aby bolo možné použiť obrysový graf, projektant musí zjednodušiť návrhový požiarny scenár nasledovne:

Krok a) tvar ohňa je reprezentovaný ekvivalentnou kruhovou oblasťou,

Krok b) stĺp je modelovaný ako ekvivalentný obdĺžnikový profil (Príloha G normy STN EN 1991-1-2[2]),

Krok c) stĺp je otočený tak, že strana obdĺžnika je kolmá na požiar.

Krok a)

Ak je hlavný horľavý materiál, ktorý zapríčinil lokálny požiar nie je kruhového tvaru, vtedy by mal byť namodelovaný ako kruh s priemerom, ktorý dáva na zemi rovnakú plochu ako je plocha požiaru, v súlade s rovnicou (**4**.1):

$$D_{fire} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad \text{m} \qquad (\mathbf{4}.1)$$

kde:

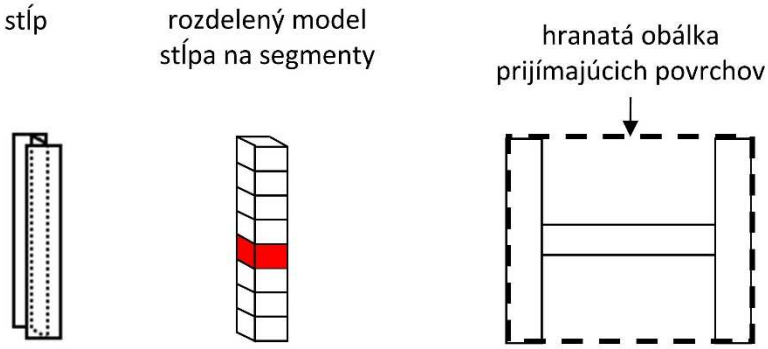
D_{fire} ekvivalentný priemer (m),

S plocha lokálneho požiaru (m²).

Pri zložitých tvaroch alebo tvaroch s pomerom strán (dĺžka / šírka) nad 2 sa odporúča, aby bola oblasť požiaru rozdelená na menšie požiare, ktoré možno ľahšie aproximovať ako okrúhle plochy. Toky z viacerých požiarov môžu byť pridané spolu, ako je opísané v časti A.4.

Krok b)

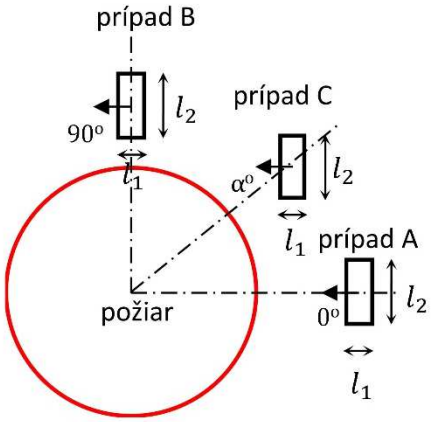
Obdĺžnikový obal by mal byť nakreslený okolo prierezu stĺpa, bez ohľadu na jeho pôvodný prierez (Obrázok 4.4). Tento prístup je v súlade s predpokladmi uvedenými v prílohe G normy STN EN 1991-1-2. Zjednodušenie geometrie prierezu odstraňuje nutnosť zvážiť zložité javy, ako je tieňový efekt (keď časť prierezu "zatieni" dopadajúce žiarenie na iné časti).



Obrázok 4.4 Modelovanie stĺpa H-prirezu a podrobné modelovanie segmetu stĺpa

Krok c)

Orientácia je definovaná vzhľadom na priamku, ktorá spája stĺp so stredovou líniou zdroja požiaru (Obrázok 4.5).



Obrázok 4.5 Možná orientácia stĺpa

V prípade, keď neexistuje obrysový graf s presnými vlastnosťami ekvivalentného požiaru, má byť zvolený obrysový graf s vyšším RHR a priemerom, čo vedie ku konzervatívnemu výsledku. Výsledky je možné získať aj interpoláciou.

Akonáhle boli hodnoty toku odčítané z obrysového grafu, priemerný dopadajúci radiačný tepelný tok prijímaný prierezom môže byť vypočítaný pomocou rovnice (**4**.2). Hodnoty sú pomerne určené vzhľadom k šírkam jednotlivých povrchov.

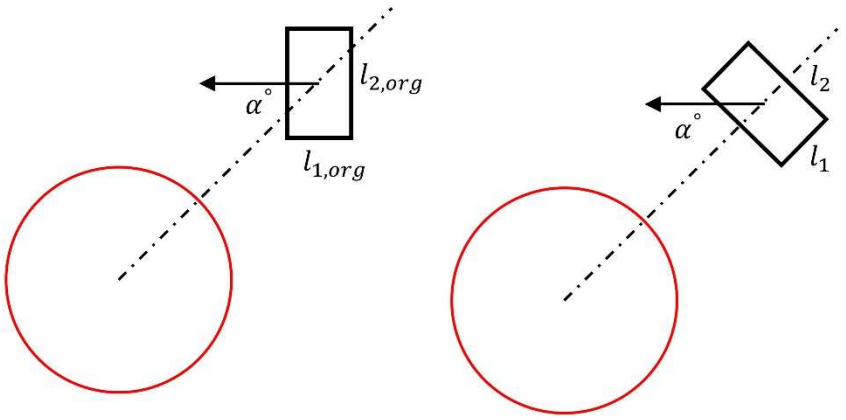
$$\dot{h}_{m,r} = \frac{2l_1\dot{h}_{r,1} + l_2\dot{h}_{r,2}}{2l_1 + 2l_2} \qquad \text{if } \alpha = 0° \qquad (\mathbf{4}.2a)$$

$$\dot{h}_{m,r} = \frac{l_1\dot{h}_{r,1} + 2l_2\dot{h}_{r,2}}{2l_1 + 2l_2} \qquad \text{if } \alpha = 90° \qquad (\mathbf{4}.3b)$$

kde:

$\dot{h}_{m,r}$	je stredná hodnota tepelného toku dopadajúca sálaním na segment,
$\dot{h}_{r,1}$	je tepelný tok dopadajúci sálaním na povrch 1, odčítaný z príslušného obrysového grafu,
$\dot{h}_{r,2}$	je tepelný tok dopadajúci sálaním na povrch 2 odčítaný z príslušného obrysového grafu.

Pri stĺpoch s povrchmi, ktoré nie sú orientované kolmo na požiar ($0 < \alpha < 90°$), ako znázorňuje prípad C (Obrázok 4.5), šírky povrchov musia byť upravené pred použitím obrysových grafov tak, ako znázorňuje Obrázok 4.6. Po otočení môže byť použitý vzťah 4.2a s novými hodnotami l_1 a l_2.



Obrázok 4.6 Úprava pre stĺpy, ktoré nie sú orientované kolmo k požiaru

Pôvodné šíky sú $l_{1,org}$ a $l_{2,org}$. Upravené šírky sa vypočítajú nasledovne

$$l_2 = l_{1,org} \times \sin\alpha + l_{2,org} \times \cos\alpha \qquad (\mathbf{4}.4)$$

$$l_1 = \left(l_{1,org} + l_{2,org}\right) - l_2 \qquad (\mathbf{4}.5)$$

Tepelný tok sa následne vypočíta podľa vzťahu (**4**.2a) s novými hodnotami l_1 a l_2.

Obrysové grafy sú vytvorené s predpokladom, že plameň nezasahuje strop. Ak sa zistí, že plameň dosiahol strop (podľa rovnice (A.2)), projektant musí následne zohľadniť horúcu (hornú) zónu (zóna 4 - Obrázok 4.3). Tepelný tok v tejto zóne sa vypočíta pomocou vzťahu (A.21). Pre väčšinu návrhov, tepelný tok v zóne 4 bude väčší ako v zóne 1 (pre ktorú platia obrysové grafy). Preto najvyššia teplota v stĺpe, ktorá sa má použiť vo výpočtoch odolnosti v kapitole 5, bude v zóne 4.

4.2.2 Nástroje tabuľkového procesora

Vykonanie výpočtu pomocou tabuľkového procesora, podľa modelu prezentovaného v prílohách (Príloha A a Príloha B) tohto dokumentu, umožňuje dosiahnuť väčšiu presnosť. Tabuľkový procesor môže zohľadňovať skutočné polohové faktory medzi

požiarom a povrchmi prierezu. Príklady tabuľkových výpočtov znázorňuje Obrázok B.9 a Obrázok B.11.

Keďže šírenie tepla je zložitý proces, požadované rovnice sú početné a zdĺhavé. Odporúča sa, aby takýto výpočet nevykonávali projektanti s nedostatočnou praxou.

4.2.3 OZone

Ako alternatíva pre projektantov, ktorí vykonávajú ručný výpočet alebo vyvíjajú vlastné analytické nástroje, bolo vyvinutých niekoľko softvérových nástrojov, ktoré implementujú LOCAFI teplotnýmodel. Jedným z ľahko dostupných nástrojov pre tento účel je OZone.

OZone je užívateľský softvér, ktorý vypočíta tepelné účinky vyvolané požiarom a vývoj teploty v konštrukčnom oceľovom prvku. OZone zahŕňa nominálne požiarne krivky a dva typy modelov prirodzeného požiaru: lokálne požiare a priestorové požiare. OZone, spolu s ďalšími softvérmi súvisiacimi s požiarom, vyvinutými spoločnosťou ArcelorMittal, možno nájsť tu:

http://sections.arcelormittal.com/download-center/design-software/fire-calculations.html

Pri priestorových požiaroch umožňuje Ozone použiť jednozónové alebo dvojzónové požiarne modely, ktoré sú definované v prílohe D normy STN EN 1991-1-2. Hlavným predpokladom zónových modelov je, že požiarne úseky sú rozdelené do zón, v ktorých je rozloženie teploty jednotné v ktoromkoľvek čase. Pri jednozónových modeloch sa teplota považuje za rovnomernú v celom požiarnom úseku. Tento typ modelu je teda platný pre plne rozvinuté požiare. Dvojzónové modely sú vhodnejšie, keď požiar zostáva obmedzený. V tomto prípade, dvojzónový model lepšie vystihuje rozloženie teploty v úseku s horúcou vrstvou v blízkosti stropu a chladnejšou vrstvou pod ňou.

V otvorených priestoroch alebo pri veľkých požiarnych úsekoch, kde nedochádza k celkovému vzplanutiu, musí byť správanie sa konštrukcie analyzované za podmienok lokálneho požiaru. Postup analýzy lokálneho požiaru, zavedený v OZone, je založený na modeli LOCAFI.

Ako sa uvádza v časti A.2.1.1, hlavné výmeny radiačneho tepla sú modelované tak, že požiar je nahradený virtuálnym plným plameňom, ktorý sála všetkými smermi. Prvý krok tohoto výpočtu definuje geometriu virtuálneho plného plameňa, predstavujúceho lokálny požiar, a rozloženie teploty ako funkcie času. Tvar virtuálneho plného plameňa môže byť valcový alebo kužeľovitý. Plameň valcového tvaru je jednoduchším modelom, ale zvyčajne nadhodnocuje radiačné tepelné toky. Ukázalo sa, že kužeľovitý tvar virtuálneho plného plameňa, s ktorým softvér OZone uvažuje, presnejšie predpovedá tepelné toky.

Ak je plameň vyšší ako je úroveň stropu, vtedy výška valca alebo kužeľa musí byť rovná výške stropu. Okolo valca alebo kužeľa by mal byť uvažovaný ďalší prídavný sálavý prstenec, ktorý predstavuje šírenie plameňa pod stropom.

V programe OZone sa model radiačného výpočtu realizuje bez použitia povrchových integrálov (ako sa používa v SAFIR, pozri časť 4.2.4). Namiesto toho, model je založený na konfiguračných faktoroch príslušných pre tvar prvku, ako je uvedené v rovnici (A.9).

Tepelný tok sa vypočíta samostatne pre štyri povrchy obdĺžnikového obvodu prierezu, potom priemerná hodnota tohoto toku sa aplikuje na celý obvod oceľového prierezu. To znamená, že tieňový efekt sa neberie do úvahy. Väzba medzi lokálnym

a priestorovým požiarom umožňuje kombináciu účinkov radiačných tepelných tokov.

Požadovaný vstup pre lokálny požiar zahŕňa polohu, priemer a vývoj RHR s časom pre maximálny počet 5 požiarov.

Pri modeloch prirodzeného požiaru je možné použiť niekoľko scenárov. Pre požiarne úseky je potrebné definovať úsek a charakteristiky požiaru použitím prílohy E normy STN EN 1991-1-2 alebo užívateľom definovaný požiar.

Ak nie je definovaný žiadny požiarny úsek, vtedy sa predpokladá, že lokálny požiar sa vyvíja v otvorenom priestore. Ak je požiarny úsek definovaný spolu s lokálnym požiarom, OZone vypočíta teplotu hornej vrstvy a spodnej vrstvy v úseku, pričom automaticky zvažuje maximálnu požiarnu plochu ako súčet plôch lokálnych požiarov. Pre výpočet teploty v priereze ponúka Ozone tri možnosti: teplota hornej vrstvy, teplota podľa lokálneho požiaru alebo väčšia z oboch.

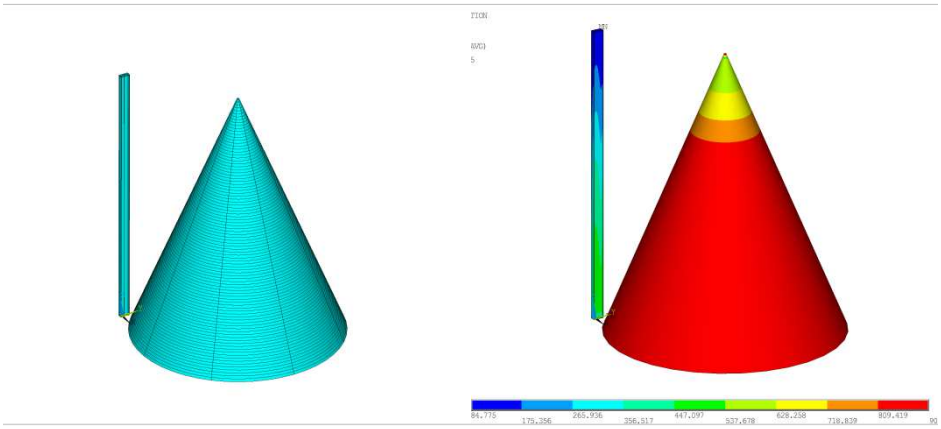
4.2.4 Modely na báze MKP

V prípade, že projektant požaduje vyššiu mieru presnosti, môžu byť použité softvéry na báze metódy konečných prvkov (MKP), ako je SAFIR® alebo ANSYS®. Použitie modelu s konečnými prvkami znižuje počet zjednodušení, ktoré je potrebné vykonať. Tento prístup má nasledujúce výhody:

- Môže sa aplikovať presnejší kužeľový tvar pre aproximáciu virtuálneho plného plameňa namiesto postupného zadávania valcov a prstencov.
- Môže sa uvažovať so skutočným tvarom stĺpa, vrátane tieňového efektu na dopadajúce žiarenie.
- Polohový faktor medzi každým povrchom a sálajúcim virtuálnym plameňom sa dajú vypočítať nezávisle.
- Nerovnomerný priebeh teploty je možné vypočítať v celom priereze.
- Môže sa uvažovať s kombinovaným tepelno-mechanickým správaním. Príkladom toho je tepelné zakrivenie asymetricky vyhrievaného stĺpa.

Rôzne softvérové balíky môžu implementovať model rôznymi spôsobmi, najmä v úrovni diskretizácie. Na preskúmanie problémov, ktoré je potrebné zvážiť pri implementácii sa v tomto dokumente nachádza krátky opis prístupu aplikovaného v programe SAFIR.

V programe SAFIR sú implementované dva tvary plameňa; valcový a kužeľový. Používateľ si môže vybrať jeden alebo druhý, podľa ich predností. Príklad kužeľového plameňa je znázornený na Obrázok 4.7.



Obrázok 4.7 Tvar plameňa (vľavo) a povrchová teplota (vpravo) (SAFIR)

Tepelný model softvéru SAFIR vypočíta teplotu pomocou série 2D tepelných analýz vykonaných na každom pozdĺžnom mieste integrácie každého konštrukčného konečného prvku zvoleného používateľom. Tieto prvky môžu mať akúkoľvek orientáciu v priestore.

Tepelný tok je v akomkoľvek čase vypočítný samostatne pre každý povrch konečného prvku. To znamená, že dopadajúci tok z lokálneho ohňa na konečný prvok je anizotropní. Povrchy, ktoré sú orientované smerom k ohňu dostávajú najvyšší tok, zatiaľ čo povrchy na opačnej strane neprijímajú vôbec žiadny tok.

Keď je tok z lokálneho požiaru vypočítaný na povrchu, tepelné straty sa automaticky pripočítavajú od povrchu do vzdialených oblastí, o ktorých sa predpokladá, že majú teplotu prostredia.

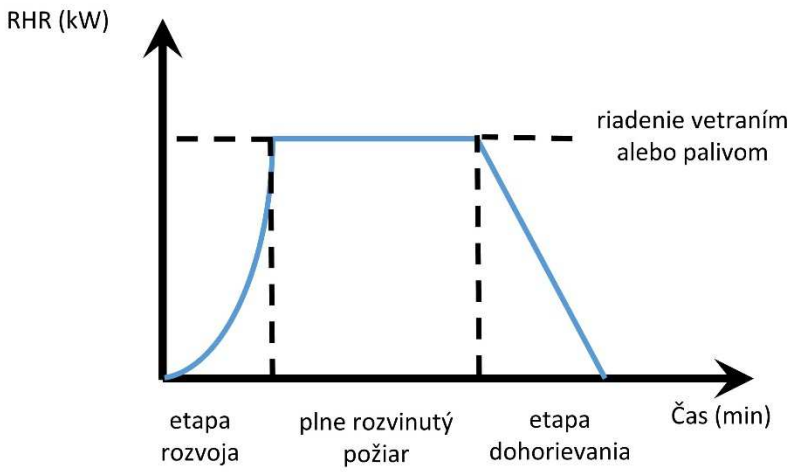
Zdroj požiaru je rozdelený na horizontálne často rovnakej výšky 0,1 m. Táto hodnota je menšia ako hodnota 0,5 m odporúčaná pre ručný výpočet (pozri A.2.1.1). Každá časť a každý prstenec je rozdelený na 36 sektorov, každý po 10 stupňov. Tieto delenia definujú sériu plôch, ktoré tvoria vonkajší povrch plameňa. Je vypočítaný radiačný tok z každej tejto plochy na všetky plochy prierezu.

Konštrukcia môže byť vystavená jednému alebo viacerým lokálnym zdrojom požiaru. V prípade viacerých požiarov sa toky z každého požiaru sčítajú.

4.3 Stanovenie teploty segmentu oceľového stĺpa

Táto časť popisuje proces výpočtu teploty segmentu stĺpa, na základe dopadajúceho toku. Ako je popísané v časti 5, návrh prvku vyžaduje skôr teploty než tepelné toky.

Rýchlosť uvoľňovania tepla (RHR) sa dá určiť podľa prílohy E normy STN EN 1991-1-2, ktorá rozdeľuje krivku RHR na 3 časti(pozri Obrázok 4.8): etapa rozvoja, etapa ustáleného stavu (ak existuje), kde je požiar riadený palivom alebo vetraním, a etapa dohorievania. Pri tomto tvare krivky, najkritickejšiou fázou z hľadiska tepelného zaťaženia je etapa ustáleného stavu - konštantná fáza.



Obrázok 4.8 Priebeh RHR v čase podľa prílohy E normy STN EN 1991-1-2

Uvoľňovanie tepla z požiaru je časovo závislý vzťah, čo naznačuje, že by tok mal byť vypočítaný v niekoľkých časových krokoch. Berúc do úvahy aj skutočnosť, že sa tepelný tok mení po dĺžke stĺpa, počet výpočtov sa výrazne zvyšuje.

Keď segment začne prijímať tok z ohňa, jeho teplota bude narastať. Vo fáze riadenej palivom zostáva tok konštantný, čo znamená, že bude nakoniec dosiahnutý taký stav, keď tok prijímaný segmentom je v rovnováhe s tokom sálajúcim do okolitého prostredia. Toto je známe ako teplota rovnovážneho stavu.

Ak segment má veľký objem, čas potrebný na dosiahnutie teploty rovnovážneho stavu môže byť dlhý. V mnohých prípadoch je čas potrebný na dosiahnutie rovnovážneho stavu dlhší ako trvanie požiaru, čo znamená, že rovnovážny stav sa nikdy nedosiahne.

Projektant môže konzervatívne predpokladať, že rovnovážny stav je vždy dosiahnutý. Tým sa výrazne znižujú požiadavky na náročnosť výpočtu, pretože časová závislosť výpočtu sa odstráni. Predsa len, teplota rovnovážneho stavu, o ktorej sa predpokladá, že bude dosiahnutá, môže byť značne vyššia ako teplota, ktorá sa dosiane v skutočnosti. Projektanti, ktorí sú pripravení vykonávať pokročilejšiu analýzu, s prihliadnutím k závislosti na čase, pravdepodobne dosiahnu nákladovo efektívnejší návrh. Pokročilá metóda je ďalej v časti 4.3.2 označovaná ako "prírastková metóda".

Odporúčaná metóda pre určenie teploty závisí od presnosti, s akou sa tok počíta. Pre každú zo štyroch metód uvedených v časti 4.2 sa odporúča:

- Pre výpočty s obrysovým grafom, celkový tepelný tok je stanovený pre konštantnú fázu. Teplota sa vypočíta podľa rovníc uvedených v časti 4.3.1.
- Pre výpočty s tabuľkovým procesorom sa odporúča vypočítať celkový tepelný tok prijatý segmentom stĺpa pre nasledujúce hodnoty RHR: 25%, 50%, 75% a 100% maximálnej hodnoty. Teplota by mala byť potom vypočítaná s použitím prírastkovej metódy (časť 4.3.2).
- Program OZone vykonáva výpočet v súlade s prírastkovou metódou. Nie sú potrebné žiadne ďalšie vstupné parametre.
- Softvér na báze MKP bude schopný vypočítať tepelné toky a teploty v tej istej analýze.

Keďže rôzne segmenty umiestnené v rôznych úrovniach po výške stĺpa prijímajú rôzne toky, výsledkom bude rôzne rozdelenie teploty z úrovne na úroveň. Tieto

rozdiely vedú k pozdĺžnemu vodivému tepelnému toku po stĺpe a budú mať tendenciu vyrovnávať teplotu ocele v susediacich segmentoch. Zohľadnenie tohto efektu vyžaduje 3D model stĺpa. Niekoľko numerických analýz preukázalo, že tento účinok je pomerne obmedzený a skutočné rozloženie teploty je dostatočne dobre aproximované sériou 2D tepelných analýz vykonaných na rôznych úrovniach, z ktorých každá má okrajové podmienky, ktoré prevažujú v danej úrovni.

4.3.1 Metóda rovnovážneho stavu

Ak je priemerný radiačný tepelný tok prijatý segmentom známy, jeho rovnovážna teplota môže byť ľahko vypočítaná z rovníc v Eurokódoch.

Keďže segment je mimo požiaru, konvekčná výmena bude s okolitým vzduchom (20 °C), pokiaľ nie je spojená s požiarym úsekom. Pre radiačnú výmenu, úsek bude absorbovať $\varepsilon\dot{h}_{m,r}$ a bude sálať smerom do okolia.

Rovnica tepelnej rovnováhy je preto:

$$0 = \alpha_c(\theta - 20) + \sigma\varepsilon[(\theta + 273)^4 - (20 + 273)^4] - \varepsilon\dot{h}_{m,r} \qquad (\mathbf{4}.6)$$

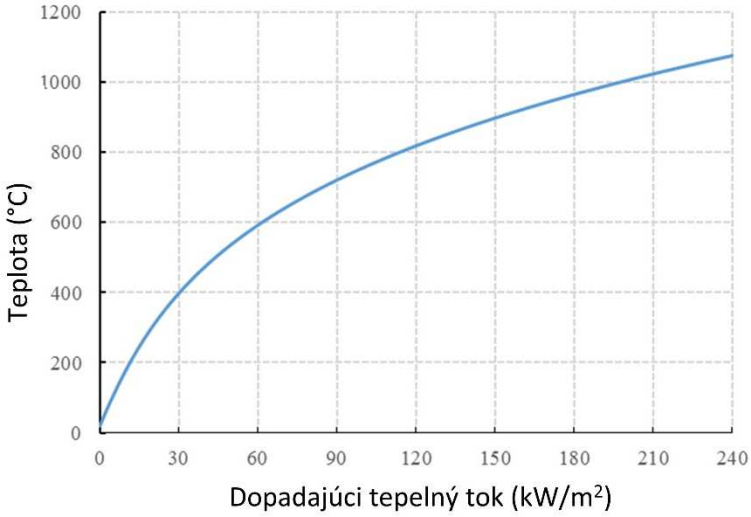
kde:

α_c	je koeficient prestupu tepla prúdením = 35 W/(m²K) podľa normy STN EN 1991-1-2,
σ	Stefan-Boltzmannova konštanta, ktorá sa rovná 5.67×10^{-8} W/(m²K⁴),
ε	emisivita ocele (norma STN EN 1993-1-2 udáva hodnotu 0,7),
θ	teplota ocele v °C.

Teplota rovnovážneho stavu je nezávislá od veľkosti a materiálových vlastností segmentu.

Táto rovnica môže byť riešená iteračne, čo vedie k vzťahu medzi teplotou θ a tepelným tokom $\dot{h}_{m,r}$. S uvažovaním odporúčaných hodnôt pre σ a ε je možné riešenú rovnicu (**4**.6) vyjadriť grafom (Obrázok 4.9).

V prípade, že prvok je pohltený plameňom (Heskestad) alebo je v horúcej (hornej) vrstve (Hasemi), $\varepsilon * h_{m,r}$ musí byť nahradený absorbovaným tokom.



Obrázok 4.9 Vzťah medzi rovnovážnou teplotou a dopadajúcim tepelným tokom

4.3.2 Prírastková metóda

Ak je dopadajúci tepelný tok vypočítaný, na stanovenie vzťahu medzi časom a teplotou môže byť použitá prírastková metóda opísaná v norme STN EN 1993-1-2 . Teplota segmetu závisí od čistého tepelného toku, čo je rozdiel medzi dopadajúcim tepelným tokom a sálajucim tepelným tokom. Čistý tepelný tok je daný rovnicou tepelnej rovnováhy, z ktorej rovnica (**4**.7) je špeciálnym prípadom:

$$\rho_a c_a(T)\frac{dT}{dt} = \frac{A_m}{V}\left[\varepsilon\dot{h}_{m,r} - \alpha_c(\theta - 20) - \sigma\varepsilon((\theta+273)^4 - 293^4)\right] \qquad (4.7)$$

kde:

ρ_a	je hustota ocele v kg/m^3,
c_a	špecifické teplo ocele v J/(kgK),
A_m/V	súčiniteľ prierezu segmentu v m^{-1}.

Z tejto rovnice sa teplota vypočítava prírastkovým spôsobom s použitím časového kroku Δt (napríklad 5 s), pričom:

$$\theta^{t+\Delta t} = \theta^t + \Delta t\frac{A_m}{V}\frac{1}{\rho C_p(T^t)}\left[\varepsilon\dot{h}_{m,r} - \alpha_c(\theta - 20) - \sigma\varepsilon((\theta+273)^4 - 293^4)\right] \qquad (4.8)$$

kde:

$\theta^{t+\Delta t}$	je teplota v čase t+Δt.

V prípade, že prvok je pohltený plameňom (Heskestad) alebo je horúcej (hornej) vrstve (Hasemi), ε*$h_{m,r}$ musí byť nahradený absorbovaným tokom.

Všetky časovo závislé veličiny na pravej strane sa musia vyhodnotiť v čase *t*, pretože RHR sa mení s časom. Táto rovnica môže byť ľahko implementovaná v tabuľkovom procesore programu Excel. Teplotné výpočty v OZone sú založené na tejto metóde.

5 NAVRHOVANIE STĹPA

Normy STN EN 1993-1-2 a STN EN 1994-1-2 poskytujú modely na posúdenie mechanickej odolnosti konštrukčného prvku a kritérií integrity, ktoré musia byť splnené pri vystavení nominálnej alebo prirodzenej požiarnej krivke. Normy definujú návrhové hodnoty mechanických a tepelných vlastností materiálu vo vzťahu k charakteristickým hodnotám. Návrhové hodnoty sú vyjadrené charakteristickými hodnotami delenými parciálnym súčiniteľom $\gamma_{\mathrm{M,fi}}$. Keďže odporúčaná hodnota $\gamma_{\mathrm{M,fi}}$ = 1.0 is accepted by all the National Annexes, je akceptovaná všetkými národnými prílohami, tepelné vlastnosti sú zvyčajne uvedené bez označenia ako charakteristické alebo návrhové hodnoty.

5.1 Overovanie

Overenie je vyjadrené ako nasledujúca podmienka v čase *t* počas vystavenia požiaru:

$$E_{\mathrm{fi,d,t}} \leq R_{\mathrm{fi,d,t}} \tag{5.1}$$

Účinky nepriamych vplyvov (vnútorné sily a momenty vyvolané v konštrukcii deformáciami a zabránenou tepelnou rozťažnosťou) sa nemusia brať do úvahy, keď je požiarna bezpečnosť založená na normalizovanej teplotnej krivke. V iných prípadoch, nepriame vplyvy nemusia byť brané do úvahy, ak je účinok zhodnotený ako zanedbateľný alebo keď sú okrajové podmienky alebo návrhový model konzervatívne.

5.2 Zaťaženie

Pre zjednodušenie môže byť hodnota $E_{\mathrm{fi,d}}$ pre analýzu prvku uvažovaná ako:

$$E_{\mathrm{fi,d}} = \eta_{\mathrm{fi}} E_{\mathrm{d}} \tag{5.2}$$

kde:

E_{d}	je návrhová hodnota účinku základnej kombinácie zaťaženia (medzný stav únosnoti), ako je uvedené v STN EN 1990,
η_{fi}	redukčný súčiniteľ pre návrhovú úroveň zaťažení za požiarnej situácie.

Hodnota redukčného súčiniteľa bude závisieť od toho, či sa pre základnú kombináciu použije rovnica 6.10 alebo rovnice 6.10a a 6.10b, ktoré sú uvedené v norme STN EN 1990.

Ak sa pre základnú kombináciu použije rovnica 6.10 normy STN EN 1990, redukčný súčiniteľ η_{fi} je daný vzťahom:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + (\Psi_{1,1}\ or\ \Psi_{2,1})\ Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \tag{5.3}$$

Ak sa pre základnú kombináciu použijú rovnice 6.10a a 6.10b, redukčný súčiniteľ η_{fi} je daný menšou hodnotou nasledujúcich dvoch výrazov:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + (\Psi_{1,1} or\ \Psi_{2,1})\ Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}} \tag{5.4}$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + (\Psi_{1,1} or\ \Psi_{2,1})\ Q_{k,1}}{\xi\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \tag{5.5}$$

kde:

G_k	je charakteristická hodnota stáleho zaťaženia,
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota hlavného premenného zaťaženia,
ξ	redukčný súčiniteľ pre nepriaznivo pôsobiace stále zaťaženie, ako je uvedené v STN EN 1990,
$\Psi_{0,1}$	súčiniteľ kombinácie pre hodnotu premenného zaťaženia,
$\Psi_{1,1}/\Psi_{2,1}$	súčiniteľ kombinácie častých / kvázy stálych hodnôt premenného zaťaženia.

Treba poznamenať, že redukčné súčinitele a súčinitele kombinácie sú národne stanovené parametre, a preto sa líšia v jednotlivých krajinách. Projektanti by sa mali uistiť, že používajú správne hodnoty.

5.3 Odolnosť

V prípade prvku s nerovnomerným rozložením teploty, odolnosť môže byť braná ako pri prvku s rovnomernou teplotou rovnajúcou sa maximálnej teplote v uvažovanom čase.

Teplota prvku θ sa stanoví v súlade s metódami opísanými v časti 4. Teplota stĺpa by mala byť určená pri niekoľkých výškach, pričom sa na stanovenie odolnosti stĺpa použije najvyššia teplota.

Modelovanie ukázalo, že maximálna teplota sa vyskytuje približne v 1/3 výšky stĺpa, za predpokladu, že plamene nezasahujú strop. Ak plamene zasahujú strop, maximálna teplota bude pravdepodobne v horúcej (hornej) vrstve (zóna 4 Obrázok 4.3).

5.3.1 Klasifikácia prierezu

Pokiaľ ide o návrh pri bežnej teplote, všetky prierezy, ktoré sú úplne alebo čiastočne tlačené sa klasifikujú, aby sa stanovila vhodná návrhová odolnosť prierezu.

Vzhľadom na to, že pevnosť a modul pružnosti ocele sa v podmienkach požiaru znižujú v rôznych pomeroch, klasifikácia prierezov pri zvýšenej teplote sa môže líšiť od klasifikácie pri návrhu na bežnú teplotu.

Avšak namiesto zisťovania klasifikácie pri každej zvýšenej teplote sa vykoná jedna klasifikácia založená na správaní sa pri bežnej teplote. Klasifikácia sa vykonáva podľa pravidiel normy STN EN 1993-1-1 s tou výnimkou, že hodnota ε za požiaru je podľa článku 4.2.2 normy STN EN 1993-1-2 daná vťahom:

$$\varepsilon = 0.85\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{5.6}$$

kde f_y je medza klzu pri teplote 20°C.

Koeficient 0,85 zohľadňuje kolísanie vlastností materiálu pri zvýšených teplotách a je aproximáciou pre $\sqrt{k_{\mathrm{E},\theta}/k_{\mathrm{y},\theta}}$. Je možné, že prierez stĺpa bude zatriedený v horšej

triede v podmienkach za požiaru ako pri bežnej teplote, napr. môže byť triedy 3 pri bežnej teplote a triedy 4 pri požiari.

Pravidlá výpočtu odolnosti prierezov triedy 4 pri požiari sú uvedené v norme STN EN 1993-1-2[3]. Ďalšia diskusia na túto tému je mimo rámca tejto príručky.

5.3.2 Vzperná odolnosť

Navrhová odolnosť stĺpov s prierezmi triedy 1, 2 alebo 3 a rovnomernou teplotou θ_a v čase *t* sa stanovuje podobným spôsobom ako pri bežnej teplote, ale s úpravami kvôli zníženým vlastnostiam pri zvýšených teplotách. Návrhový odolnosť je daná článkom 4.2.3.2 normy STN EN 1993-1-2 takto:

$$N_{\mathrm{b,fi,t,Rd}} = \chi_{\mathrm{fi}} A k_{\mathrm{y},\theta} \frac{f_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M,fi}}} \tag{5.7}$$

Redukčný súčiniteľ χ_{fi} je menšia z hodnôt vypočítaných pre vzper okolo osi y-y a z-z, a určuje sa nasledovne:

$$\chi_{\mathrm{fi}} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{{\varphi_\theta}^2 - {\overline{\lambda}_\theta}^2}} \tag{5.8}$$

kde:

$$\varphi_\theta = \frac{1}{2}\left(1 + \alpha\overline{\lambda}_\theta + {\overline{\lambda}_\theta}^2\right) \tag{5.9}$$

s:

$$\alpha = 0.65\sqrt{\frac{235}{f_{\mathrm{y}}}} \tag{5.10}$$

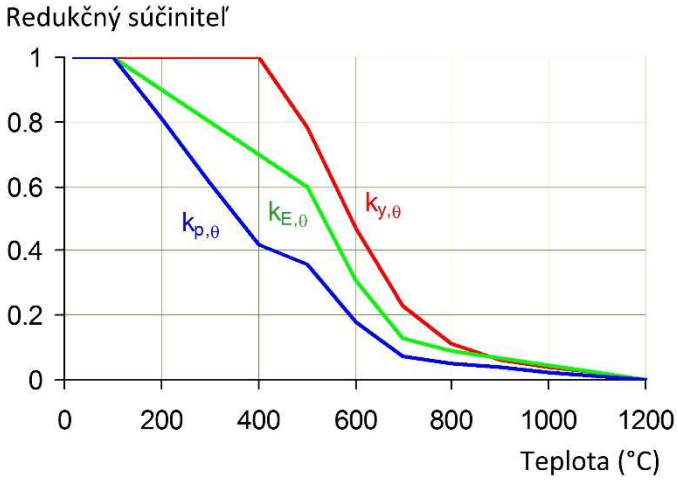
Pomerná štíhlosť pri rovnomernej teplote θ_a je daná vzťahom:

$$\overline{\lambda}_\theta = \overline{\lambda}\sqrt{\frac{k_{\mathrm{y},\theta}}{k_{\mathrm{E},\theta}}} \tag{5.11}$$

kde:

A	je prierezová plocha oceľového stĺpa,
$k_{\mathrm{y},\theta}$	redukčný súčiniteľ pevnosti ocele, ktorý je závislý od teploty,
$k_{\mathrm{E},\theta}$	redukčný súčiniteľ modulu pružnosti ocele, ktorý je závislý od teploty,
f_{y}	medza kĺzu ocele,
$\overline{\lambda}$	temperature je pomerná štíhlosť pri bežnej teplote.

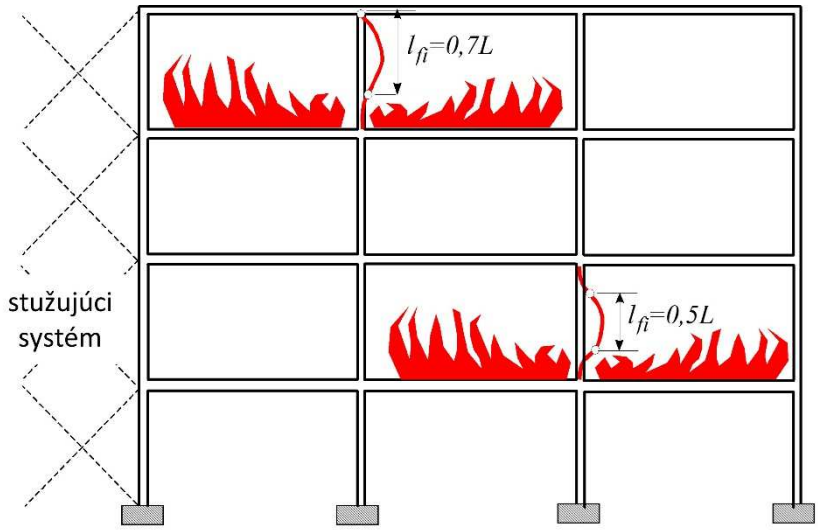
Redukčné súčinitele $k_{\mathrm{y},\theta}$ a $k_{\mathrm{E},\theta}$ sú závislé od teploty. Číselné hodnoty sú uvedené v norme STN EN 1993-1-2[3] a znázorňuje ich Obrázok 5.1.



Obrázok 5.1 Redukčné súčinitele pracovného diagramu ocele pri zvýšených teplotách

5.3.3 Vzperné dĺžky

Článok 2.3.2(3) normy STN EN 1993-1-2 odporúča, aby sa pomerná štíhlosť $\overline{\lambda}$ stanovila ako pri bežnej teplote s výnimkou, že pri vystužených rámoch môže vzperná dĺžka l_{fi} zohľadniť koncové uloženie, ako je znázorňuje Obrázok 5.2, za predpokladu, že každé podlažie budovy pozostáva zo samostatného požiarneho úseku, a že požiarna odolnosť okrajov úseku nie je menšia ako požiarna odolnosť stĺpa. Vzhľadom na to, že priebežné stĺpy sú oveľa tuhšie ako stĺpy v požiarnom úseku, predpokladá sa, že zabezpečia konce ohrievaného stĺpa proti vybočeniu.



Obrázok 5.2 Vzperné dĺžky stĺpov za požiaru

5.4 Výpočet odolnosti pomocou MKP

Ako alternatíva k mechanickému modelu opísanému v časti 5.3, odolnosť stĺpa môže byť tiež stanovená s použitím analýzy na báze MKP.

Softvér na báze MKP, vybraný projektantom, musí byť schopný vykonať analýzu, v ktorej sú tepelné a mechanické komponenty analýzy vypočítané súčasne.

Tepelná analýza sa musí vykonať pomocou výpočtového zariadenia, schopného vypočítať dopadajúci tepelný tok zo sálajúceho "plného plameňa". Tvar plameňa je definovaný podľa rovníc uvedených v časti A.2. Softvér nemusí byť schopný počítať numerickú fluidnú dynamiku (CFD). To je ďalej riešené v časti A.2.1.1.

Pre mechanickú časť analýzy sa odporúča nelineárny model materiálu. V závislosti od preferencie používateľa softvéru, môžu byť použité prútové prvky alebo škrupinové prvky. V oboch prípadoch je potrebné dbať na to, aby sa zohľadnili účinky začiatočných imperfekcií. Ďalšie usmernenia k FE modelovaniu možno nájsť v prílohe C normy STN EN 1993-1-5 Annex C[18].

6 LITERATÚRA

1 STN EN 1990 (2009): Eurokód: Základy navrhovania konštrukcií

2 STN EN 1991-1-2 (2007): Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženia konštrukcií namáhaných požiarom

3 STN EN 1993-1-2 (2007): Eurokód 3: Navrhovanie oceľových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru

4 STN EN 1994-1-2 (2007): Eurokód 4: Navrhovanie spriahnutých oceľobetónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru

5 Wang, Y., Burgess, I., Wald, F. and Gillie, M. (2012) Performance-Based Fire Engineering of Structures, CRC Press. Taylor & Francis Group

6 Lennon, T. (2011) Structural Fire Engineering, , ICE Publishing

7 Franssen, J. M. and Vila Real, P. (2015) Fire design of steel structures, 2nd Edition, ECCS Eurocode Design Manuals, Wiley VCH

8 Simms, W.I. (2012) Fire resistance design of steel framed buildings. P375, The Steel Construction Institute

9 Guide to the advanced fire safety engineering of structures (2007), Institution of Structural Engineers.

10 Heskestad, G. (1972) Similarity relations for the initial convective flow generated by fire, ASME Paper 72-WA/HT-17.

11 Hasemi, Y. and Tokunaga, T. (1984) Flame geometry effects on the buoyant plumes from turbulent diffusion flames, Fire Science & Technology 4(1):15-26

12 Franssen, J.M. and Scifo, A. (2013) LOCAFI D6: Description of all parameters that characterise the tests - ULg. (Part of 'Temperature assessment of a vertical steel member subjected to Localised Fire' RFCS project)

13 Nadjai, A. and Sanghoon, H. (2016) LOCAFI D15: Background document of the methodology – Ulster. (Part of LOCAFI RFCS project)

14 Nadjai, A. and Sanghoon, H. (2013) LOCAFI D7: Report of all detailed experimental data gathered during localised fire tests - Ulster (Part of LOCAFI RFCS project)

15 Fire Dynamics Simulator (FDS) (2017), FDS User's Guide, FDS Version 6.5.3, https://pages.nist.gov/fds-smv/

16 Thauvoye C., (2013) LOCAFI D8-9 Numerical simulation of tests, (Part of LOCAFI RFCS project)

17 Fire Dynamics Simulator (FDS) (2013), FDS Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model, https://pages.nist.gov/fds-smv/

18 EN 1993-1-5(2006): Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: Plated structural elements

19 Vassart, Olivier et al., (2014) Eurocodes: Background and applications. Structural fire design. Worked examples. EUR Scientific and Technical Research Reports. Publications Office of the European Union. (Available from: https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/eurocodes-background-and-applications-structural-fire-design-worked-examples)

20 Tondini, N. and Franssen, J.M. (2017) Analysis of experimental hydrocarbon localised fires with and without external members, Fire Safety Journal, Vol 92, pp 9-22.

PRÍLOHA A MODEL PRE VÝPOČET POŽIARNEHO ZAŤAŽENIA STĹPOV VYSTAVENÝCH LOKÁLNÝM POŽIAROM

Veľké množstvo experimentov, ktoré sú popísané v časti 3.2, viedli ku kalibrácii a overeniu analytického modelu na stanovenie dopadajúceho tepelného toku a nárastu teploty stĺpa pri lokálnom požiari. Analytický výpočtový model je popísaný v tejto prílohe.

Fyzika prenosu tepla prostredníctvom žiarenia a prúdenia znamená, že model je pomerne zložitý a nepredpokladá sa, že by sa projektanti pokúsili aplikovať model pomocou ročného výpočtu, hoci realizácia v tabuľkovom procesore je možná. Namiesto toho boli vyvinuté rôzne zjednodušené prístupy, ktoré implementujú princípy modelu, ako je uvedené v časti 4.

A.1 Prehľad

Teplota stĺpa vystaveného lokálnemu požiaru sa môže stanoviť použitím nižšie opísanej metódy. Metóda určuje teplotu segmentu stĺpa pri konkrétnej výške a môže byť použitá viackrát pri ľubovoľnej výške, za účelom vytvorenia teplotného profilu.

Metóda je rozdelená do dvoch globálnych krokov; výpočet dopadajúceho tepelného toku, ktorý bol prijímaný segmentom, potom výpočet teploty segmentu.

Metóda predpokladá, že tvar ohňa na zemi je kruhový a je určená pre lokálne požiare, ktoré nepresahujú priemer 10m a RHR 50 MW.

Ak hlavný horľavý materiál spôsobujúci lokálny požiar nie je kruhového tvaru, potom sa modeluje ako kruh s priemerom, ktorý dáva rovnakú plochu podľa rovnice (A.1):

$$D_{fire} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad \text{m} \tag{A.1}$$

kde:

D_{fire} ekvivalntný priemer (m),

S plocha lokálneho požiaru (m²).

Oblasti použitia sú znázornené na Obrázok 4.3. Časť A.2 popisuje model pre stĺpy mimo oblasti požiaru (zóny 1 a 4) a časť A.3 popisuje model stĺpov v oblasti požiaru (zóny 2 a 3).

A.2 Stĺp mimo oblasti požiaru

Plamene produkované lokálnym požiarom ovplyvňujú exponovaný stĺp, hlavne cez radiačny tepelný tok, ak stĺp nie je pohltený ohňom. Tvar plameňa a relatívna poloha plameňa v nadväznosti na stĺp majú výrazný vplyv na radiačný tepelný tok prijímaného stĺpom.

Pre väčšiu časť objemu požiarneho úseku je možné predpokladať, že konvekčný tepelný tok mimo oblasti požiaru je zanedbateľný. Tento predpoklad však nie je

platný v horúcej (hornej) vrstve dymu, ktorý sa šíri pod stropom, keď ho zasahujú plamene. Pri lokálnom požiari je vo všeobecnosti výška vrstvy dymu v porovnaní s výškou požiarneho úseku malá.

Ak existujú nejaké prekážky, ktoré môžu brániť šíreniu dymu pod stropom, vtedy výška horúcej vrstvy $h_{hot\ layer}$ môže byť definovaná geometrickou charakteristikou prekážok (zvyčajne výška nosníkov). V praxi sa odporúča hodnota 10% výšky stropu.

Na predikciu dopadajúceho tepelného toku sa uplatňujú rôzne vzťahy podľa toho, či je miesto pôsobenia mimo alebo vnútri horúcej vrstvy (pozri časť A.2.1 a A.2.2).

A.2.1 Stĺp mimo vrstvy dymu

Postup je rozdelený do troch krokov:

(a) modelovanie geometrie povrchu plameňa,

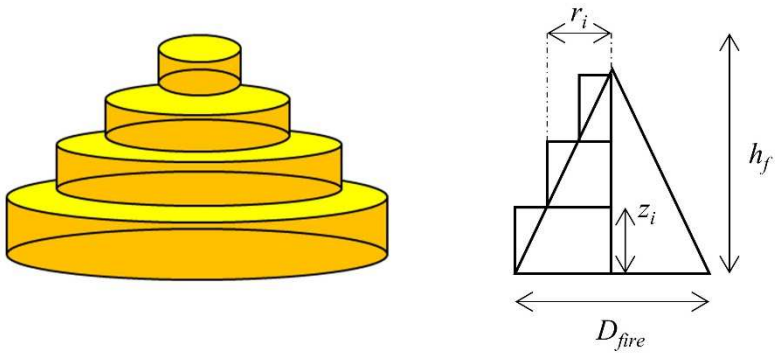
(b) vypočet teploty plameňa,

(c) odhad dopadajúceho radiačného tepelného toku na segmente oceľového stĺpa.

Konvekčný tepelný tok je zanedbávaný a radiačný tepelný tok je modelovaný pomocou konceptu plného plameňa, t.j. plameň sa považuje za plný povrch, ktorý sála teplo smerom k stĺpu.

A.2.1.1 Geometria povrchu plného plameňa

Prvým krokom je vytvorenie povrchu plameňa. Predpokladá sa kužeľovitý tvar tvorený radom valcov (vertikálnych plôch) a prstencov (horizontálnych plôch) s klesajúcim priemerom (Obrázok A.1).



Obrázok A.1 Model plného plameňa (vľavo) a geometrické údaje (vpravo)

Výška plameňa h_f sa vypočíta pomocou korelácie v prílohe C normy STN EN 1991-1-2[2]:

$$h_f = -1.02D_{fire} + 0.0148Q(t)^{0.4} \qquad \text{(A.2)}$$

kde:

D_{fire} je priemer zdroja požiaru (m),

$Q(t)$ RHR zdroja požiaru (W).

Polomer valca r_i vo výške z_i sa rovná:

$$r_i = 0.5 D_{fire} \left(1 - \frac{z_i}{h_f}\right) \quad \text{(A.3)}$$

Pre uľahčenie aplikácie, počet valcov na modelovanie ohňa by mal byť obmedzený. Výška valca 0,5 m poskytuje dobrú rovnováhu medzi presnosťou a použiteľnosťou, a preto sa odporúča. Veľké zjednodušenie, ktoré je na strane bezpečnej, je možné vykonať s použitím výšky valca rovnajúcej sa výške plameňa h_f. V tomto prípade sa plný plameň znižuje na dve zložky: valec s diskom v hornej časti (priemer = D_{fire}).

A.2.1.2 Radiačné vlastnosti a teplota plameňa

Druhým krokom je výpočet radiačných vlastností plameňa a tým aj teploty plného plameňa. Teplota valca a prstenca vo vzdialenosti z_i pozdĺž osi plameňa (Obrázok A.2) sa považuje za konštantnú a rovná sa:

$$\theta_f(z_i) = \min\left(900;\quad 20 + 0.25\left(0.8Q(t)\right)^{2/3}(z_i - z_{\text{virt}})^{-5/3}\right) \quad \text{(A.4)}$$

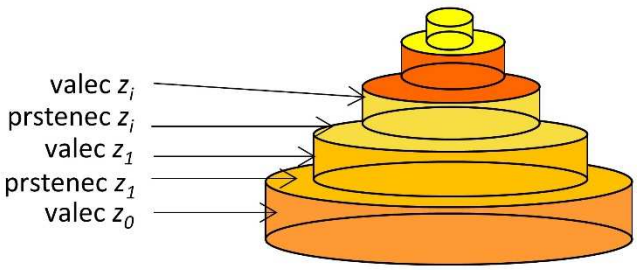
kde z_{virt} je myslený začiatok, ktorý je daný vzťahom:

$$z_{\text{virt}} = -1.02 D_{fire} + 0.00524 Q(t)^{0.4} \quad \text{(A.5)}$$

Tieto vzorce sú rovnice C.2 a C.3 normy STN EN 1991-1-2. Dĺžka h_f je definovaná ako bod, kde teplota plynov pozdĺž osi plameňa dosiahne 520 °C podľa rovnice (A.4).

Je dôležité poznamenať, že RHR sa mení s časom, čo znamená, že charakteristiky plameňa a tepelného toku sa počas požiaru menia.

Je možné zohľadniť prípady, keď zdroj požiaru nie je na zemi, ale v inej výške z_{fire} nastavením výšky pod stropom (h_{ceil} je nahradený $h_{ceil} - z_{fire}$).

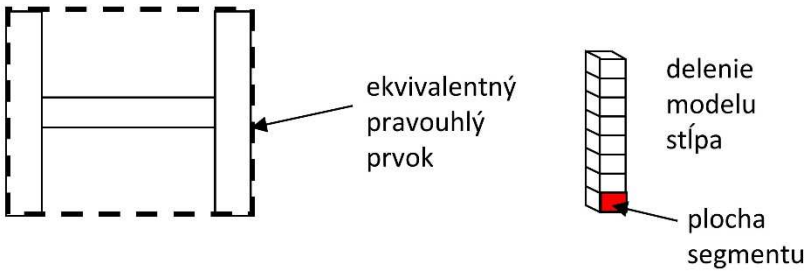


Obrázok A.2 Zjednodušený model požiaru pomocou prstencov a valcov

A.2.1.3 Radiačný tepelný tok prijatý segmentom stĺpa

Najprv sa prierez stĺpa modeluje ako obdĺžnikový, nezávisle od jeho pôvodného prierezu (Obrázok A.3). Tento prístup je v súlade s predpokladmi uvedenými v prílohe G normy STN EN 1991-1-2. Eliminácia zložitej geometrie prierezu odstraňuje potrebu zohľadniť zložité javy, ako je tieňový efekt (keď časť prierezu "tieni" ostatné časti pred dopadajúcim žiarením).

Stĺp je rozdelený na segmenty (výšky z_j) a tepelný tok sa vypočíta pre každú zo štyroch strán segmentu, následne sa vypočíta stredná hodnota.



Obrázok A.3 Modelovanie stĺpa H-prirezu a podrobné modelovanie segmetu

Keďže sa predpokladá, že emisivita a teplota sú konštantné na povrchu každého segmentu, radiačný tepelný tok môže byť vypočítaný s použitím polohového faktora, ktorý meria podiel celkového radiačného tepla pochádzajúceho z daného sálajúceho povrchu, ktorý prichádza na daný prijímajúci povrch. Jeho hodnota je závislá na veľkosti sálajúceho povrchu, na vzdialenosti medzi sálajúcim a prijímacim povrchom a na ich relatívnej orientácie. Pre polohové faktory existujú analytické vzorce pre rôzne scenáre, vrátane tu používaných tvarov pre plný plameň.

Polohový faktor $\emptyset$ medzi nekonečne malým rovinným elementom a konečným valcom je daný rovnicou (A.6). Geometrické parametre znázorňuje Obrázok A.4.

$$\emptyset_{dA_1 \to A_2} = \frac{S}{B} - \frac{S}{2B\pi}\{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5\} \tag{A.6}$$

kde:

$$L_1 = cos^{-1}\left(\frac{Y^2 - B + 1}{A - 1}\right)$$

$$L_2 = cos^{-1}\left(\frac{C - B + 1}{C + B - 1}\right)$$

$$L_3 = -Y\left[\frac{A + 1}{\sqrt{(A-1)^2 + 4Y^2}} cos^{-1}\left(\frac{Y^2 - B + 1}{\sqrt{B}(A - 1)}\right)\right]$$

$$L_4 = -\sqrt{C}\frac{C + B + 1}{\sqrt{(C + B - 1)^2 + 4C}} cos^{-1}\left(\frac{C - B + 1}{\sqrt{B}(C + B - 1)}\right)$$

$$L_5 = Hcos^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{B}}\right)$$

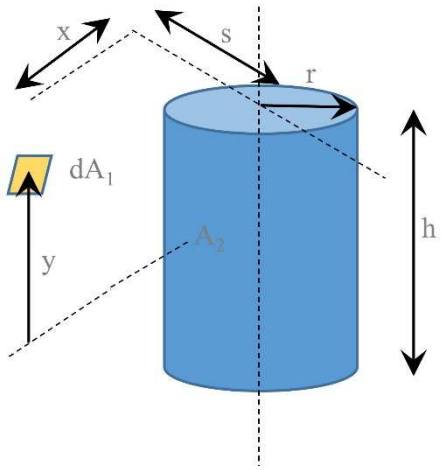
kde:

$$S = \frac{s}{r} \qquad X = \frac{x}{r} \qquad Y = \frac{y}{r} \qquad H = \frac{h}{r}$$

$$A = X^2 + Y^2 + S^2$$

$$B = S^2 + X^2$$

$$C = (H - Y)^2$$



Obrázok A.4 Geometrické výrazy používané na výpočet polohového faktora medzi nekonečne malým rovinným elementom a konečným valcom

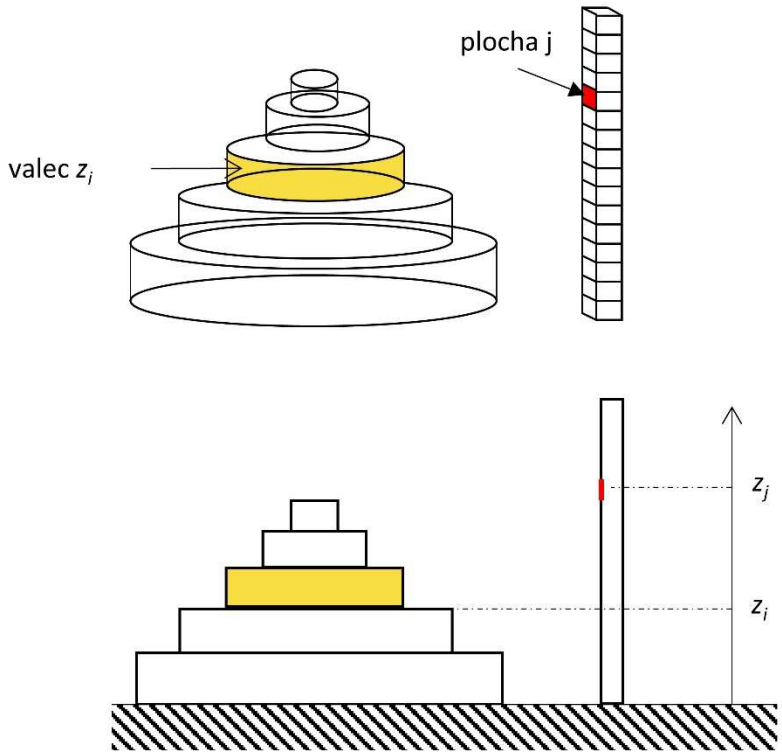
Radiačný tepelný tok absorbovaný prostredníctvom $face_j$ z valca z_i je potom:

$$\dot{h}_{Cylinder\ z_i \to face_j} = \sigma\varepsilon\left(\theta_f(z_i) + 273\right)^4 . \emptyset_{Cylinder\ z_i \to face_j} \qquad \text{(A.7)}$$

kde:

ε	je emisivita ocele (STN EN 1993-1-2 udáva hodnotu 0,7),
σ	$= 5.67 \times 10^{-8}$ W/(m^{2}K^4),
$\theta_f(z_i)$	teplota valca z_i z rovnice (A.4),
$\emptyset_{Cylinder\ z_i \to face_j}$	polohový faktor valca z_i a $face_j$ z rovnice (A.6).

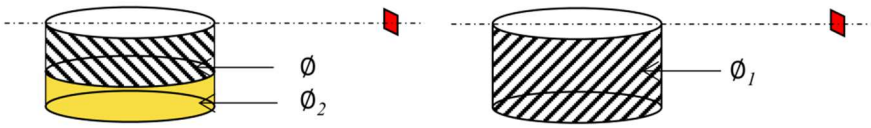
Model požiaru je znázorňuje Obrázok A.5.



Obrázok A.5 Radiačná výmena medzi valcom z_i a plochou $face_j$ 3D podhľad (hore), pohľad zboku (dole)

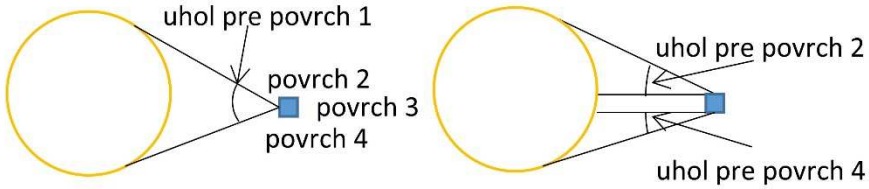
Polohové faktory je možné sčítavať[2]. Napríklad polohový faktor $\emptyset$ pre prípad, ktorý znázorňuje Obrázok A.6 môže byť vypočítaný z polohových faktorov $\emptyset_1$ a $\emptyset_2$:

$$\emptyset_1 = \emptyset + \emptyset_2 \Rightarrow \emptyset = \emptyset_1 - \emptyset_2 \tag{A.8}$$



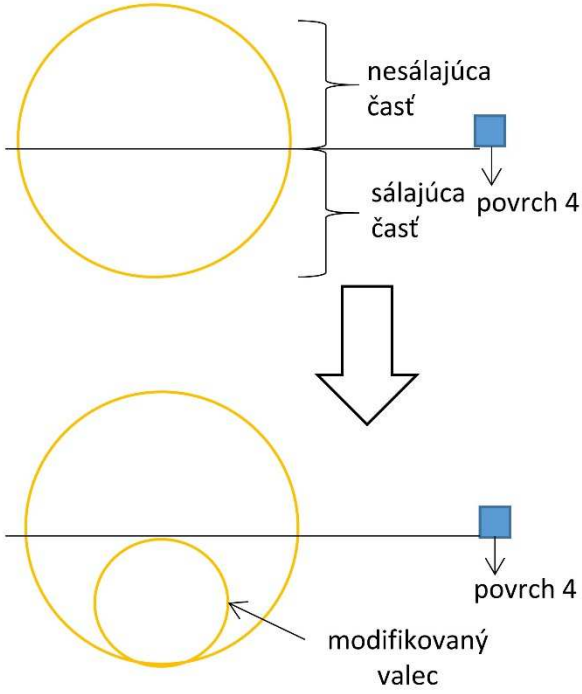
Obrázok A.6 Sčítavacie pravidlá pre polohové faktory

Na stanovenie polohového faktora a tým aj tepleného toku pre všetky možné konfigurácie je potrebné použiť ďalšie pravidlá. V prípade, ktorý zobrazuje Obrázok A.7, povrch 1 prijíma priamo tok z valca, povrchy 2 a 4 sú natočené a len čiastočne prijímajú tok z valca a povrch 3 nezasiahne žiadny radiačný tepelný tok z plného plameňa . Teda povrch 1 zodpovedá situácii opísanej rovnicou (A.6) a dopadajúci radiačný tepelný tok pre povrch 3 je nulový. V prípade povrchov 2 a 4 situácia je zložitejšia a rovnica (A.6) nemôže byť aplikovaná priamo, pretože rovina povrchu pretína valec.

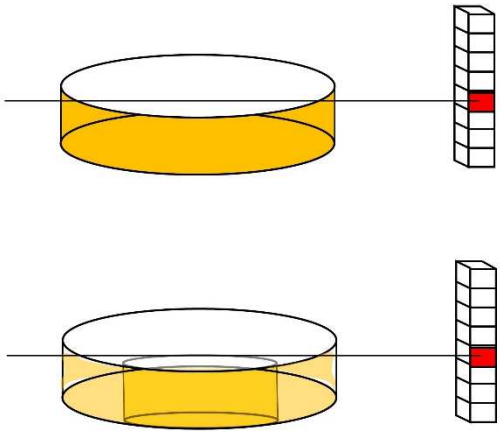


Obrázok A.7 Príklad interakcie valca a stĺpa (pohľad zhora)

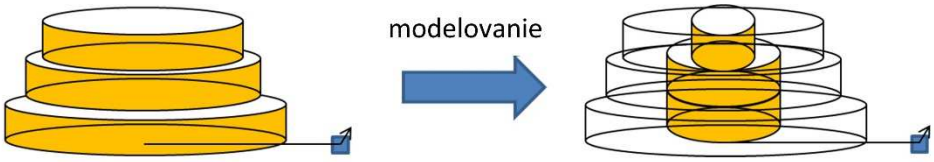
Uhol, ktorý zviera rovina príjimajúceho povrchu s rovinou sálajúceho povrchu, najviac ovplyvňuje radiačný tepelný tok. Je môžné použiť prispôsobené riešenie a to tak, že sa použije taký tvar povrchu, ktorý dáva zodpovedajúcu hodnotu polohového faktora. Môže byť stále použitý valec, ale s modifikovanou geometriou, ktorý znázorňuje Obrázok A.8 a Obrázok A.9. Priemer valca sa zníži tak, aby modifikovaný valec bol plne „viditeľný“ cieľovým povrchom. Následne, môže byť rovnica (A.6) použitá. Zložitejší prípad s rôznymi valcami znázorňuje Obrázok A.10, ktorý môže byť spracovaný podobným spôsobom.



Obrázok A.8 Modelovanie valca – pohľad zhora



Obrázok A.9 Modelovanie valca – 3D pohľad



Obrázok A.10 Zložitejší prípad modelovania valcov

Polohový faktor medzi nekonečne malým rovinným elementom a prstencom v kolmej rovine je daný rovnicou (A.9). Geometrické parametre znázorňuje Obrázok A.11.

$$\emptyset_{dA_1 \to A_2} = \frac{H}{2}\left(\frac{H^2 + R_2^2 + 1}{\sqrt{(H^2 + R_2^2 + 1)^2 - 4R_2^2}} - \frac{H^2 + R_1^2 + 1}{\sqrt{(H^2 + R_1^2 + 1)^2 - 4R_1^2}}\right) \qquad \text{(A.9)}$$

Táto rovnica je platná iba ak $l > r_2$

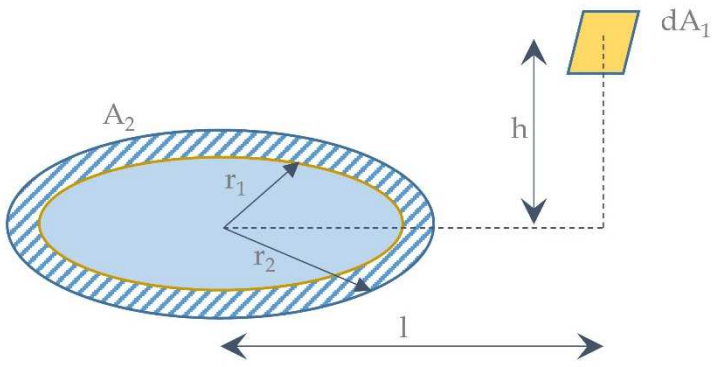
kde:

$H = h/l$

$R_1 = r_1/l$

$R_2 = r_2/l$

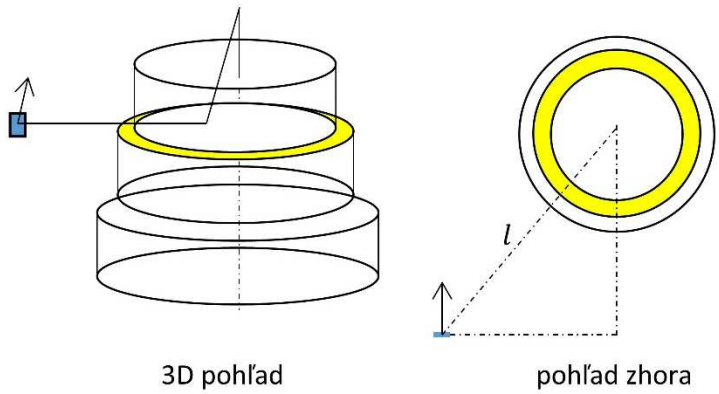
l je vzdialenosť medzi plochou a stredom kruhu.



Obrázok A.11 Vzájomná poloha prstenca a rovinného elementu

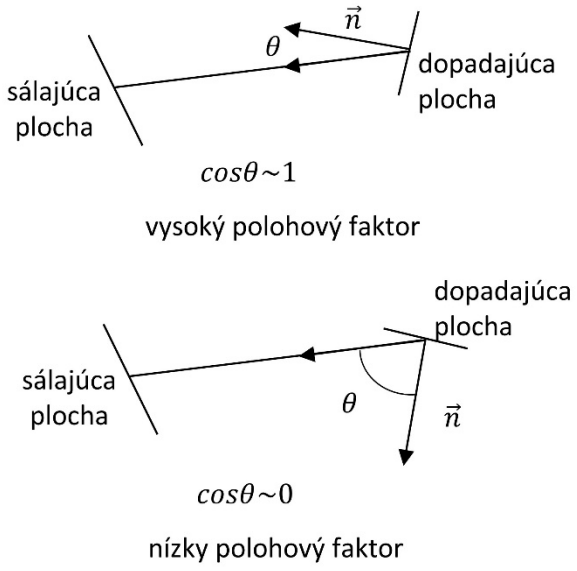
Prstencová časť (prstenec z_i) medzi dvomi valcami sa považuje za radiačný povrch (pozri Obrázok A.12) a indukovaný tepelný tok sa vypočíta z rovnice (A.9). Pridáva sa iba vtedy, $z_j > z_i$ (t.j. ak povrch "vidí" prstenec).

Na pokrytie všetkých možných konfigurácií pomocou rovnice (A.9) je potrebné aplikovať ďalšie pravidlá. Teoreticky, táto rovnica platí iba pre prstenec vycentrovaný v rovine kolmej na cieľ, čo nie je v praxi stály prípad (Obrázok A.12)



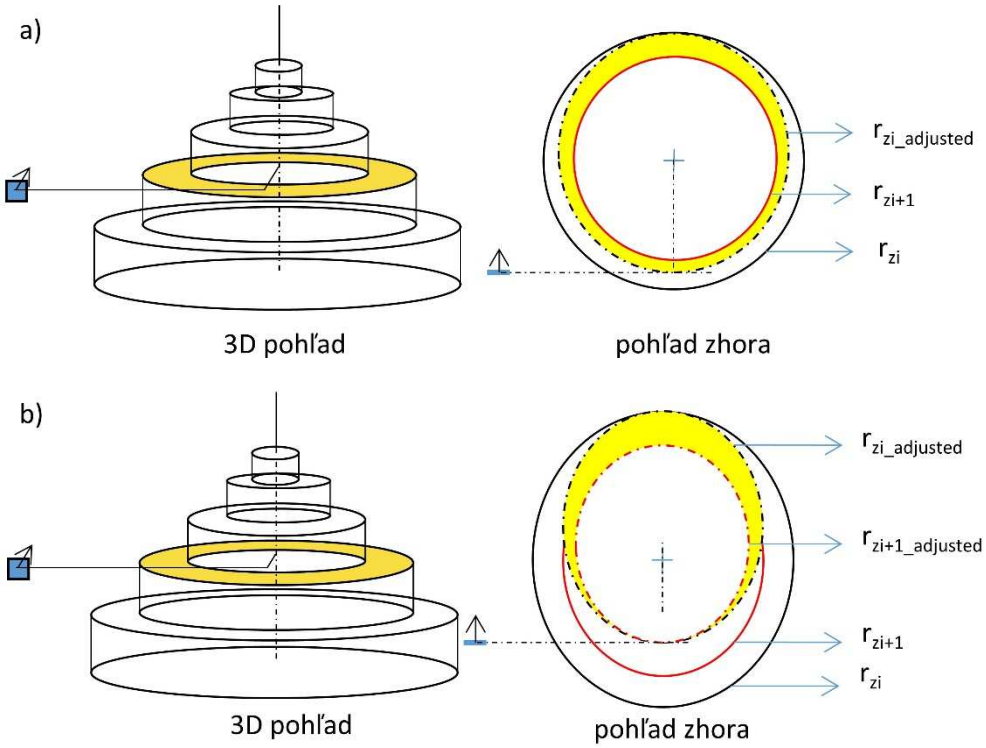
Obrázok A.12 Modelovanie prstenca

Orientácia prijímajúcej plochy má výrazný vplyv na tepelný tok, ktorý sa vymieňa medzi dvomi povrchmi (Obrázok A.13). Rovnica (A.9) zodpovedá prípadu, keď cieľ je kolmý na požiar a udáva najvyšší (najkonzervatívnejší) polohový faktor.



Obrázok A.13 Vplyv orientácie prijímajúcej plochy

Je tiež potrebné brať do úvahy situáciu, keď je prstenec, ako v prípade valca, čiastočne viditeľný (pozri Obrázok A.14). V tomto prípade sa vonkajší i vnútorný polomer prstenca zredukuje tak, aby sa vytvoril viditeľný prstenec s použitím rovnakej metódy, ktorá sa použila pri valci. V príkladoch prezentovaných na obrázku sú znázornené dva prípady, a to pre prstenec definovaný svojim vnútorným polomerom r_{zi+1} a svojim vonkajším polomerom r_{zi}. V prípade a, iba polomer r_{zi} musí byť upravený, zatial čo v prípade b obidva polomery r_{zi} a r_{zi+1} sú upravené.



Obrázok A.14 Spracovanie zložitejšieho prípadu modelovania prstenca

Radiačný tepelný tok absorbovaný povrchom je potom súčtom radiačných tepelných tokov vyžarovaných všetkými valcami a prstencami:

$$\dot{h}_{solid\ flame \to face_j} = \sum_i \sigma.\varepsilon.\left(\left(\theta_f(z_i)+273\right)^4\right).\emptyset_{Cylinder\ z_i \to face_j} + \sum_i \sigma.\varepsilon.\left(\left(\theta_f(z_i)+273\right)^4\right).\emptyset_{Ring\ z_i \to face_j} \quad \text{(A.10)}$$

Nakoniec, priemerný radiačný tepelný tok cez segment o výške z_j je vypočítaný spriemerovaním radiačných tepelných tokov prijímaných štyrmi povrchmi po šírke l_i každej strany:

$$\dot{h}_{rad,section\ z_j} = \frac{\sum_{i=1}^{4} l_i.\dot{h}_{solid\ flame \to face_i}}{\sum_{i=1}^{4} l_i} \quad \text{(A.11)}$$

A.2.1.4 Celkový tepelný tok absorbovaný segmentom stĺpa

Ako bolo uvedené vyššie, ak je stĺp mimo plameňa a uvažovaný segment nie je vo vrstve dymu, potom sa celkový prijímaný tepelný tok rovná radiačnému tepelnému toku:

$$\dot{h}_{total,section\ z_j} = \dot{h}_{rad,section\ z_j} \quad \text{(A.12)}$$

A.2.2 Segment stĺpa vnútri horúcej (hornej) vrstvy

V horúcej vrstve nie je možné zanedbať konvekčný tepelný tok. Dym tiež výrazne ovplyvňuje radiačný tepelný tok cez absorpčno-emisné javy, najmä sadzou. Celkový tepelný tok absorbovaný segmentom sa vypočíta podľa nasledujúcich vzťahov:

V prvom kroku sa zavedie premenná y:

$$y = \frac{d + H + z'}{L_h + H + z'} \tag{A.13}$$

kde:

d je vzdialenosť medzi stĺpom a stredom oblasti požiaru (Obrázok 4.2),

H vzdialenosť medzi zdrojom požiaru a stropom.

Ak sa zdroj požiaru nachádza vo výške z_{fire} , potom:

$$H = h_{ceil} - z_{fire} \tag{A.14}$$

L_h je daná vzťahom:

$$L_h = H\left(2.9Q_h^{0.33} - 1\right) \tag{A.15}$$

Q_h, bezrozmerná hodnota RHR, ktorá je stanovená ako:

$$Q_h = \frac{Q}{1.11 \times 10^6 H^{2.5}} \tag{A.16}$$

z' je definovaná vzťahom:

$$z' = 2.4D_{eq}\left(Q^{*2/5} - Q^{*2/3}\right) \qquad Q^* < 1 \tag{A.17}$$

$$z' = 2.4D_{eq}\left(1 - Q^{*2/5}\right) \qquad Q^* \geq 1 \tag{A.18}$$

Q* bezrozmerná hodnota RHR, ktorá je stanovená podobne ako Q_h:

$$Q^* = \frac{Q}{1.11 \times 10^6 D_{fire}^{2.5}} \tag{A.19}$$

Dopadajúci tepelný tok H_s sa potom vypočíta v závislosti od hodnoty y:

$$\begin{cases} H_s = 100000 \text{ W/m}^2 & y \leq 0.3 \\ H_s = 136300 - 121000.y \text{ W/m}^2 & 0.3 < y < 1.0 \\ H_s = 15000.y^{-3.7} \text{ W/m}^2 & 1.0 \leq \text{y} \end{cases} \tag{A.20}$$

Nakoniec, celkový tepelný tok absorbovaný prijímaný segmentom z_j bude:

$$\dot{h}_{total,section\,z_j} = H_s \tag{A.21}$$

A.3 Stĺp vnútri plochy požiaru

Pre stĺp vnútri plochy požiaru je hlavnou zložkou celkového tepelného toku konvekčný tepelný tok . Navyše, koncept plného plameňa, v ktorom vonkajší povrch plameňa vyžaruje smerom k stĺpu už nie je správny.

Norma STN EN 1991-1-2[2] poskytuje model na výpočet tepelného toku prijímaného v mieste vnútri požiaru. Nižšie uvedený model vychádza z rovníc Eurokódu s malou úpravou.

Znova, ak plamene zasahujú strop, rozlišuje sa medzi segmentmi stĺpa, ktoré nie sú v horúcej (hornej) vrstve pod stropom a segmentmi, ktoré sa v tejto vrstve nachádzajú.

A.3.1 Segment stĺpa mimo horúcej (hornej) vrstvy

Segmenty stĺpa vo výške z_j ktoré sa nachádzajú medzi zemou a výškou $(h_{ceil} - h_{hot\ layer})$, sú obklopené horúcimi plynmi pri teplote stanovenej podľa rovnice (A.4). Dopadajúci tepelný tok sa potom vypočíta ako:

$$\dot{h}_{inside\ flame} = \sigma.\varepsilon.\left(\left(\theta_f(z_j) + 273\right)^4 - 293^4\right) + \alpha_c\left(\theta_f(z_j) - 20\right) \qquad (A.22)$$

kde:

α_c je koeficient prestupu tepla prúdením = 35 W/(m²K), v súlade s normou STN EN 1991-1-2.

Celkový tepelný tok absorbovaný segmentom z_j sa potom vypočíta nasledovne:

$$\dot{h}_{total,section\ z_j} = \dot{h}_{inside\ flame} \qquad (A.23)$$

A.3.2 Segment stĺpa v horúcej (hornej) vrstve

Pre segmenty stĺpa, ktoré sa nachádzajú v horúcej vrstve medzi $(h_{ceil} - h_{hot\ layer})$ a h_{ceil}, sa celkový prijímaný tepelný tok berie ako maximum medzi H_s vypočítaným použitím sústavy rovníc (A.13) až (A.20) a $\dot{h}_{inside\ flame}$ vypočítanej rovnicou (A.22).

A.4 Celkový tepelný tok prijatý segmentom stĺpa

Model uvedený v odsekoch A.2 a A.3 predpokladá iba jeden zdroj požiaru. Je však bežné mať požiarne scenáre, v ktorých sú zapojené viaceré zdroje. V týchto prípadoch môžu byť použité jednoduché sčítavacie pravidlá.

Ak je stĺp mimo oblasti požiaru a nie v horúcej (hornej) vrstve, vtedy radiačný tepelný tok prijímaný ľubovoľným lícom stĺpa je súčtom radiačných tepelných tokov vyžarovaných každým zdrojom za predpokladu hornej hranice 100 kW/m^2.

Ak vezmeme do úvahy n zdrojov požiaru:

$$\dot{h}_{all\ solid\ flame \rightarrow face_j} = \min\left(100000,\quad \sum_{i=1}^{n} \dot{h}_{solid\ flame_i \rightarrow face_j}\right) \qquad (A.24)$$

$$\dot{h}_{rad_{section} z_j} = \frac{\sum_{i=1}^{4} l_i . \dot{h}_{all\ solid\ flame \rightarrow face_i}}{\sum_{i=1}^{4} l_i} \qquad (A.25)$$

V procese priemerovania nedôjde k žiadnej zmene celkového tepelného toku prijatého segmentom stĺpca.

Pre všetky ostatné prípady sa celkový absorbovaný tepelný tok stanoví sčítaním všetkých tepelných tokov každého zdroja požiaru, opäť za predpokladu horného limitu 100 kW/m².

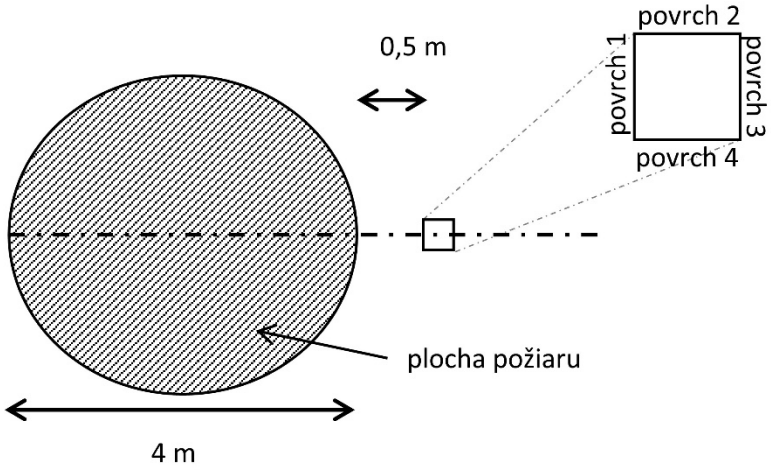
PRÍLOHA B APLIKÁCIA PRE STĹP MIMO OBLASTI POŽIARU

Táto príloha uvádza príklad, ktorý ukazuje praktické využitie modelu. Treba poznamenať, že metódy popísané v časti 4.2 umožňujú projektantovi určiť nárast teploty v stĺpe bez potreby tu uvedeného zložitého numerického postupu.

B.1.1 Popis riešeného prípadu

V príklade sa rieši stĺp mimo oblasti požiaru bez stropnej konštrukcie. Segmenty stĺpa v oblasti požiaru alebo mimo oblasti požiaru, ale vnútri vrstvy dymu nepredstavujú žiadne osobitné ťažkosti, pretože metóda výpočtu používa klasické a jednoduché rovnice, ktoré sa nachádzajú v norme STN EN 1991-1-2.

Obrázok B.1 prezentuje predpokladanú všeobecnú konfiguráciu. Stĺp z prierezu HEB 300 je umiestnený pred nádržou s priemerom 4 m. Vzdialenosť medzi okrajom nádrže a najbližšou stranou oceľového segmentu je 0,5 m. Predpokladá sa, že palivo sa v nádrži spaľuje na konštantnej úrovni 1000 kW/m^2.



Obrázok B.1 Vzájomné vzdialensoti stĺpa a požiaru

B.1.2 Predbežná analýza

Výpočet môže byť zjednodušený istými spôsobmi. Počet výpočtov je úmerný počtu segmentov. Rovnica (A.6) sa značne zjednoduší, ak sú segmenty vo výškach, ktoré sú násobkom výšky valca použitého na modelovanie plameňa (0,5 m). V tomto prípade je premenná y je rovná 0 (pozri Obrázok B.2) a rovnica (A.6) sa redukuje na:

$$\emptyset_{dA_1 \to A_2}(s, x, r, h) = \frac{S}{A} - \frac{S}{2A\pi}\{\pi + L_1 - L_2 + L_3\} \tag{B.1}$$

$$L_1 = cos^{-1}\left(\frac{H^2 - A + 1}{H^2 + A - 1}\right)$$

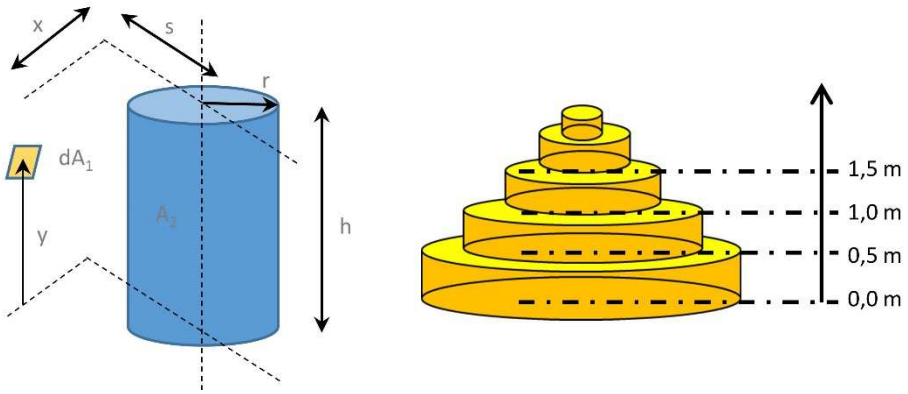
$$L_2 = H\frac{H^2 + A + 1}{\sqrt{(H^2 + A - 1)^2 + 4H^2}}\ cos^{-1}\left(\frac{H^2 - A + 1}{\sqrt{A}(H^2 + A - 1)}\right)$$

$$L_3 = Hcos^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{A}}\right)$$

kde:

$$S = \frac{s}{r} \qquad X = \frac{x}{r} \qquad H = \frac{h}{r} \qquad A = X^2 + S^2 \qquad \text{(B.2)}$$

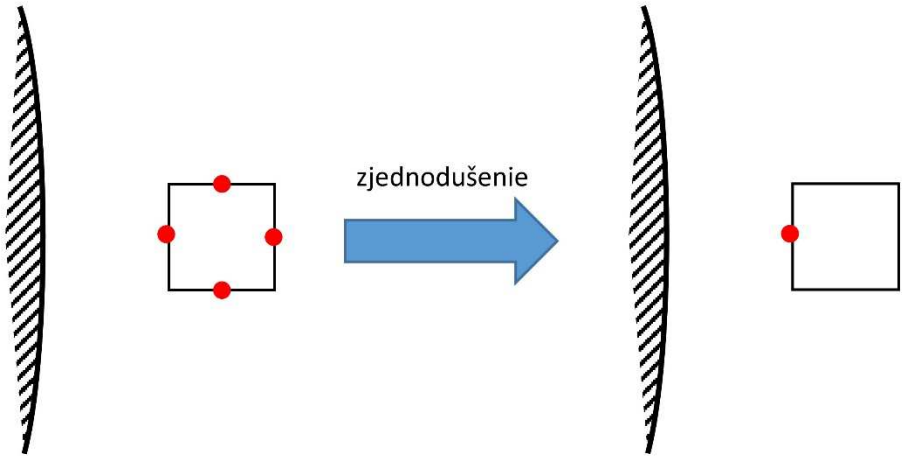
Následne, výpočty sa vykonávajú pre segmenty vo výške 0 m, 0,5 m, 1,0 m atď. V nasledujúcich odsekoch sa tepelný tok vypočíta pre segment vo výške 1,0 m.



Obrázok B.2 Konfigurácia valec-rovinné elementy (vľavo), výšky segmentov pre výpočet (vpravo)

Po druhé, pri tejto konfigurácii sa predpokladá, že žiadny radiačný tepelný tok z plameňa nezasiahne povrch 3. povrchy 2 a 4 sú symetrické a dostávajú rovnaký tepelný tok.

Finálne zjednodušenie sa týka pozície výpočtu tepelného toku pre povrchy. Hoci by to malo byť vykonané v strede každého povrchu (pozri Obrázok B.3), ako zjednodušenie sa výpočty vykonávajú na rovnakej pozícii v strede povrchu 1. Keďže ide o najbližší povrch k nádrži, toto vedie k najvyššiemu tepelnému toku, a preto je výpočet konzervatívny.



Obrázok B.3 Zjednodušenie pozície každého povrchu segmentu pre výpočet tepelného toku

B.1.3 Výpočet tepelného toku

Z rovníc (A.2) až (A.5) je možné určiť vlastnosti každého valca a prstenca. V tomto prípade je výška plameňa 6,15 m (pozri Obrázok B.9). Tepelný tok prijímaný každým povrchom sa určí oddelene.

Pre povrch 1 sa rovnica (B.1) môže priamo použiť na výpočet polohového faktora medzi povrchom 1 a valcami. Predsa len, sčítavacie pravidlo musí byť použité v závislosti od relatívnej výšky medzi valcom a povrchom.

S ohľadom na polohu, ktorú znázorňuje Obrázok B.4, pre povrch 1 a valec C_i (v rozmedzí z_i a z_{i+1}), sa poloha segmentu v lokálnom súradnicovom systéme $(\vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k})$ môže brať ako (s_f, x_f, z_f), ktorou je (2,5, 0,0, 1,0). Štyri situácie, ktoré uvádza Obrázok B.5, sa môžu vyskytnúť a musia sa rozložiť tak, ako je znázornené na rovnakom obrázku.

Ak definujeme polohový faktor $\emptyset_i$ (repektíve $\emptyset_{i+1}$), medzi povrchom 1 a valcom výšky $|z_i - z_f|$ (respektíve $|z_{i+1} - z_f|$) a polomeru r_i:

$$\begin{aligned} \emptyset_i &= \emptyset_{dA_1 \to A_2}(s = s_f, x = x_f, r = r_i, h = |z_i - z_f|) \\ \emptyset_{i+1} &= \emptyset_{dA_1 \to A_2}(s = s_f, x = x_f, r = r_i, h = |z_{i+1} - z_f|) \end{aligned} \tag{B.3}$$

Potom polohový faktor $\emptyset$ medzi povrchom 1 a valcom C_i sa rovná:

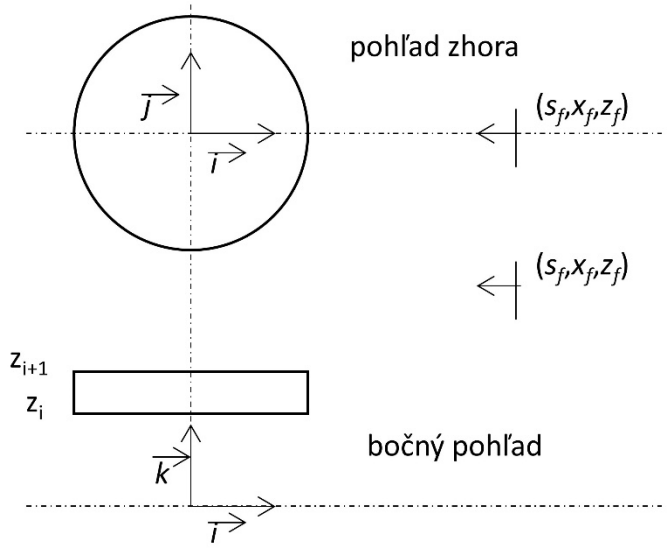
$$\emptyset = |\emptyset_i - \emptyset_{i+1}| \tag{B.4}$$

Posledná časť sa týka tepelného toku indukovaného prstencami. Keďže segment je vo výške 1,0 m, pod segmentom je iba jeden prstenec (pri 0,5 m). Pomocou rovnice (A.3), sa polomery prstenca (vonkajší a vnútorný) môžu vypočítať nasledovne:

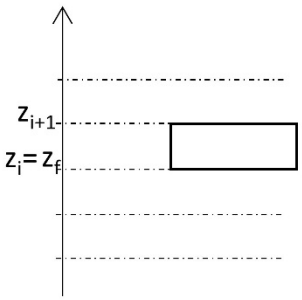
$$\begin{aligned} r(z_i = 0.0) &= 2.00 \text{ m} \\ r(z_{i+1} = 0.5) &= 1.84 \text{ m} \end{aligned} \tag{B.5}$$

Dopadajúci tepelný tok sa nakoniec vypočíta ako súčet všetkých príspevkov (rovnica (A.9)). Výsledkom je dopadajúce teplo na povrchu 1 o hodnote 76,36 kW/m² a absorbovaný tepelný tok je 53,45 kW/m², za predpokladu emisivity 0,7.

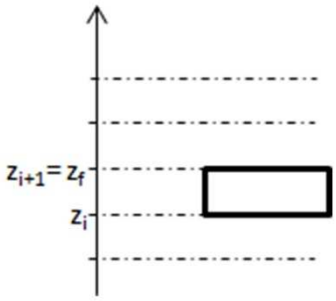
Obrázok B.9 znázorňuje tento postup implementovaný do tabuľkového procesora Excel pre tento príklad.



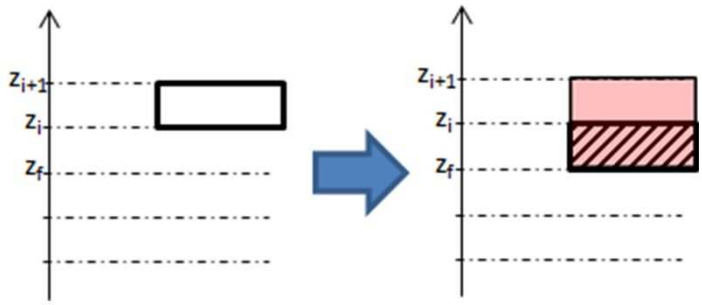
Obrázok B.4 Súradnice povrchu 1



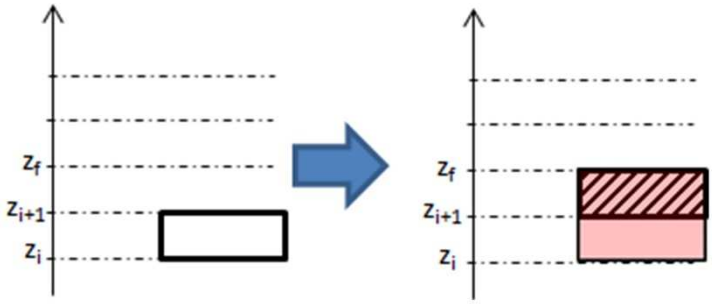
Obrázok B.5 Relatívna pozícia povrchu 1: valec a rozloženie, Prípad a



Obrázok B.6 Relatívna pozícia povrchu 1: valec a rozloženie, Prípad b



Obrázok B.7 Relatívna pozícia povrchu 1: valec a rozloženie, Prípad c

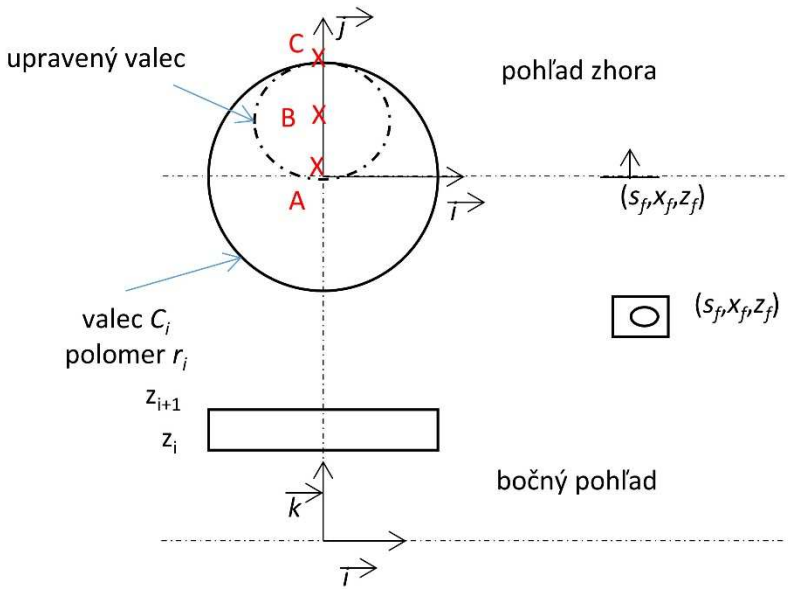


Obrázok B.8 Relatívna pozícia povrchu 1: valec a rozloženie, Prípad d

	Input data						Constant			Section coordinate				Intermediate variables			
	HRR	Dfire	Q	Q	hf		σ	Tabs		sf	xf	zf		z_{virt}	l		
	kW/m²	m	W	MW	m					m	m	m					
	1000	4	12566370.6	12.57	6.15		5.67E-08	273.15		2.5	0	1		-0.46	2.5		
						Cylinder										Ring	
zi	Tf	ri	$F_{cylinder_zi}$	F_{ring_zi}	$Flux_{face1}$	Fi	Fi+1	S	X	A	Hi	Hi+1	|zi-zf|	|zi+1-zf|	H	Ri	
m	°C	m	-	-	kW/m²	-	-	-	-	-	-	-	m	m	-	-	
0	900	2.00	0.0726	0	7.79	0.3705	0.2979	1.25	0	1.56	0.50	0.25	1.00	0.50	0	0.00	
0.5	900	1.84	0.2374	0.0555	31.45	0.2374	0.0000	1.36	0	1.85	0.27	0.00	0.50	0.00	0.20	0.80	
1	900	1.67	0.1893	0	20.33	0.0000	0.1893	1.49	0	2.23	0.00	0.30	0.00	0.50	0	0.73	
1.5	900	1.51	0.0823	0	8.84	0.1514	0.2337	1.65	0	2.73	0.33	0.66	0.50	1.00	0	0.67	
2	900	1.35	0.0361	0	3.88	0.1953	0.2315	1.85	0	3.43	0.74	1.11	1.00	1.50	0	0.60	
2.5	900	1.19	0.0177	0	1.91	0.1958	0.2136	2.11	0	4.43	1.26	1.68	1.50	2.00	0	0.54	
3	900	1.02	0.0095	0	1.02	0.1797	0.1893	2.44	0	5.95	1.95	2.44	2.00	2.50	0	0.47	
3.5	900	0.86	0.0054	0	0.58	0.1564	0.1618	2.90	0	8.41	2.90	3.48	2.50	3.00	0	0.41	
4	900	0.70	0.0031	0	0.34	0.1296	0.1328	3.57	0	12.77	4.29	5.00	3.00	3.50	0	0.34	
4.5	828	0.54	0.0018	0	0.15	0.1009	0.1027	4.66	0	21.68	6.52	7.45	3.50	4.00	0	0.28	
5	708	0.37	0.0010	0	0.05	0.0711	0.0720	6.68	0	44.58	10.68	12.02	4.00	4.50	0	0.21	
5.5	615	0.21	0.0004	0	0.02	0.0405	0.0409	11.80	0	139.24	21.24	23.60	4.50	5.00	0	0.15	
6	540	0.05	0.0001	0	0.00	0.0095	0.0096	50.71	0	2571.11	101.41	111.55	5.00	5.50	0	0.08	
6.5	479	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.50	6.00	0	0.02	
7	429	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.00	6.50	0	0	
7.5	387	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.50	1.00	0	0	
		Incident heat flux on face 1			76.36	kW/m²											
		Absorbed heat flux on face 1			53.45	kW/m²											

Obrázok B.9 Príklad listu programu Excelu pre výpočet dopadajúceho tepelného toku na povrch 1

Pre povrch 2 (a povrch 4), rovnicu(A.9) nemožno priamo použiť, pretože niektoré časti plameňa nie sú viditeľné. Pre povrch 2 a valec C_i (v rozmedzí z_i a z_{i+1}) je poloha povrchu 2 definovaná v lokálnom súradnicovom systéme $(\vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k})$ ako (s_f, x_f, z_f) (Obrázok B.10). Ako bolo uvedené v predchádzajúcej časti, valec Ci je prispôsobený a sú zavedené ďalšie body A, B a C. Najzložitejšou časťou je definovanie tohoto upraveného valca.



Obrázok B.10 Súradnice povrchu 2

Bod A zodpovedá bodu s najmenšou y-súradnicou r_{min} pre upravený valec:

$$r_{min} = max(-r_i,\ x_f) \tag{B.6}$$

Bod C zodpovedá bodu s najväčšou y-súradnicou r_{max} pre upravený valec:

$$r_{max} = r_i \tag{B.7}$$

Bod B zodpovedá stredu upraveného valca:

$$y_{centre} = \frac{r_{min} + r_{max}}{2} \tag{B.8}$$

Polomer upraveného valca je:

$$r_{adjusted} = \frac{r_{max} - r_{min}}{2} \tag{B.9}$$

Toto umožňuje určiť parametre upraveného valca, ktoré sa použijú v rovnici (B.1).

V prípade valca C_0 medzi 0 m a 0,5 m, je počiatočný polomer 2 m, takže:

$$r_{min} = max(-2.0) = 0 \text{ m}$$

$$r_{max} = 2 \text{ m}$$

$$y_{centre} = \frac{0+2}{2} = 1 \text{ m} \tag{B.10}$$

$$r_{adjusted} = \frac{2-0}{2} = 1 \text{ m}$$

V závislosti od relatívnej výšky povrchu 2 a modifikovaného valca musí byť použité sčítavacie pravidlo, podobne ako pri povrchu 1:

$$\emptyset_i = \emptyset_{dA_1 \to A_2} \begin{pmatrix} s = y_{centre} - x_f \\ x = s_f \\ r = r_{adjusted} \\ h = \left| z_i - z_f \right| \end{pmatrix}$$

$$\emptyset_{i+1} = \emptyset_{dA_1 \to A_2} \begin{pmatrix} s = y_{centre} - x_f \\ x = s_f \\ r = r_{adjusted} \\ h = \left| z_{i+1} - z_f \right| \end{pmatrix} \tag{B.11}$$

Potom polohový faktor ∅ medzi povrchom 2 a upraveným valcom sa rovná:

$$\emptyset = |\emptyset_{i+1} - \emptyset_i| \tag{B.12}$$

Radiačný tepelný tok, vyžarovaný prstencami, je opäť obmedzený na prstenec pri 0,5 m, presnejšie na upravený prstenec, definovaný svojimi (vnútorným a vonkajším) polomermi, ktoré zodpovedajú polomeru upraveného valca, ktorý bol predtým vypočítaný pre vonkajší polomer (1 m). Pri vnútornom polomere, počiatočný polomer veľkosti 1,84 m je redukovaný na 0,92 m (pozri hodnotu r_i pri z_i = 0.5 m, Obrázok B.11).

Dopadajúci tepelný tok na povrch 2 je potom súčet všetkých príspevkov upraveného plného plameňa, ktorý sa rovná 7,41 kW/m². S emisivitou rovnou 0,7 pre stĺp bude absorbovaný radiačný tepelný tok rovný 5,19 kW/m². Obrázok B.11 znázorňuje tento postup implementovaný do tabuľkového procesora Excel pre tento príklad.

To znamená, že radiačný tepelný tok absorbovaný každým povrchom je:

$$\dot{h}_{solid\ flame \to face_1} = 53.45 \text{ kW/m}^2$$

$$\dot{h}_{solid\ flame \to face_2} = 6.00 \text{ kW/m}^2$$

$$\dot{h}_{solid\ flame \to face_3} = 0 \text{ kW/m}^2 \tag{B.13}$$

$$\dot{h}_{solid\ flame \to face_4} = 6.00 \text{ kW/m}^2$$

Keďže šírka každej strany prierezu HEB 300 je 0,3 m, potom celkový tepelný tok prijímaný segmentom pri výške 1,0 m je:

$$\dot{h}_{total,section\ z_j} = \frac{53.45 + 6.00 + 0 + 6.00}{4} = 16.36 \text{ kW/m}^2 \tag{B.14}$$

						Ring		
zi	Tf	ri	$F_{cylinder_zi}$	F_{ring_zi}	$Flux_{face2}$	H	Ri	Ri+1
m	°C	m	-	-	kW/m²	-	-	-
0	900	2.00	0.0175	0	1.88	0	0.00	0.00
0.5	900	1.84	0.0193	0.0060	2.71	0.20	0.40	0.37
1	900	1.67	0.0160	0	1.72	0	0.37	0.33
1.5	900	1.51	0.0103	0	1.10	0	0.33	0.30
2	900	1.35	0.0056	0	0.60	0	0.30	0.27
2.5	900	1.19	0.0028	0	0.30	0	0.27	0.24
3	900	1.02	0.0014	0	0.15	0	0.24	0.20
3.5	900	0.86	0.0006	0	0.07	0	0.20	0.17
4	900	0.70	0.0003	0	0.03	0	0.17	0.14
4.5	828	0.54	0.0001	0	0.01	0	0.14	0.11
5	708	0.37	0.0000	0	0.00	0	0.11	0.07
5.5	615	0.21	0.0000	0	0.00	0	0.07	0.04
6	540	0.05	0.0000	0	0.00	0	0.04	0.01
6.5	479	0	0	0	0	0	0.01	0.00
7	429	0	0	0	0	0	0	0
7.5	387	0	0	0	0	0	0	0
		Incident heat flux on face 2			8.57	kW/m²		
		Absorbed heat flux by face 2			6.00	kW/m²		

Input data				
HRR	Dfire	Q	Q	hf
kW/m²	m	W	MW	m
1000	4	12566370.6	12.57	6.15

Section coordinate		
sf	xf	zf
m	m	m
2.5	0	1

Constant			Intermediate variables	
σ	Tabs		z_{virt}	l
5.67E-08	273.15		-0.46	2.5

Modified cylinder / ring				Cylinder									
rmin	rmax	$ri_{_adjusted}$	y_{center}	Fi	Fi+1	s	S	X	A	Hi	Hi+1	$\lvert z_i-z_f \rvert$	$\lvert z_{i+1}-z_f \rvert$
m	m	m	m	-	-	-	-	-	-	-	-	m	m
0	2.00	1.00	1.00	0.0403	0.0229	1.00	1.00	2.50	7.25	1.00	0.50	1.00	0.50
0	1.84	0.92	0.92	0.0193	0.0000	0.92	1.00	2.72	8.40	0.54	0.00	0.50	0.00
0	1.67	0.84	0.84	0.0000	0.0160	0.84	1.00	2.99	9.91	0.00	0.60	0.00	0.50
0	1.51	0.76	0.76	0.0130	0.0233	0.76	1.00	3.31	11.93	0.66	1.32	0.50	1.00
0	1.35	0.67	0.67	0.0185	0.0241	0.67	1.00	3.70	14.72	1.48	2.22	1.00	1.50
0	1.19	0.59	0.59	0.0187	0.0215	0.59	1.00	4.21	18.74	2.53	3.37	1.50	2.00
0	1.02	0.51	0.51	0.0161	0.0174	0.51	1.00	4.88	24.81	3.90	4.88	2.00	2.50
0	0.86	0.43	0.43	0.0124	0.0130	0.43	1.00	5.80	34.64	5.80	6.96	2.50	3.00
0	0.70	0.35	0.35	0.0086	0.0089	0.35	1.00	7.15	52.09	8.58	10.01	3.00	3.50
0	0.54	0.27	0.27	0.0053	0.0054	0.27	1.00	9.31	87.70	13.04	14.90	3.50	4.00
0	0.37	0.19	0.19	0.0026	0.0027	0.19	1.00	13.35	179.33	21.37	24.04	4.00	4.50
0	0.21	0.11	0.11	0.0009	0.0009	0.11	1.00	23.60	557.97	42.48	47.20	4.50	5.00
0	0.05	0.02	0.02	0.0000	0.0000	0.02	1.00	101.41	10285.43	202.82	223.11	5.00	5.50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.50	6.00
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.00	6.50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.50	1.00

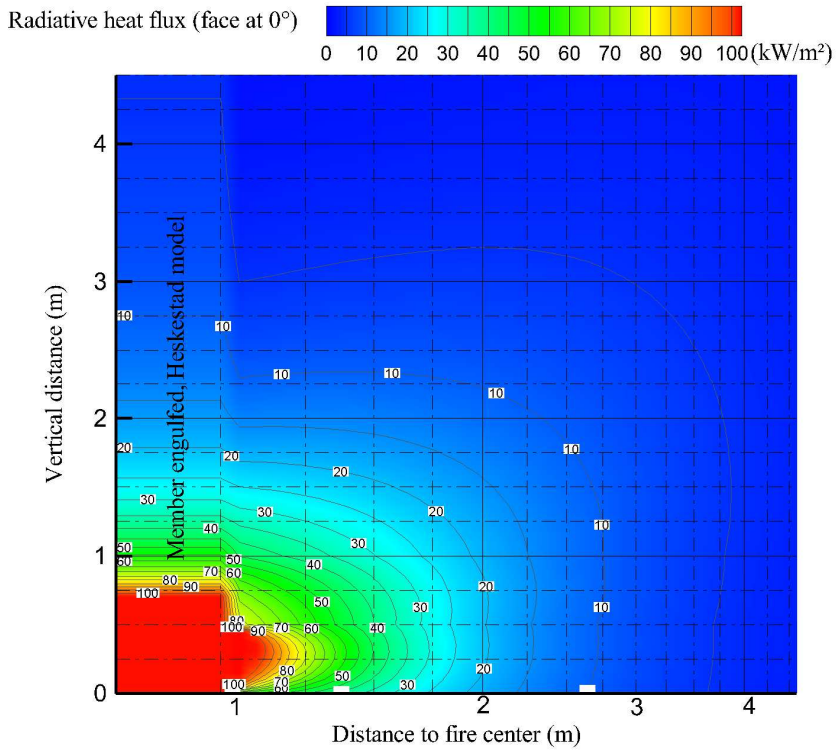
Obrázok B.11 Príklad listu programu Excelu pre výpočet dopadajúceho tepelného toku na povrch 2

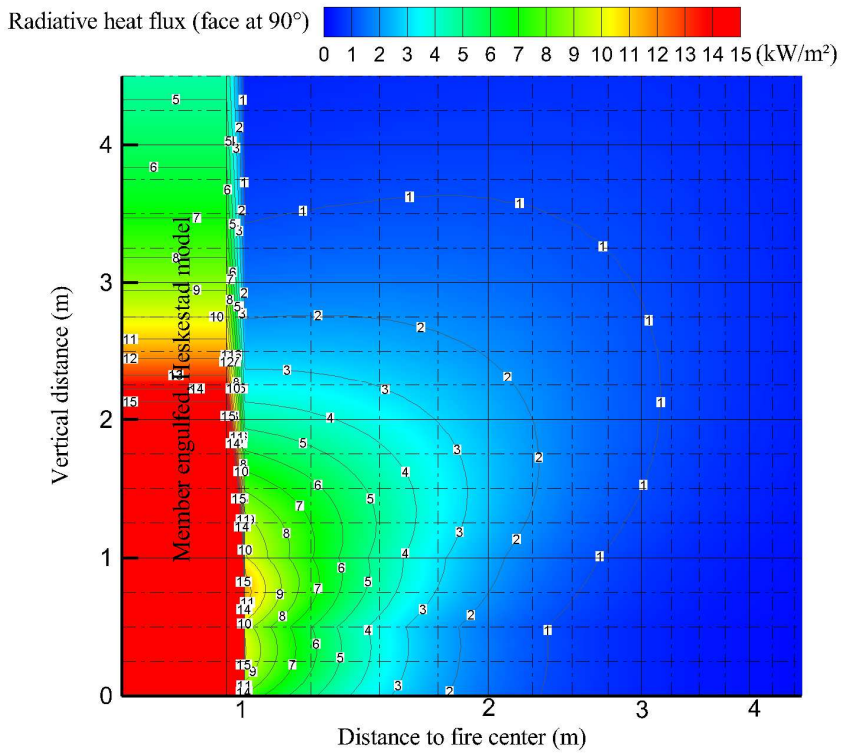
PRÍLOHA C OBRYSOVÉ GRAFY

Tabuľka C.1 uvádza zoznam obrysových grafov uvedených v tejto prílohe.

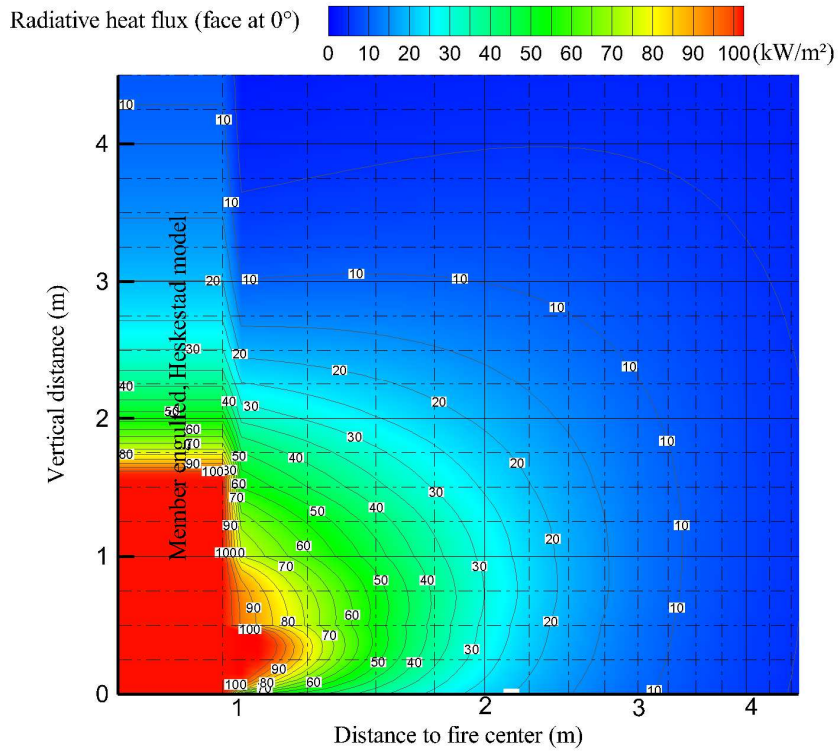
Tabuľka C.1 Zoznam obrysových grafov

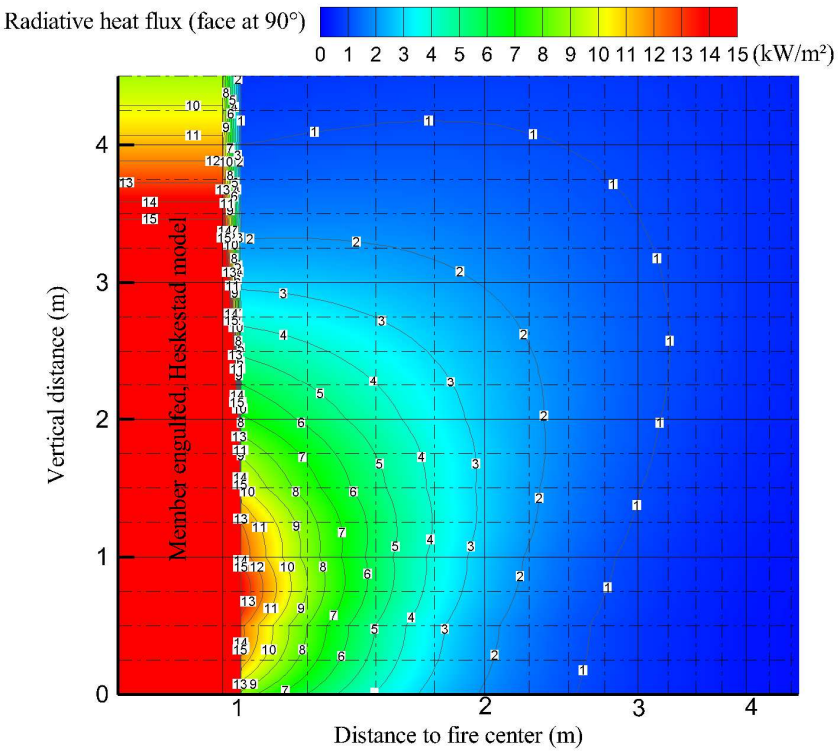
Číslo obrázku	D (m)	RHR (kW/m²)		Strana
		(kW/m²)	(MW)	
C.1	2	250	0.8	58
C.2	2	500	1.6	59
C.3	2	1000	3.1	60
C.4	2	1500	4.7	61
C.5	3	250	1.8	62
C.6	3	500	3.5	63
C.7	3	1000	7.1	64
C.8	3	1500	10.6	65
C.9	4	250	3.1	66
C.10	4	500	6.3	67
C.11	4	1000	12.6	68
C.12	4	1500	18.8	69
C.13	6	250	7.1	70
C.14	6	500	14.1	71
C.15	6	1000	28.3	72
C.16	6	1500	42.4	73
C.17	8	250	12.6	74
C.18	8	500	25.1	75
C.19	8	1000	50.3	76
C.20	9	250	15.9	77
C.21	9	500	31.8	78
C.22	9	750	47.7	79
C.23	10	250	19.6	80
C.24	10	500	39.3	81



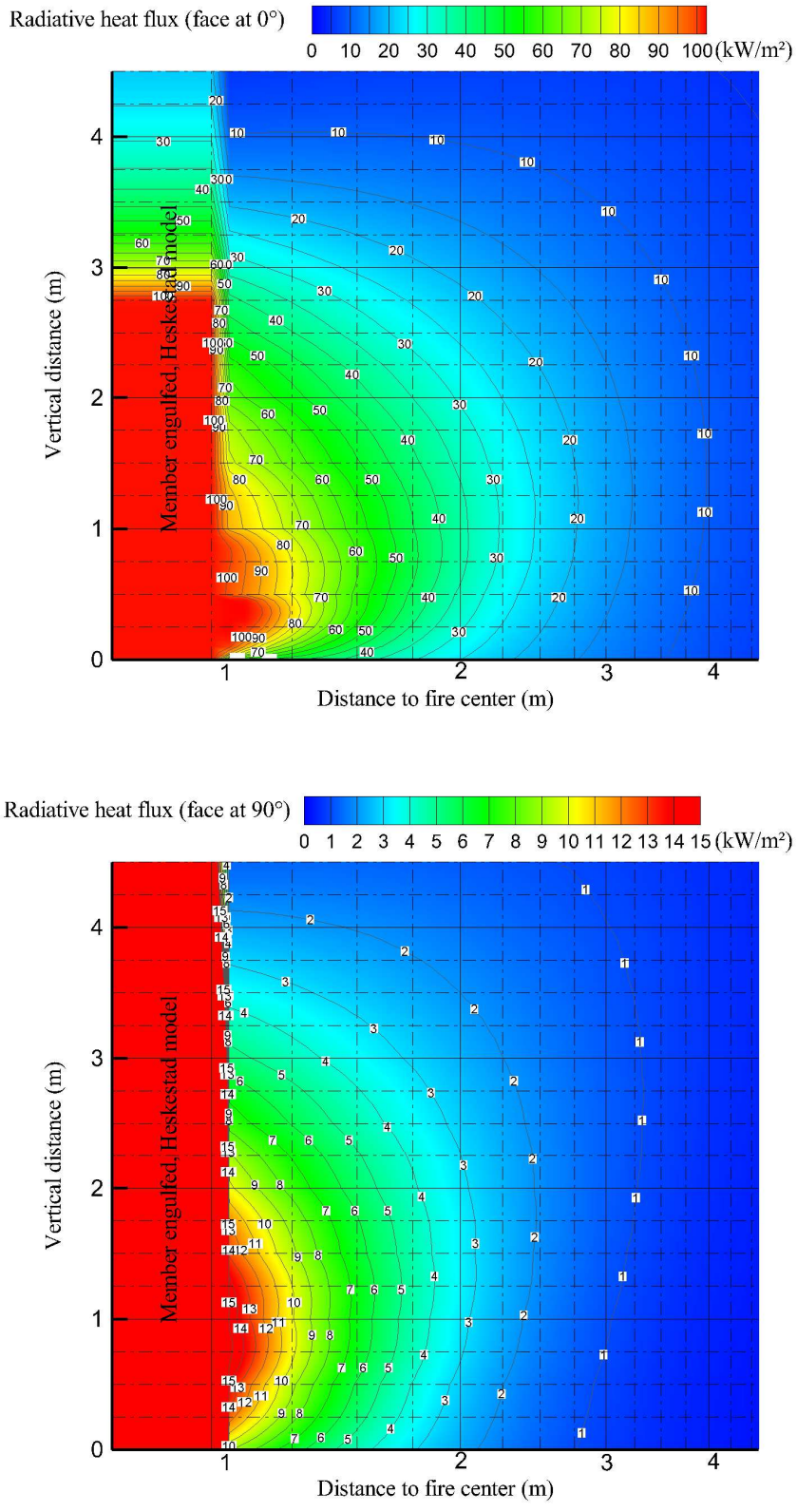


Obrázok C.1 Obrysový graf pre D = 2 m a HRR = 250 kW/m²

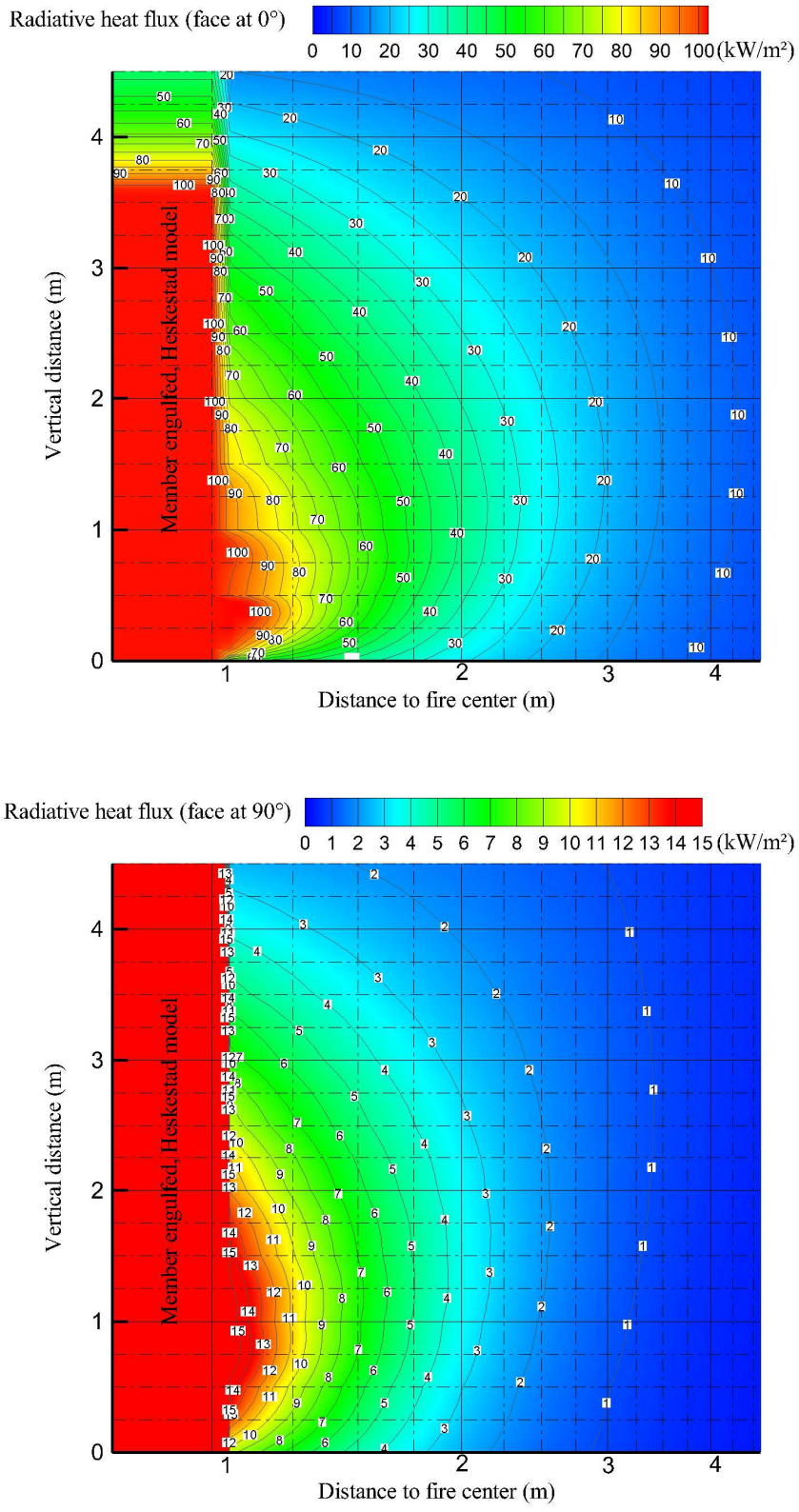




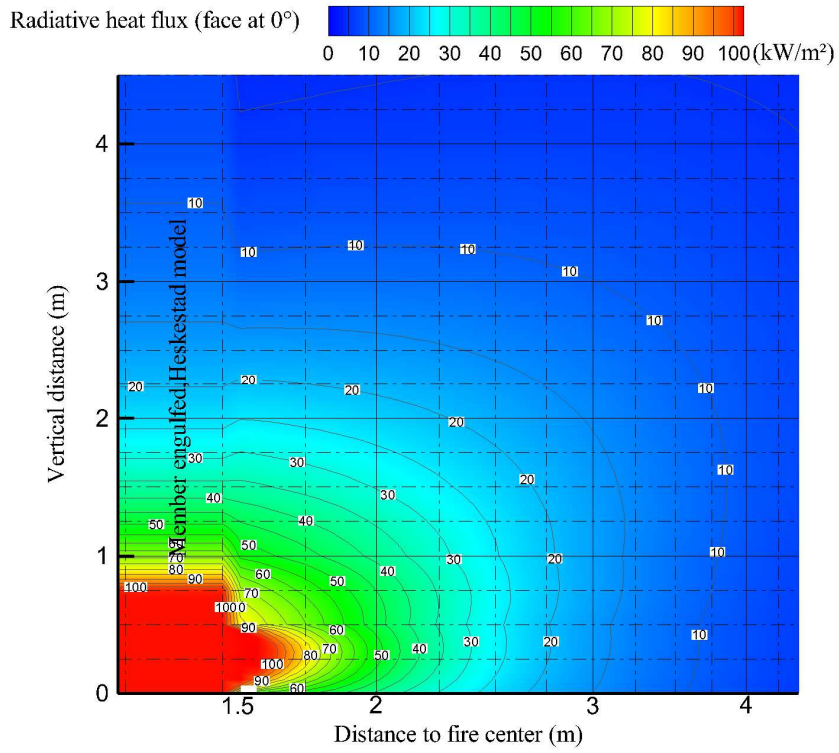
Obrázok C.2 Obrysový graf pre D = 2 m a HRR = 500 kW/m²

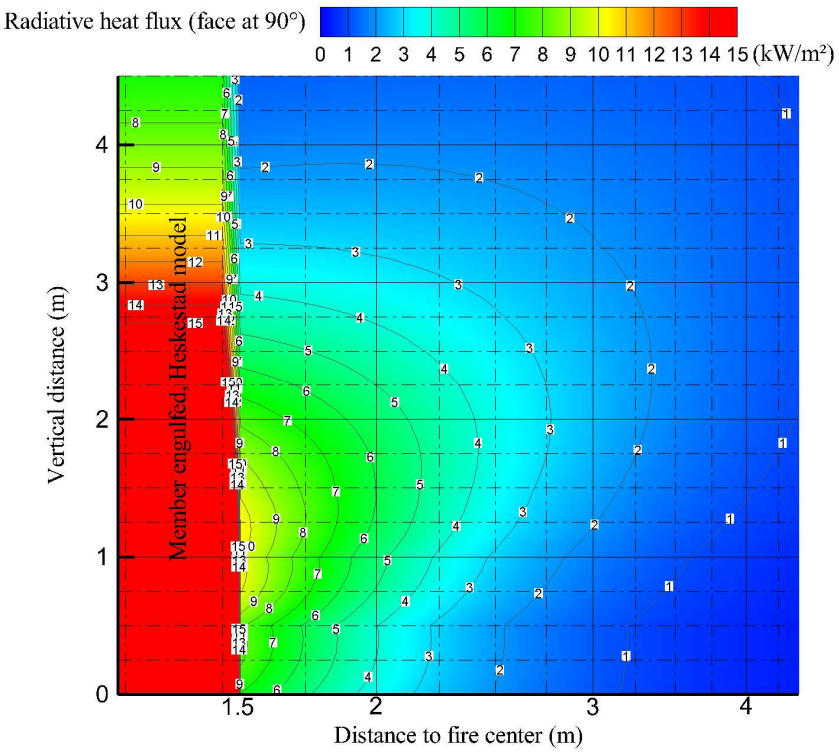


Obrázok C.3 Obrysový graf pre D = 2 m a HRR = 1000 kW/m²

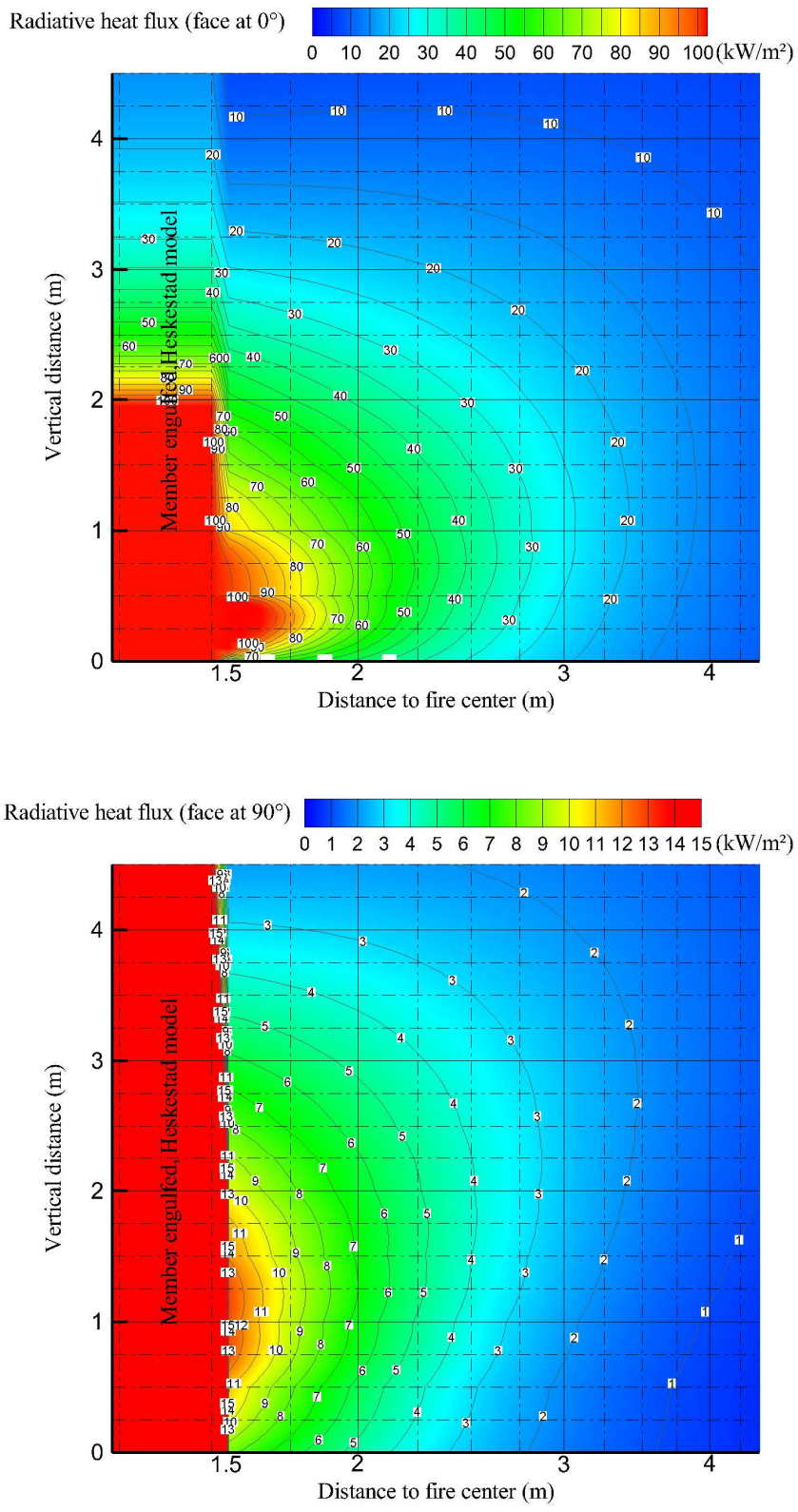


Obrázok C.4 Obrysový graf pre D = 2 m a HRR = 1500 kW/m²

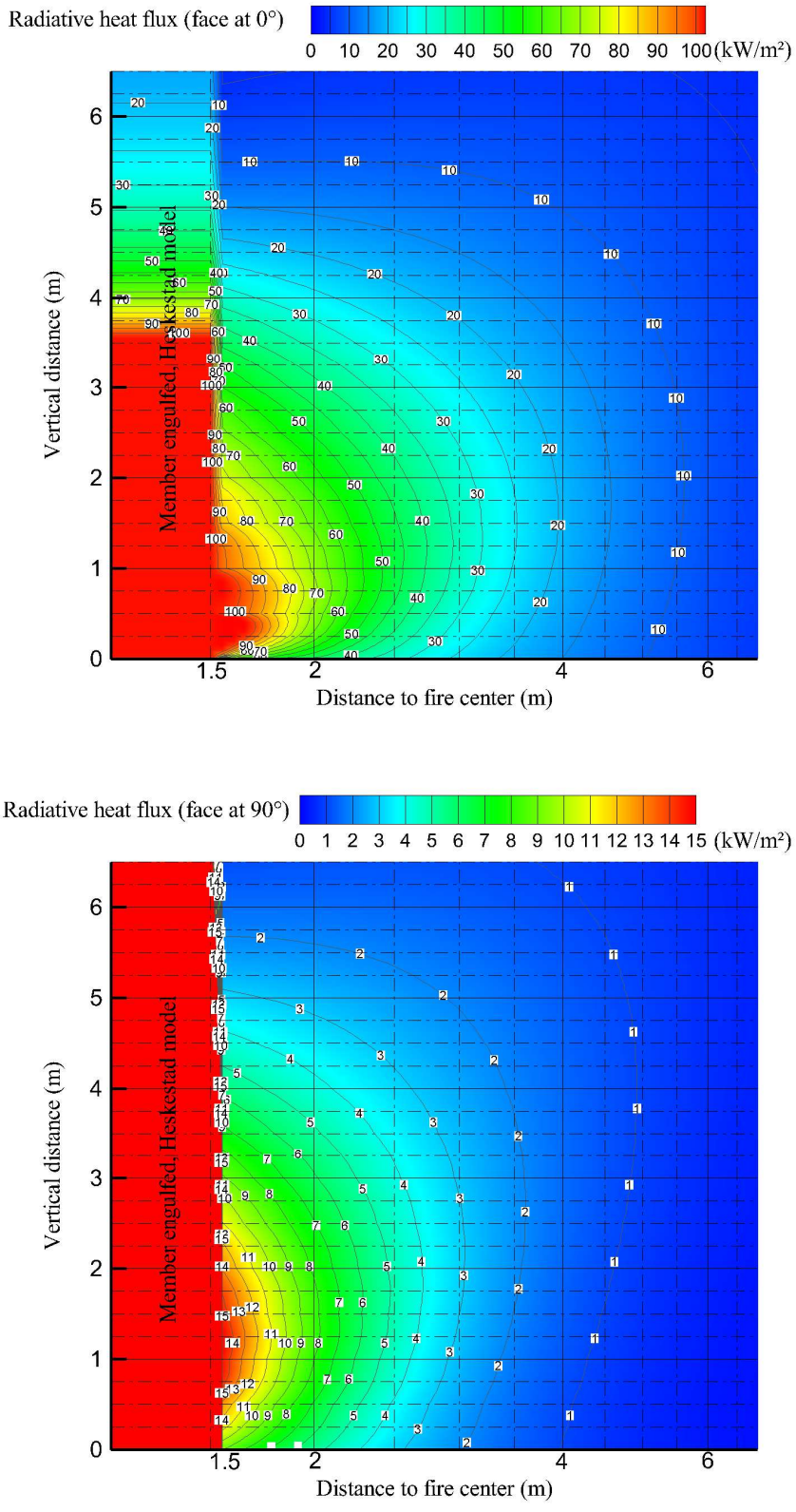




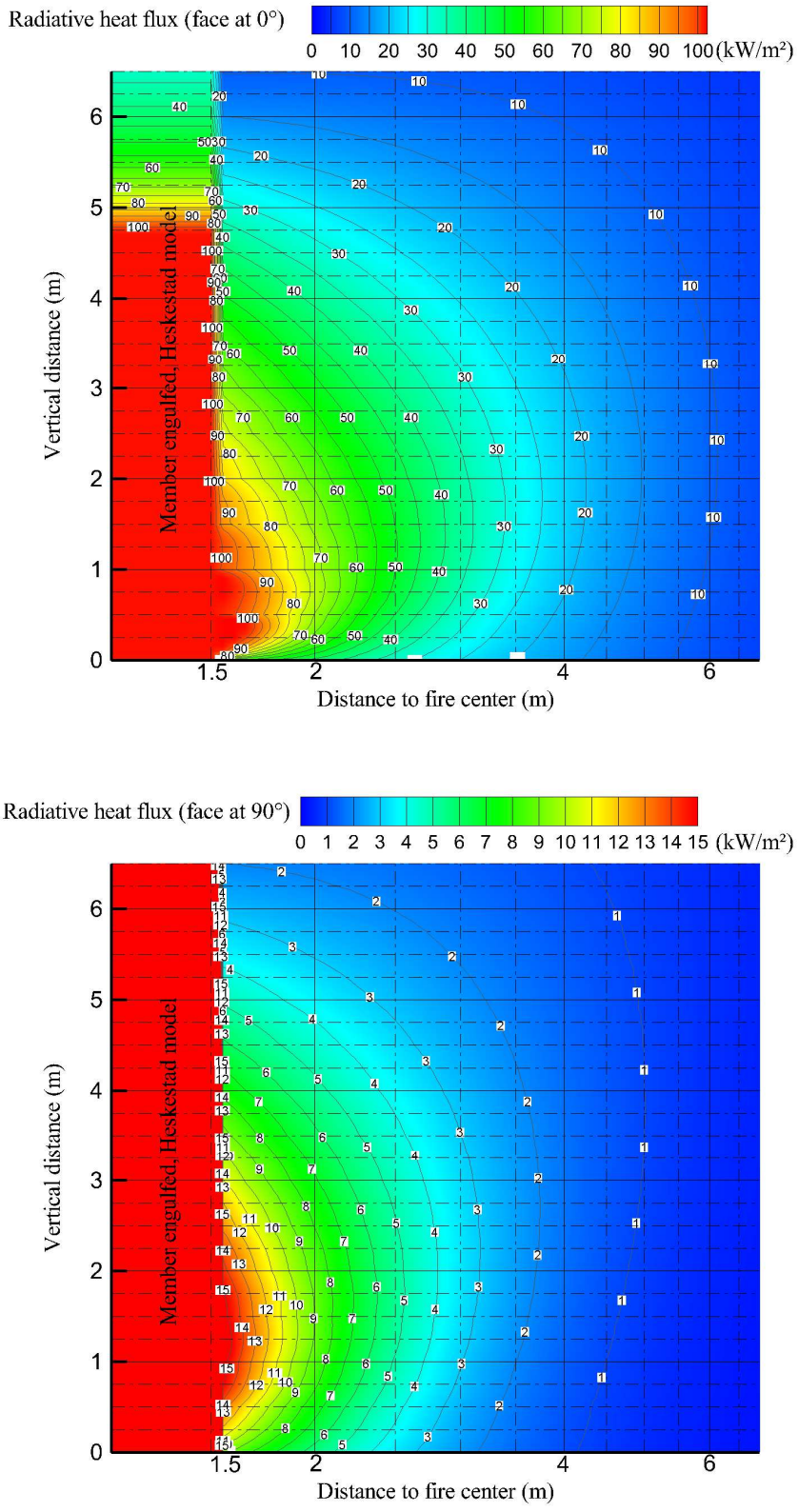
Obrázok C.5 Obrysový graf pre D = 3 m a HRR = 250 kW/m²



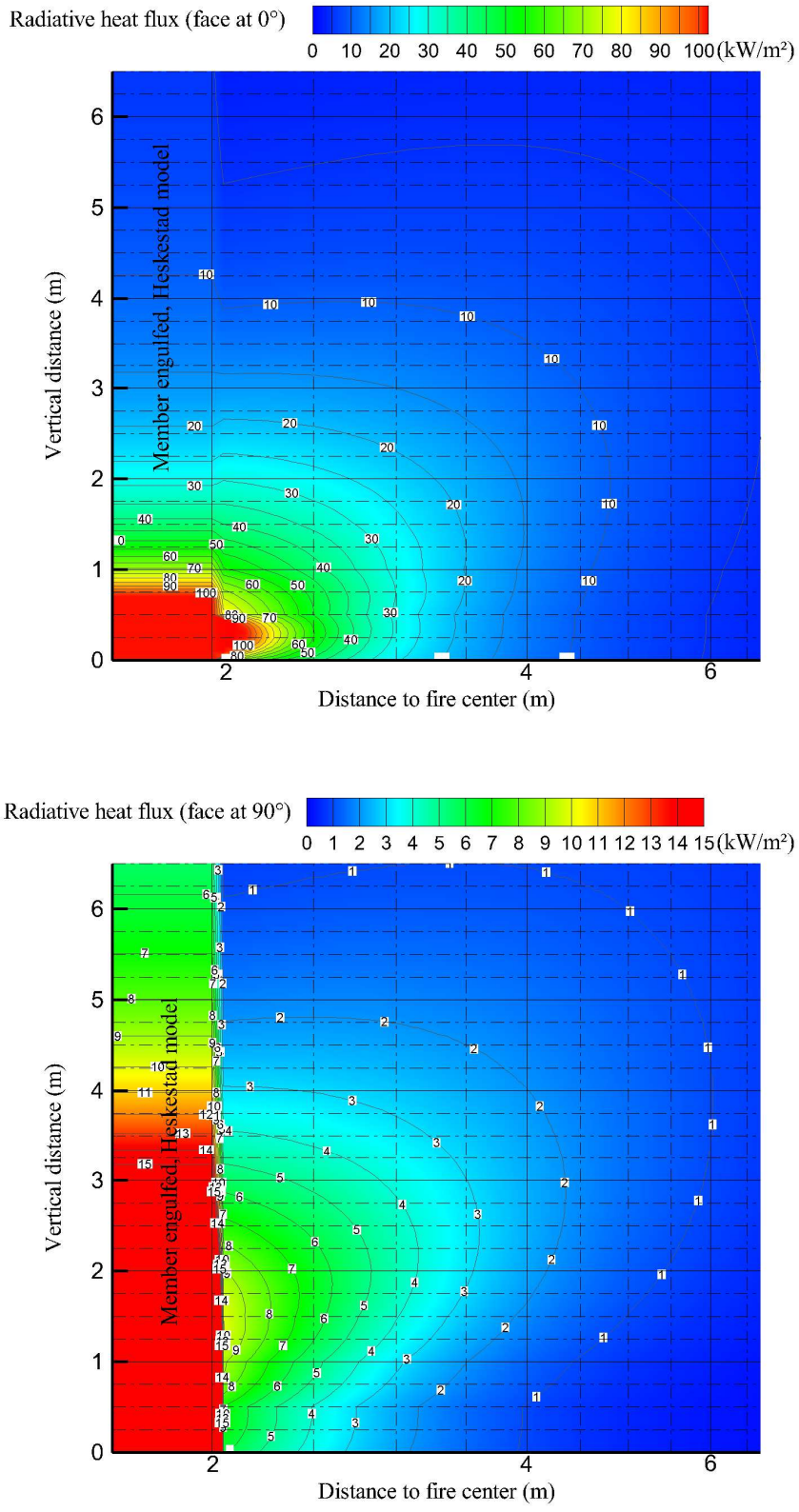
Obrázok C.6 Obrysový graf pre D = 3 m a HRR = 500 kW/m²



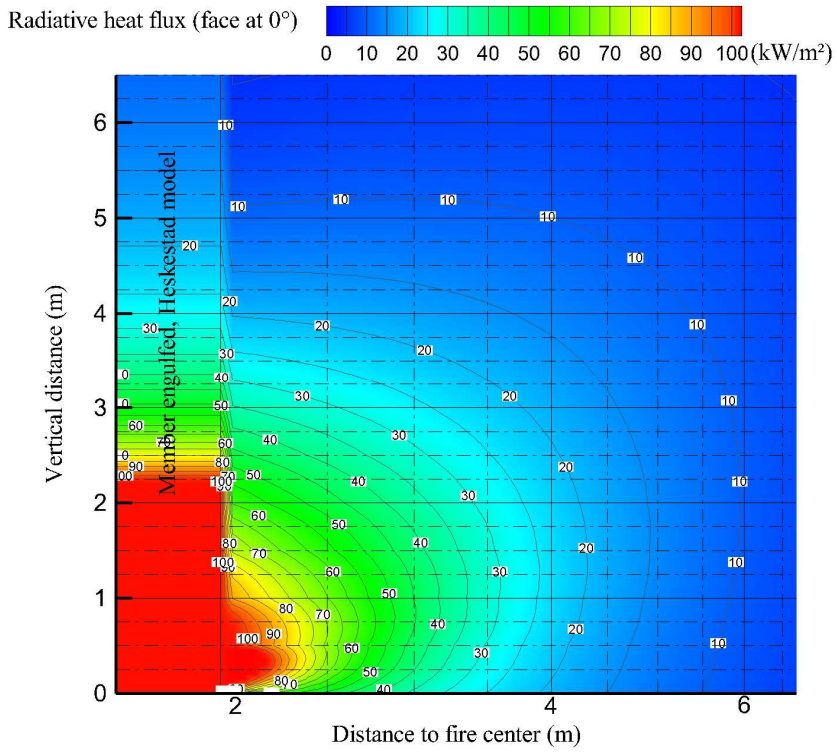
Obrázok C.7 Obrysový graf pre D = 3 m a HRR = 1000 kW/m²

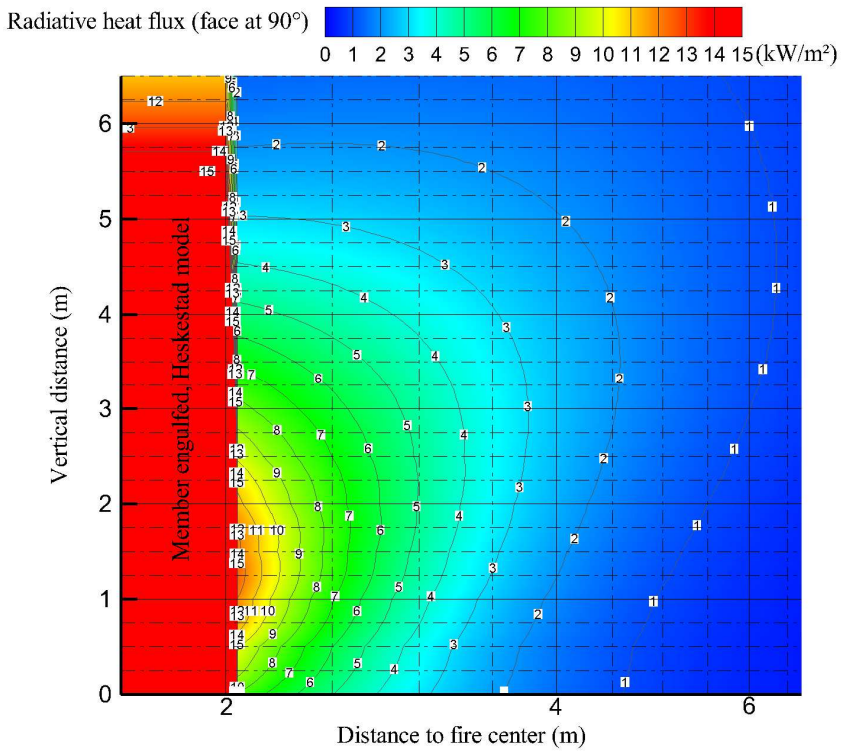


Obrázok C.8 Obrysový graf pre D = 3 m a HRR = 1500 kW/m²

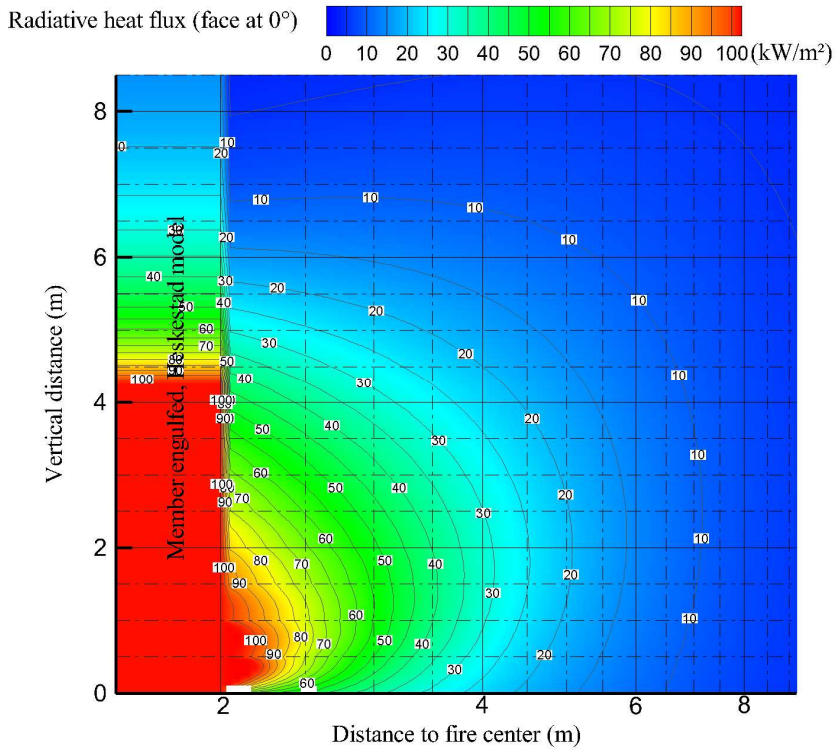


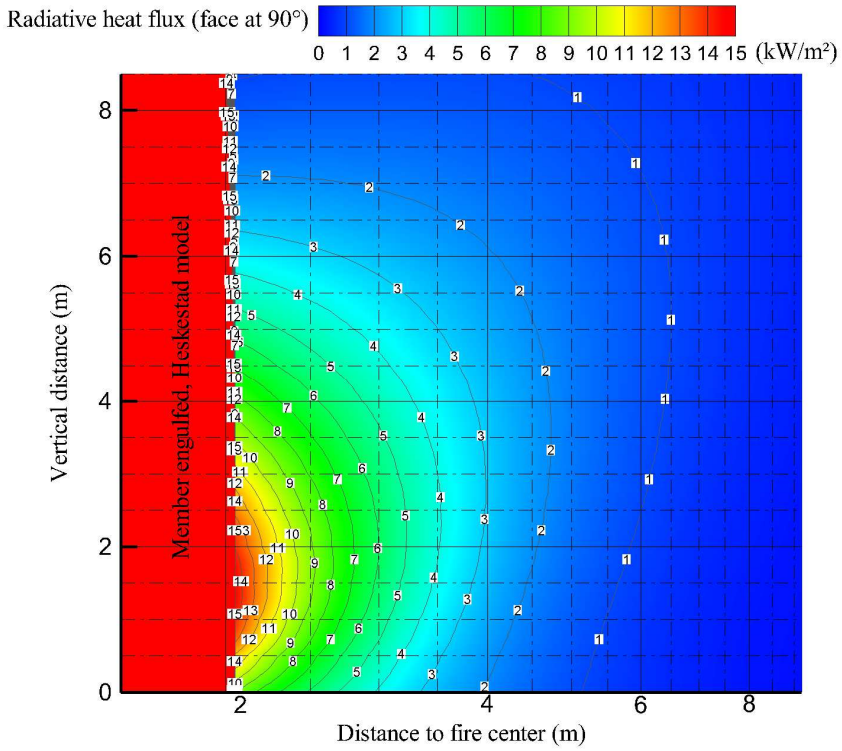
Obrázok C.9 Obrysový graf pre D = 4 m a HRR = 250 kW/m²



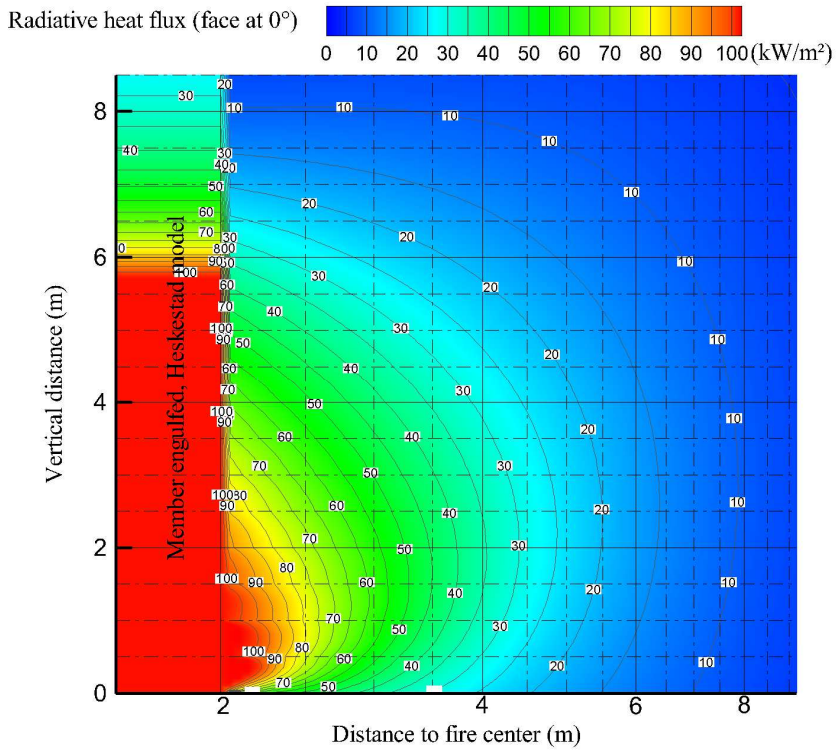


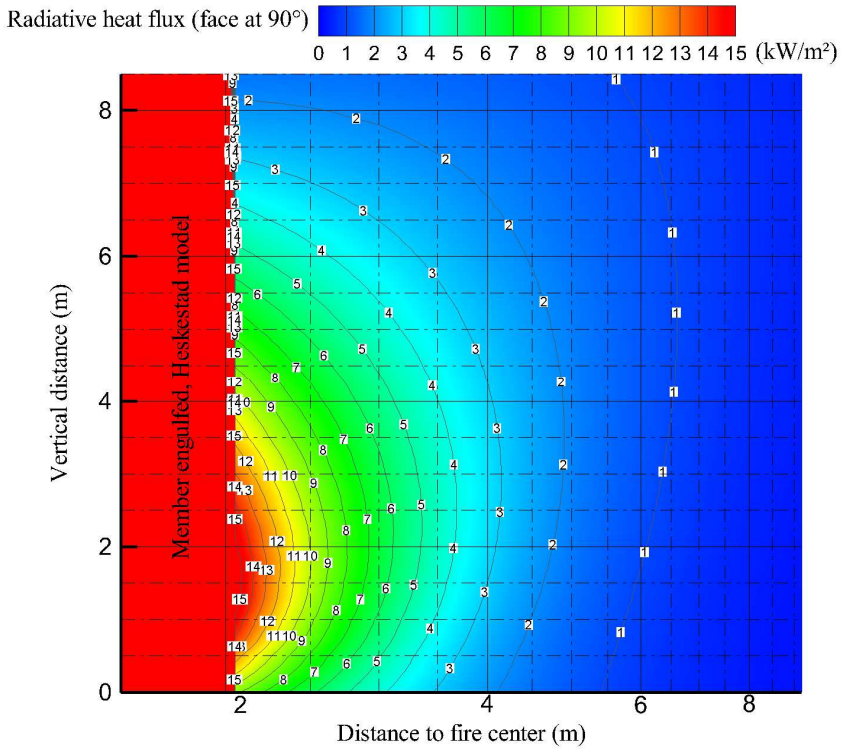
Obrázok C.10 Obrysový graf pre D = 4 m a HRR = 500 kW/m²



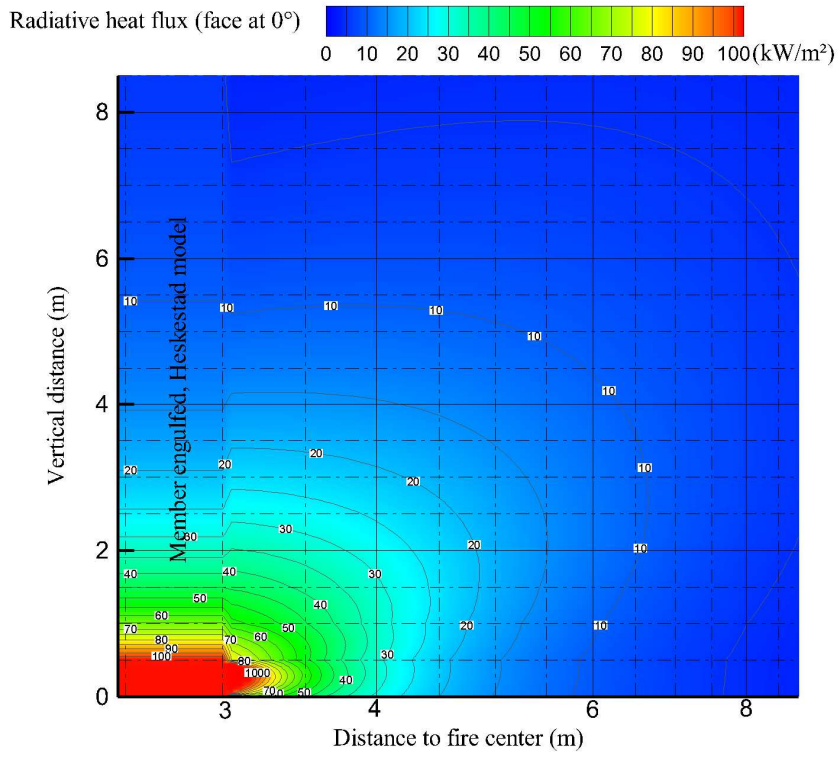


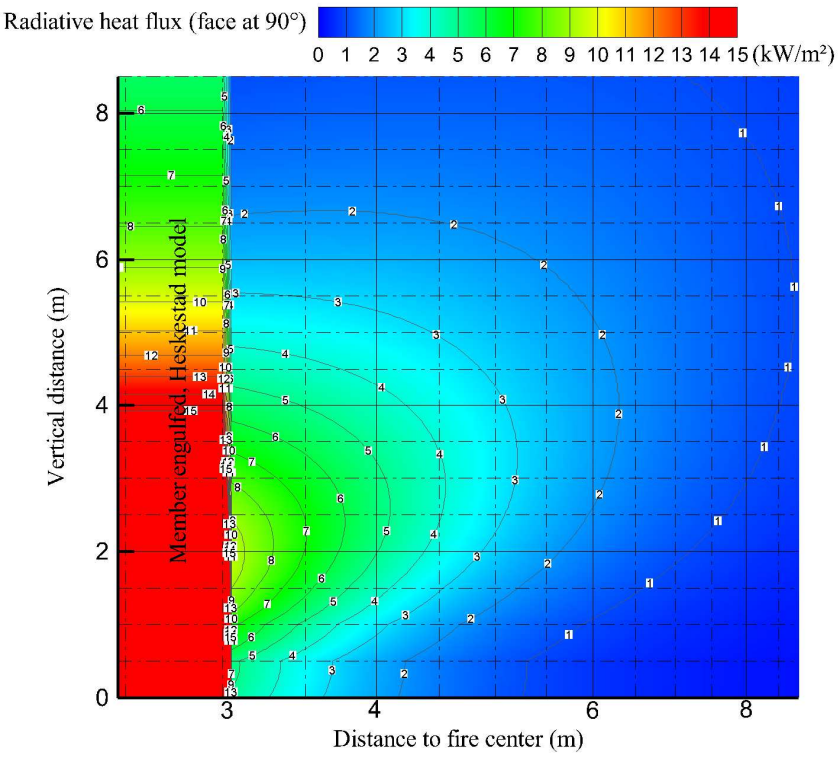
Obrázok C.11 Obrysový graf pre D = 4 m a HRR = 1000 kW/m²



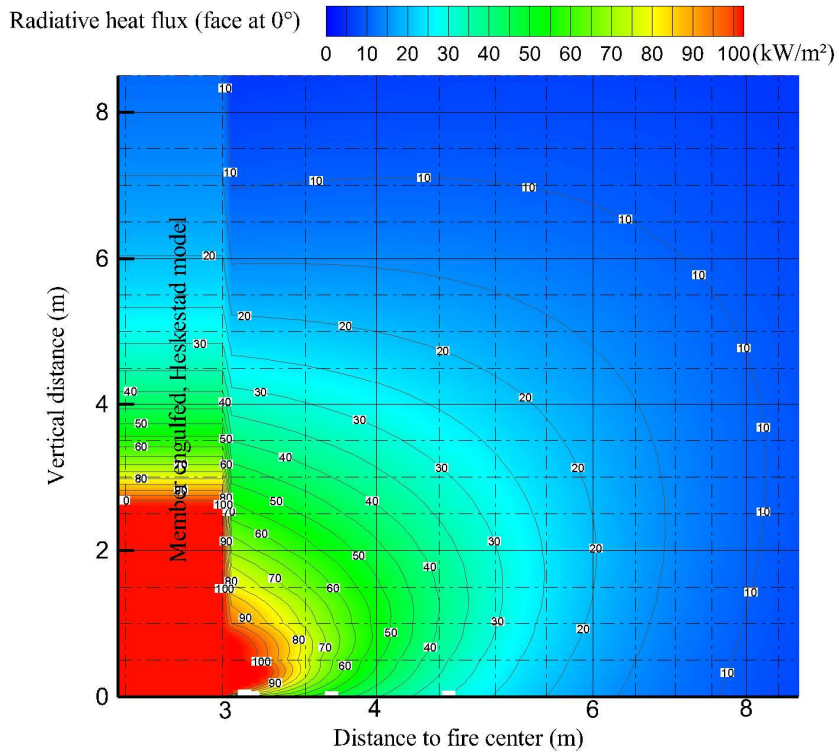


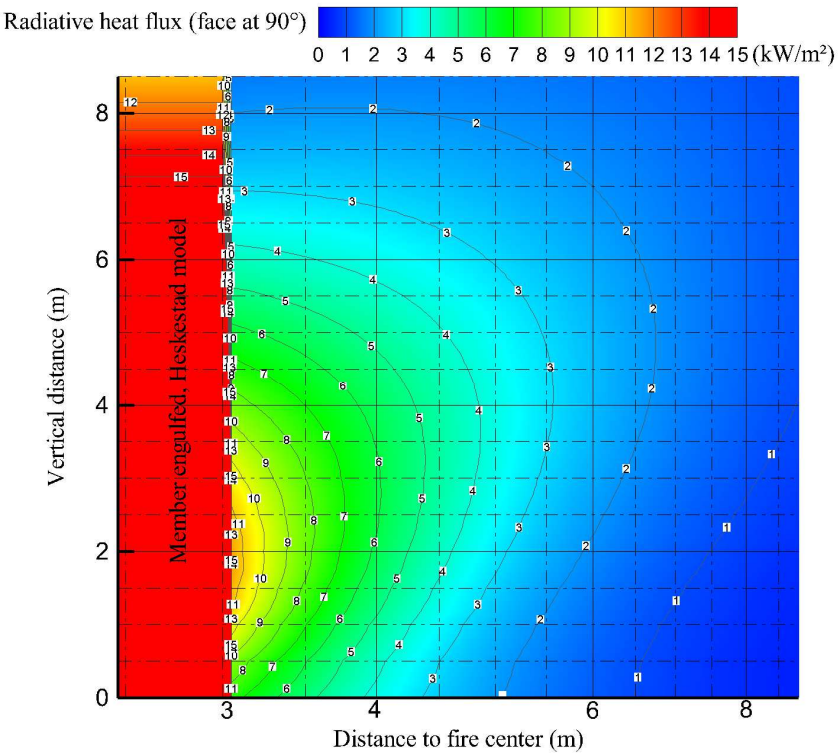
Obrázok C.12 Obrysový graf pre D = 4 m a HRR = 1500 kW/m²



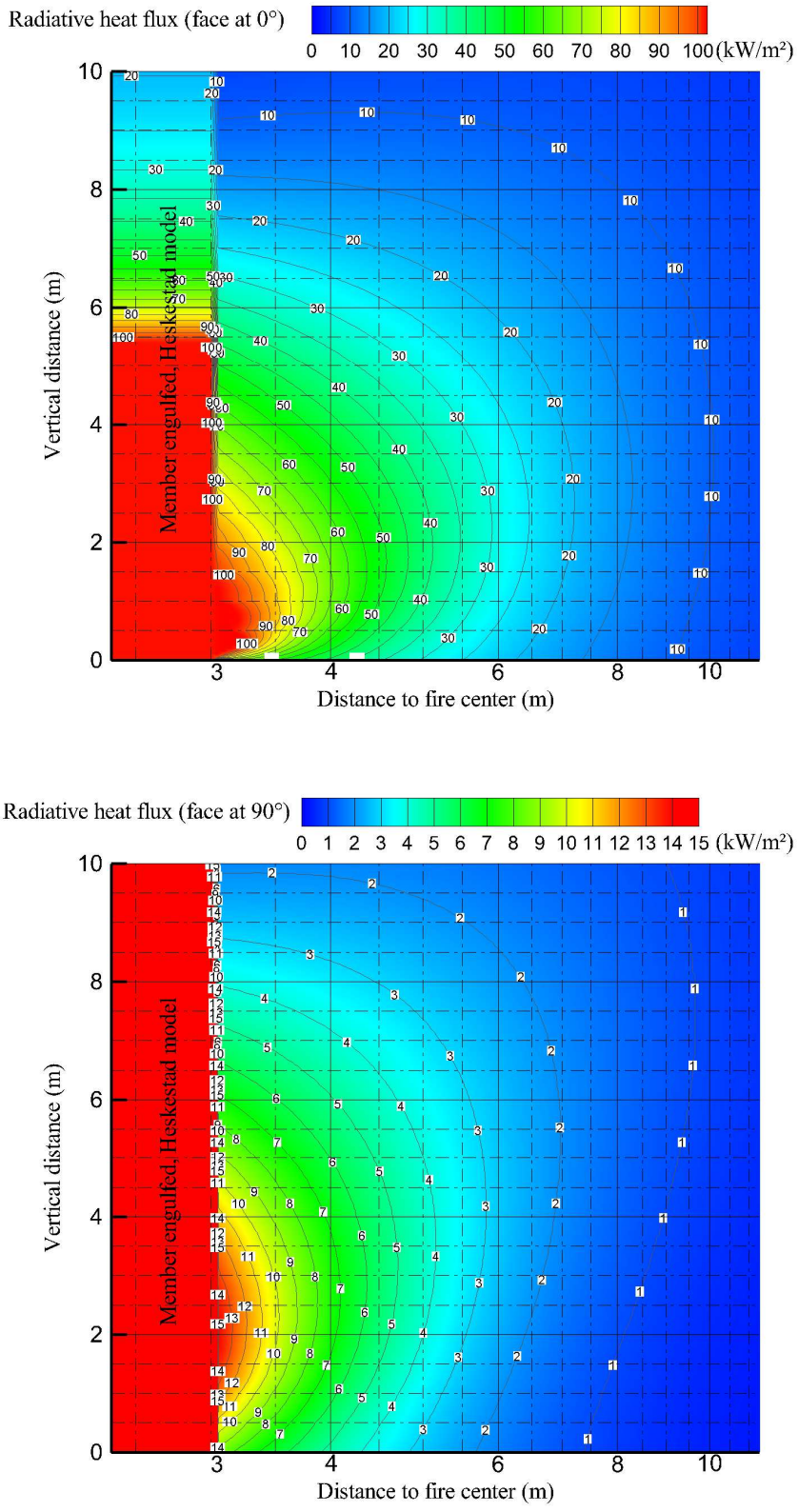


Obrázok C.13 Obrysový graf pre D = 6 m a HRR = 250 kW/m²

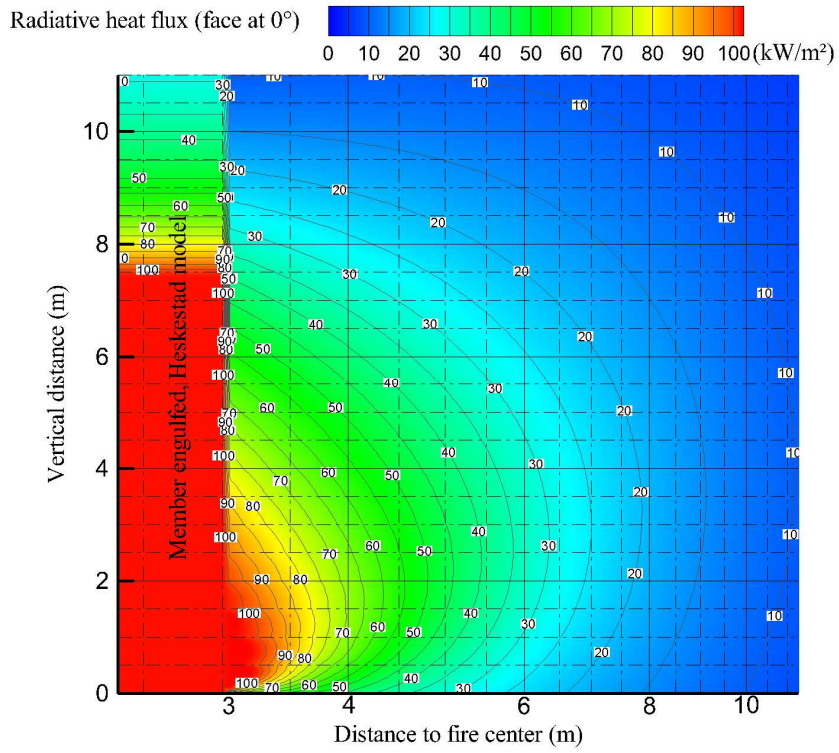


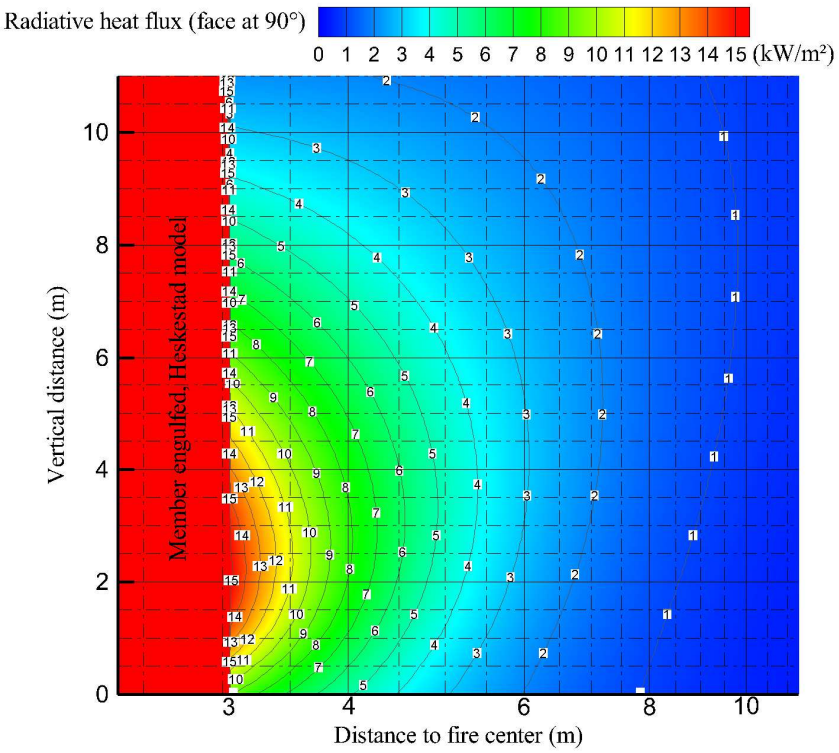


Obrázok C.14 Obrysový graf pre D = 6 m a HRR = 500 kW/m²

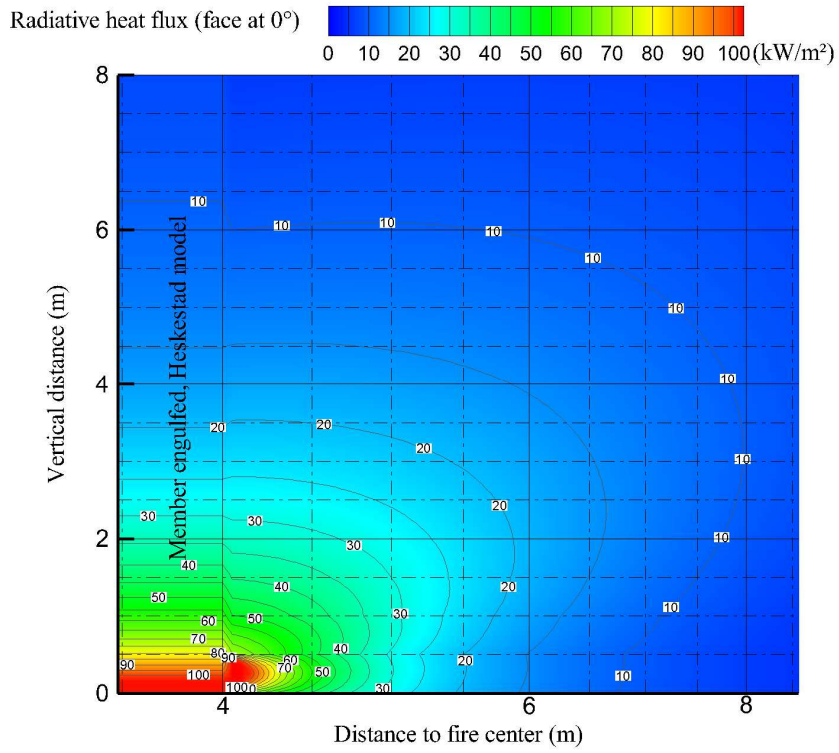


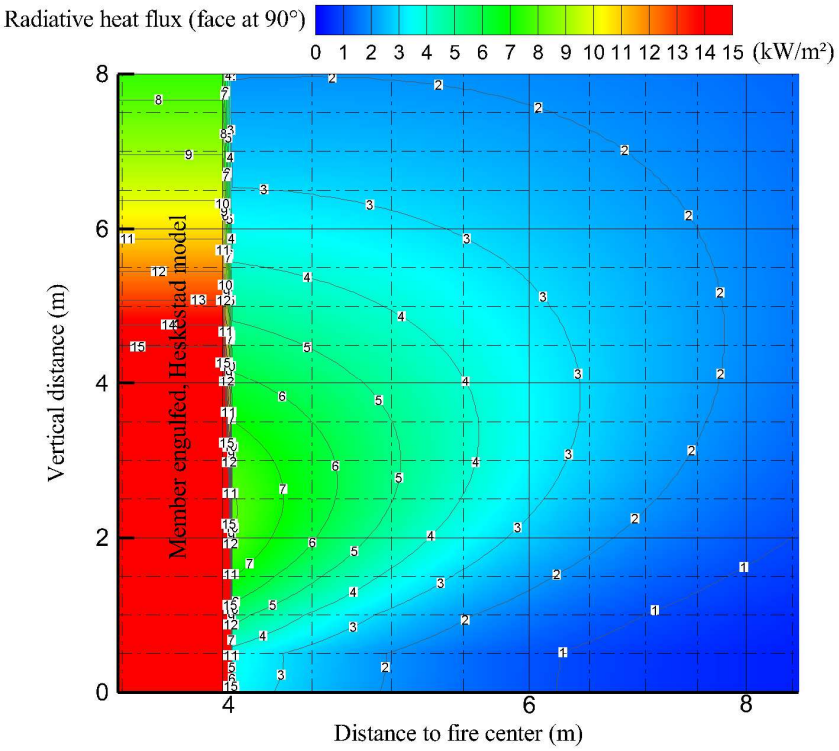
Obrázok C.15 Obrysový graf pre D = 6 m a HRR = 1000 kW/m²



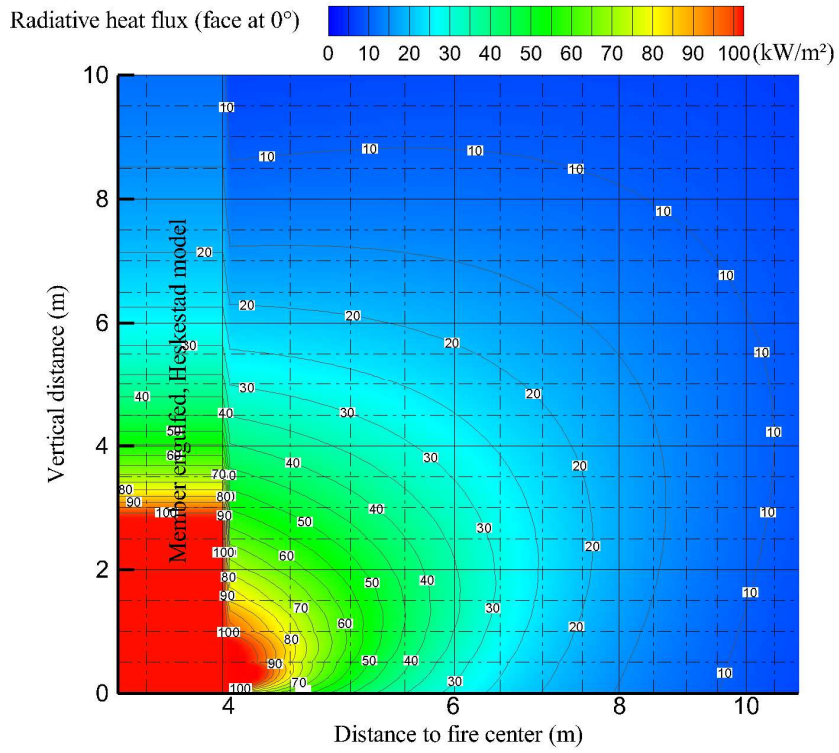


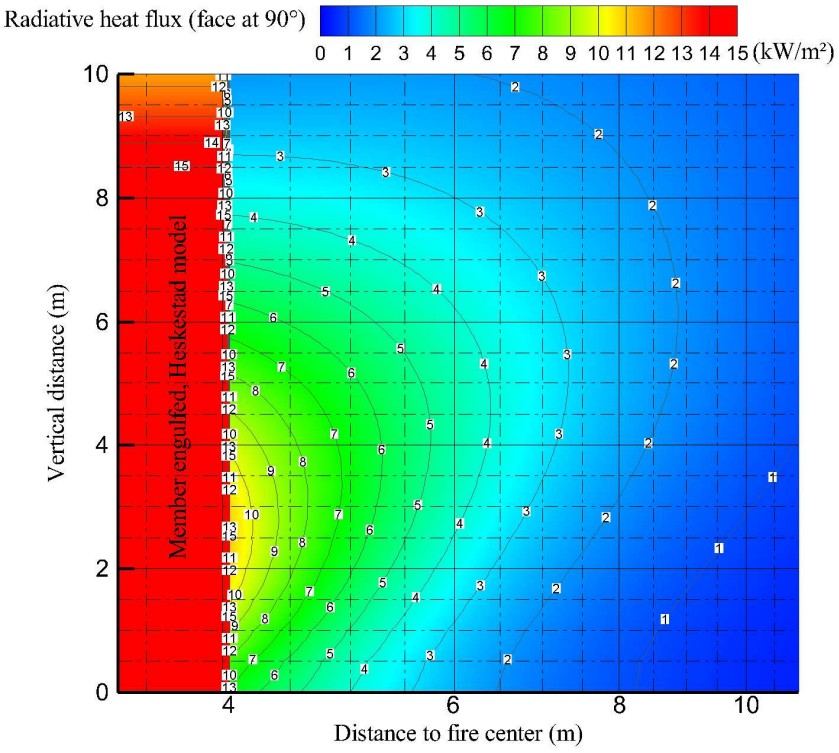
Obrázok C.16 Obrysový graf pre D = 6 m a HRR = 1500 kW/m²



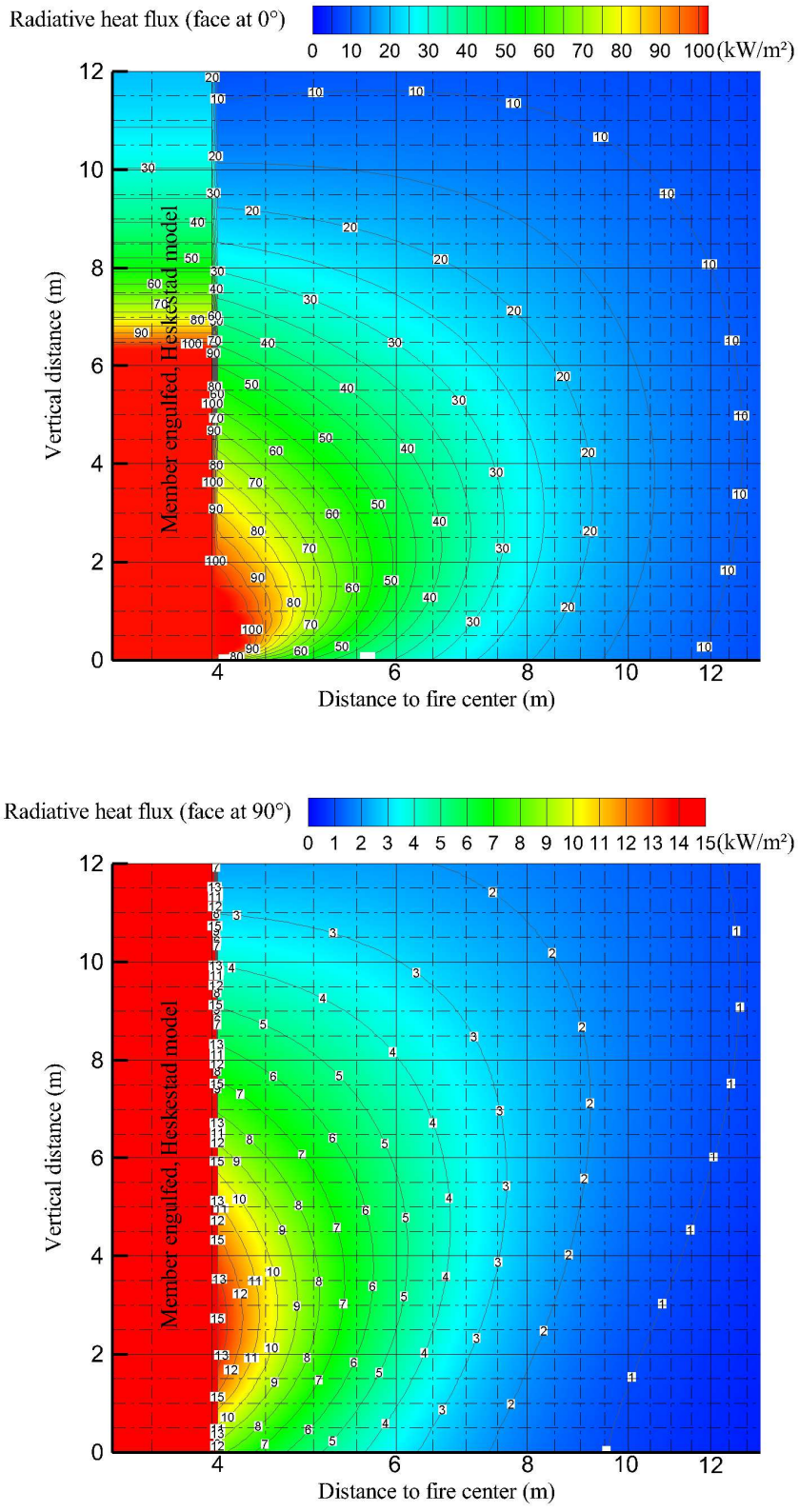


Obrázok C.17 Obrysový graf pre D = 8 m a HRR = 250 kW/m²

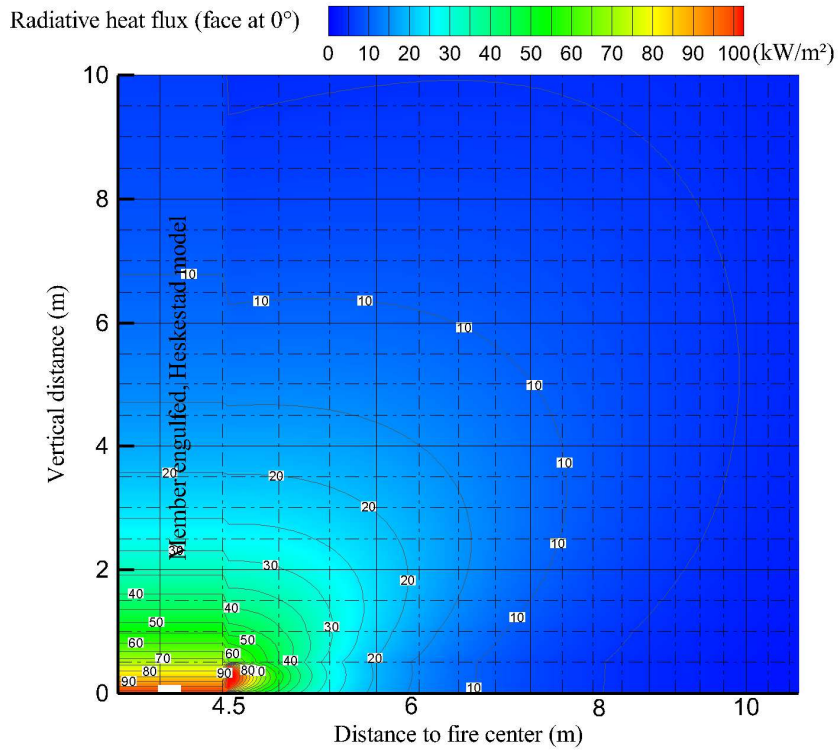


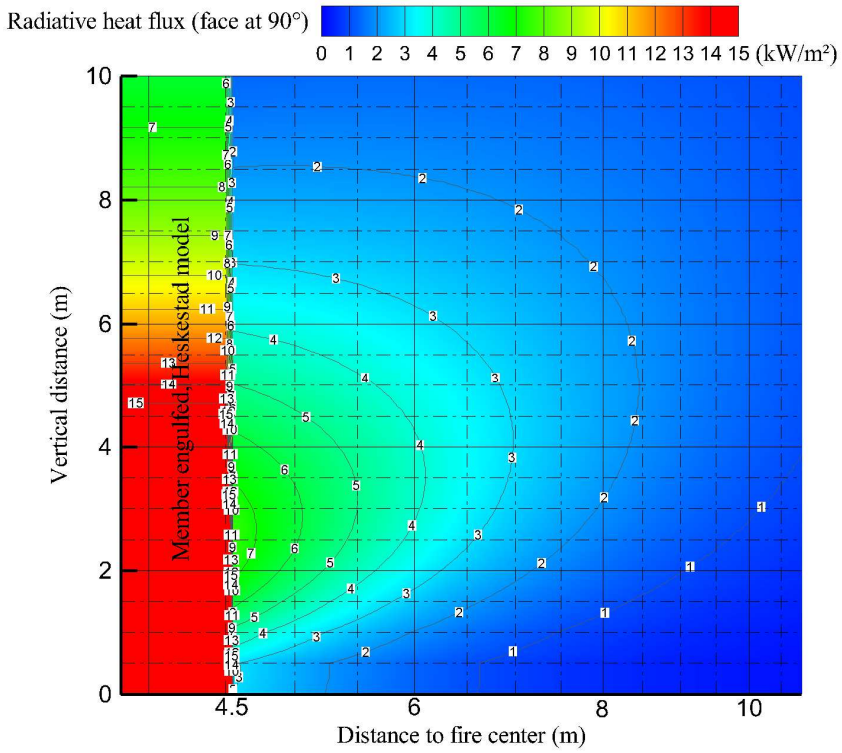


Obrázok C.18 Obrysový graf pre D = 8 m a HRR = 500 kW/m²

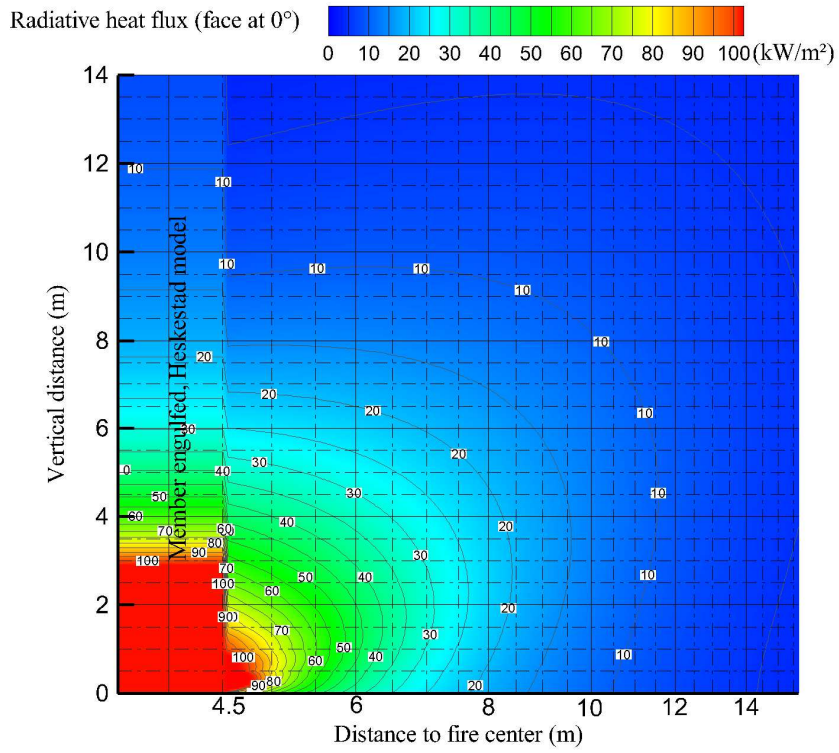


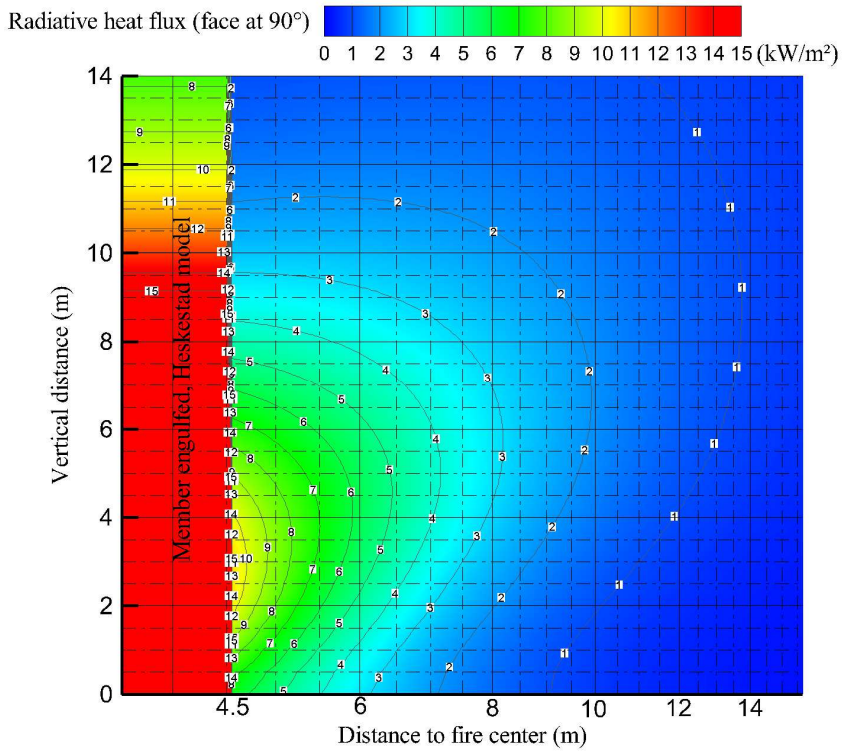
Obrázok C.19 Obrysový graf pre D = 8 m a HRR = 1000 kW/m²



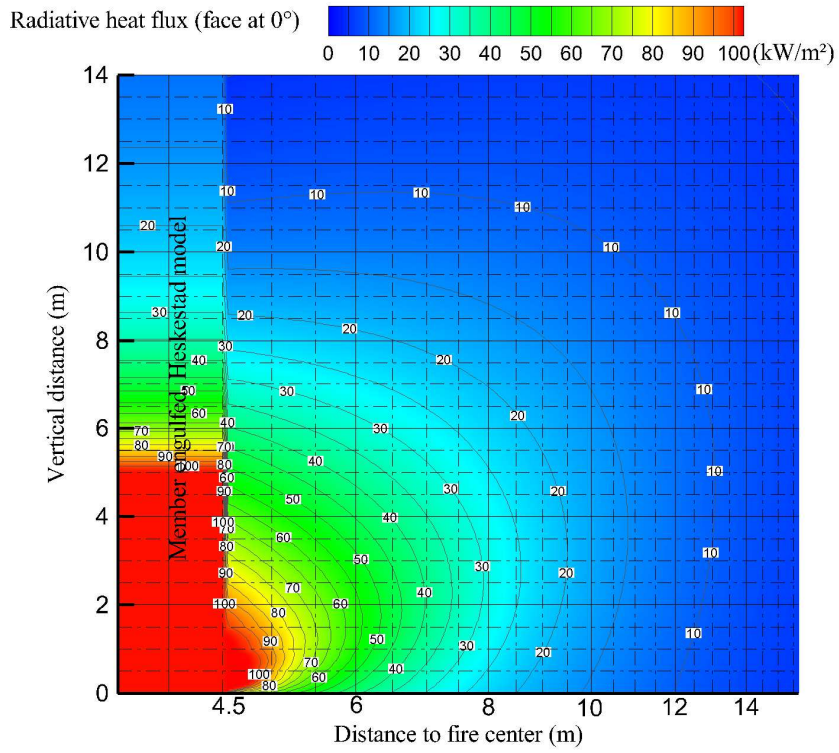


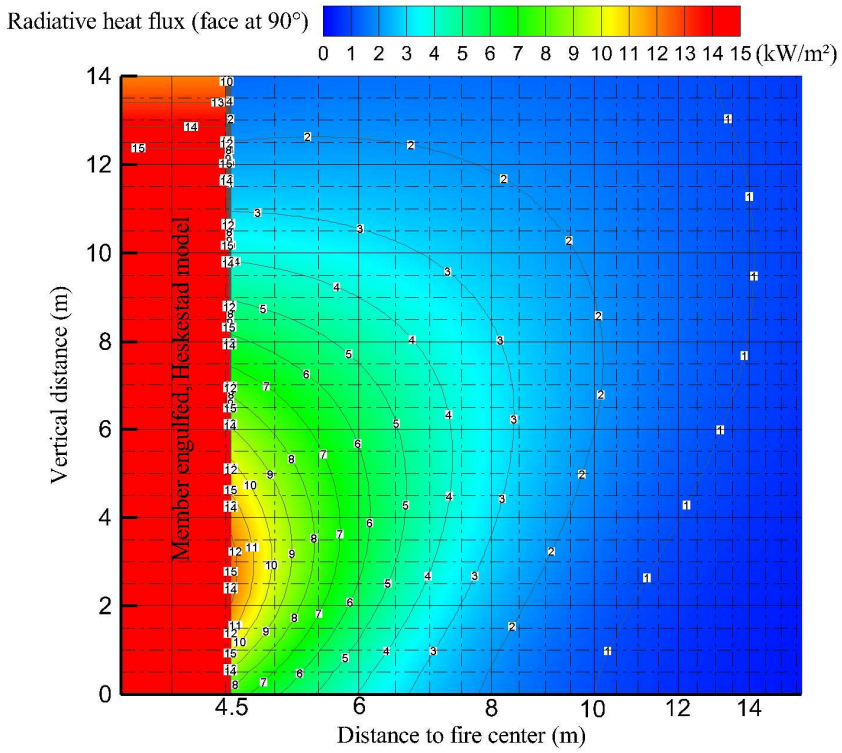
Obrázok C.20 Obrysový graf pre D = 9 m a HRR = 250 kW/m²



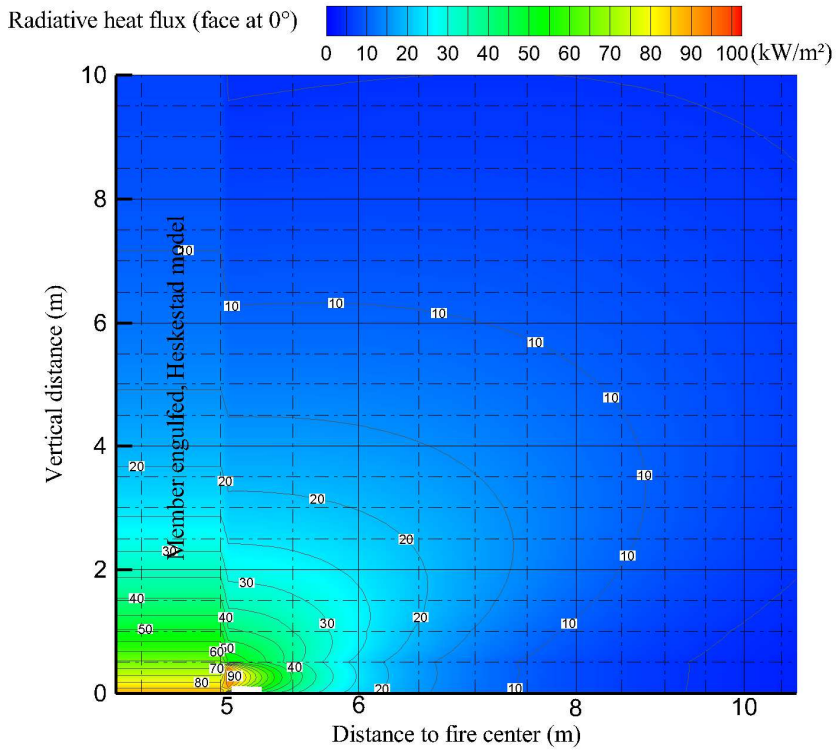


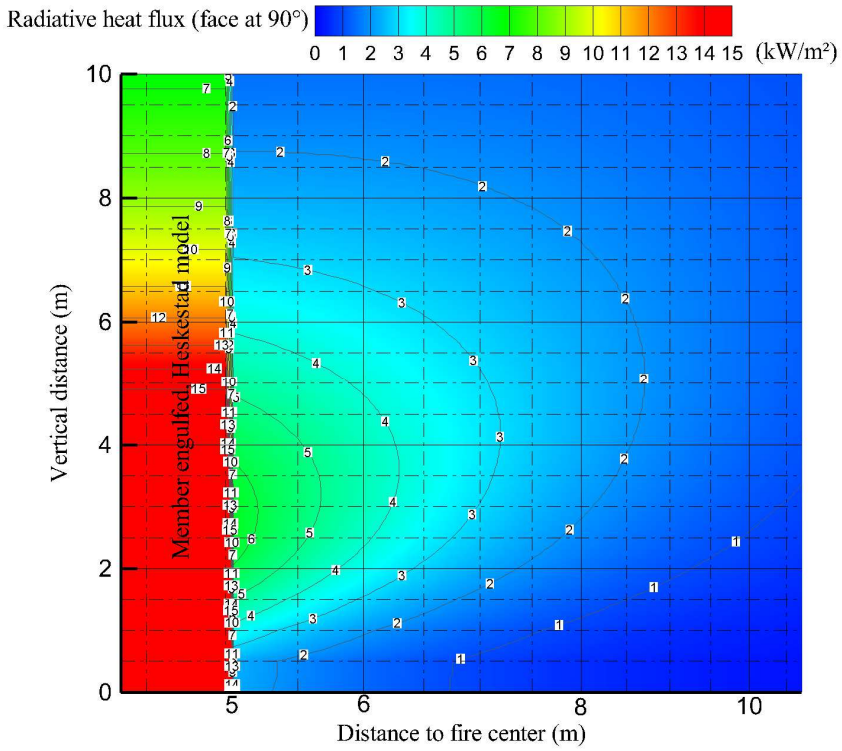
Obrázok C.21 Obrysový graf pre D = 9 m a HRR = 500 kW/m²



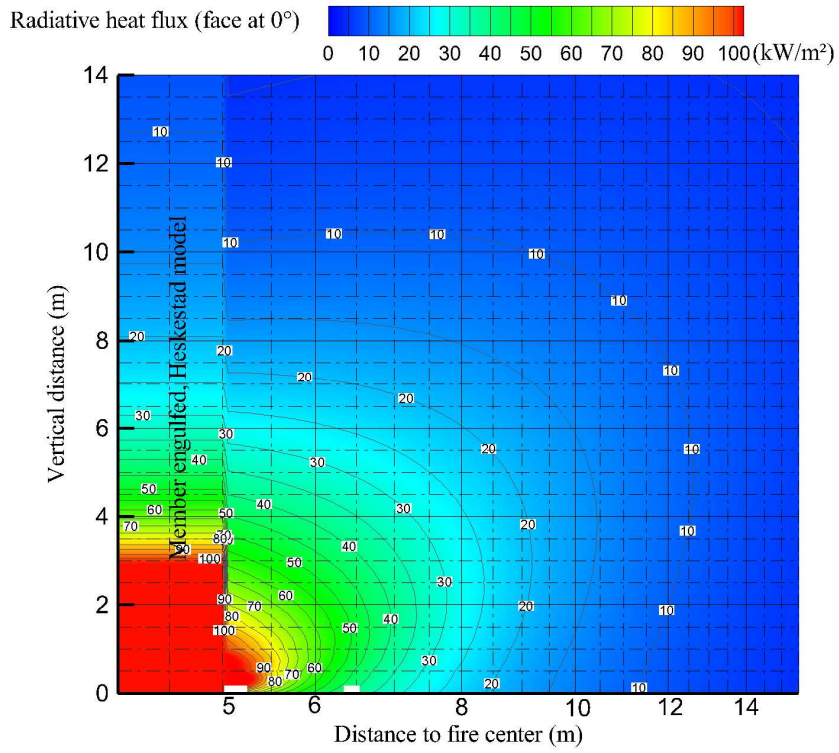


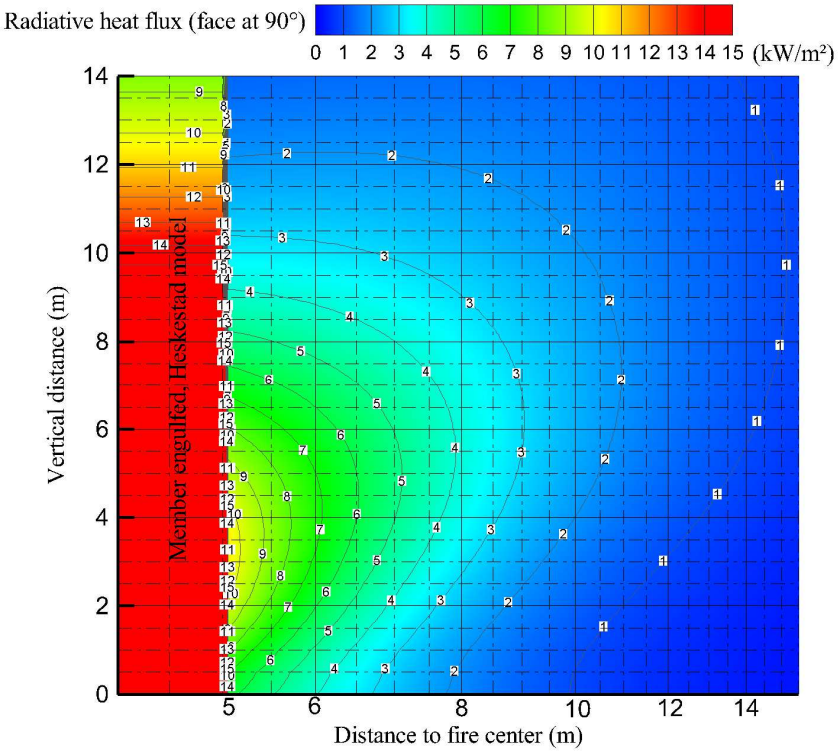
Obrázok C.22 Obrysový graf pre D = 9 m a HRR = 750 kW/m²





Obrázok C.23 Obrysový graf pre D = 10 m a HRR = 250 kW/m²





Obrázok C.24 Obrysový graf pre D = 10 m a HRR = 500 kW/m²

PRÍLOHA D PRÍKLADY NAVRHOVANIA

Príklady uvedené v tejto prílohe využívajú novú metódu uvedenú kapitole 4 pre stanovenie teploty stĺpa vystaveného lokálnemu požiaru.

Prvý príklad sa zaoberá stanovením teploty stĺpa mimo priameho kontaktu s ohňom, vo vrstve dymu (zóna 4). Druhý príklad sa zameriava na aplikáciu nového modelu (zóna 1) pomocou obrysových grafov a programu OZone. Tretí príklad je zložitým prípadom, ktorý zahŕňa štyri zdroje požiaru a nekonvenčné krivky rýchlosti uvoľňovania tepla.

D.1 Priemyselná budova

D.1.1 Návrhový požiarny scenár

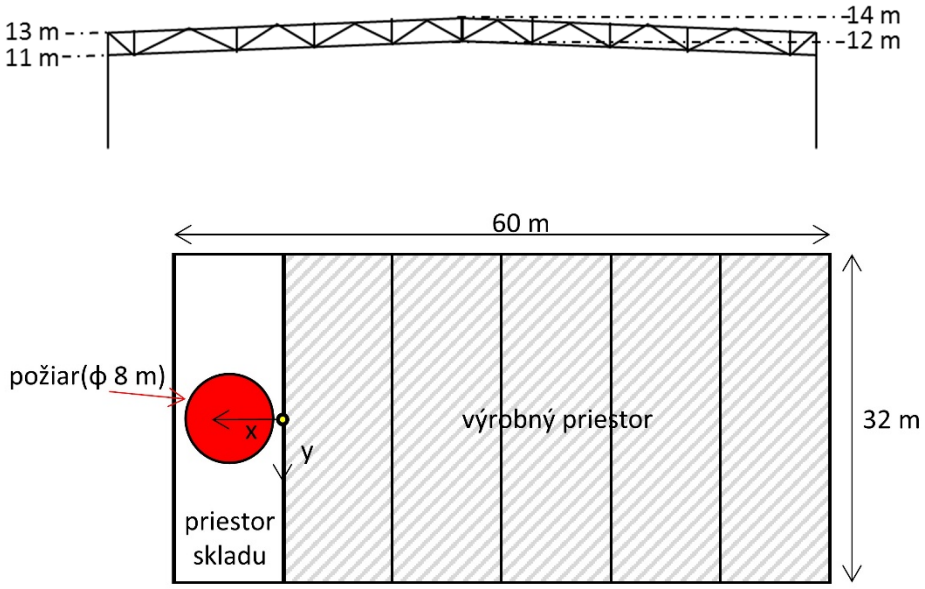
Objekt priemyselného objektu má dĺžku 60 m a šírku 32 m. Vrchol sedlovej strechy dosahuje výšku 14 m, ako znázorňuje Obrázok D.1. Priečne väzby, v osovej vzdialenosti 10 m, sú tvorené oceľovými stĺpmi a priehradovými väzníkmi. Lokálnym požiarom sú ovplyvnené iba väzníky nad plameňom. Horný a dolný pás priehradového väzníka je z profilu HEA 220, zvislice a diagonály sú navrhnuté z dvojíc profilov L 60 × 60 × 6.

Podlahová plocha objektu sa využíva hlavne na výrobu, avšak na konci haly medzi poslednými dvoma väzbami je malá skladovacia plocha. Lokálny požiar vznikne v tejto časti objektu. Na ploche 50 m² je skladovaných 10 ton celulózového materiálu (ekvivalentne k priemeru ohňa 8 m), ktorý je dostatočne vzdialený od iného horľavého materiálu. Krivka rýchlosti uvoľňovania tepla (RHR) (Obrázok D.2) je stanovená podľa prílohy E normy STN EN 1991-1-2 so zohľadnením týchto predpokladov:

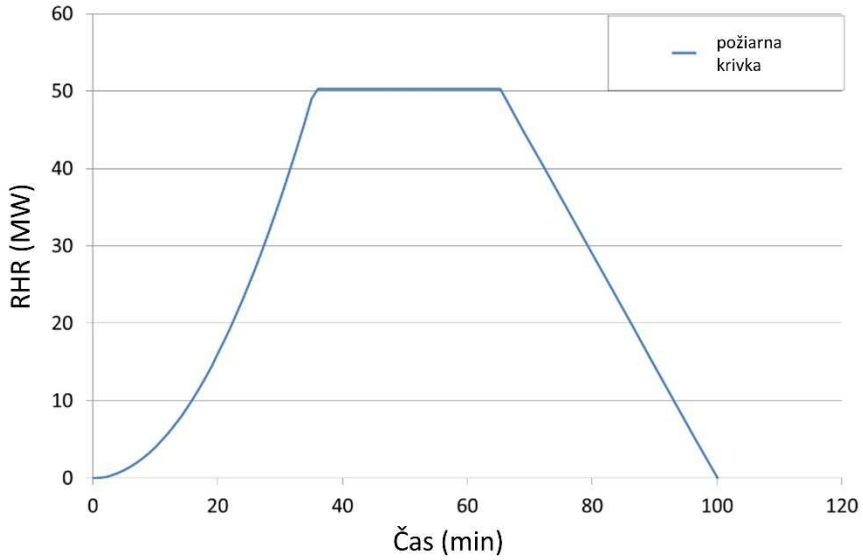
a) rýchlosť rozvoja požiaru je stredná (t_α = 300 s).

b) horľavý materiál je celulózový s výhrevnosťou 17.5 MJ/kg.

c) rýchlosť uvoľňovania tepla na jednotku plochu je 1000 kW/m².



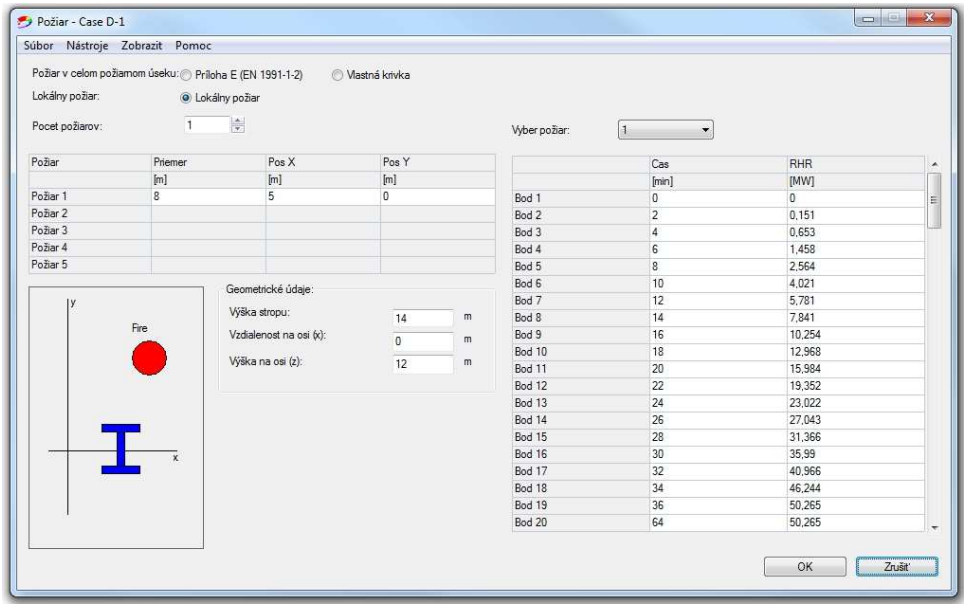
Obrázok D.1 Schéma priemyselného objektu



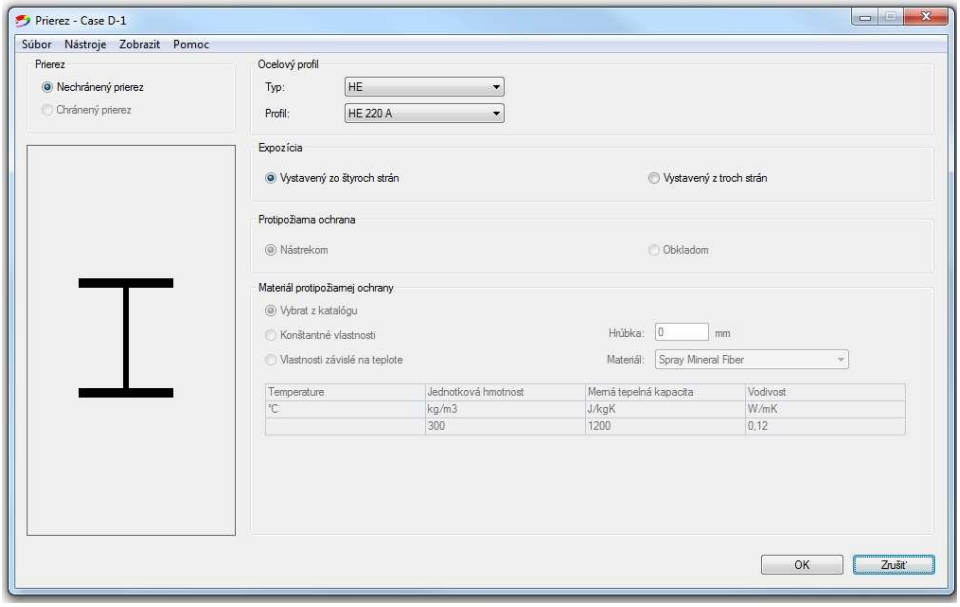
Obrázok D.2 Krivka rýchlosti uvoľňovania tepla RHR

D.1.2 Vstupné údaje v programe OZone

Tepelný tok z lokálneho požiaru vplýva na priehradové nosníky nachádzajúce sa priamo nad požiarom, teda v strede rámu. V tejto polohe je spodný pás vo výške 12 m a horný pás vo výške 14m. Do dialógových okien programu s označením „Požiar“ (Obrázok D.3) a „Prierez“ (Obrázok D.4) budú zadané vstupné údaje podľa údajov v predchádzajúcej podkapitole.



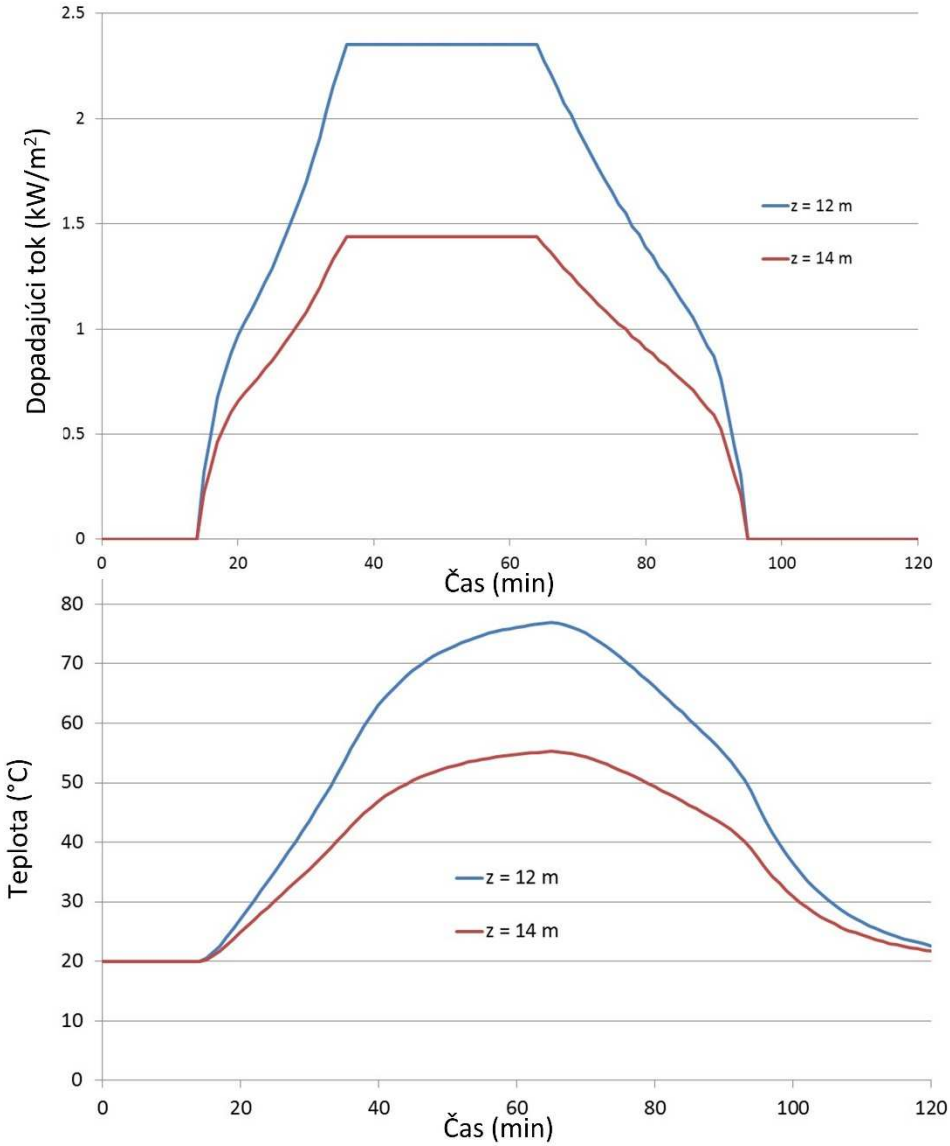
Obrázok D.3 Vstupné údaje v dialógovom okne „Požiar“



Obrázok D.4 Vstupné údaje v dialógovom okne „Prierez“

D.1.3 Výsledky z programu OZone

Pri požiari s priemerom 8 m a maximálnou RHR hodnotou 50 MW dosahuje plameň výšku 9,7 m. Keďže budova je vyššia ako plameň, plamene nezasahujú strop. Účinok požiaru je obmedzený z hľadiska tepelných účinkov. Teplota priehradových nosníkov vo vypočítanej polohe je 76°C (Obrázok D.5).

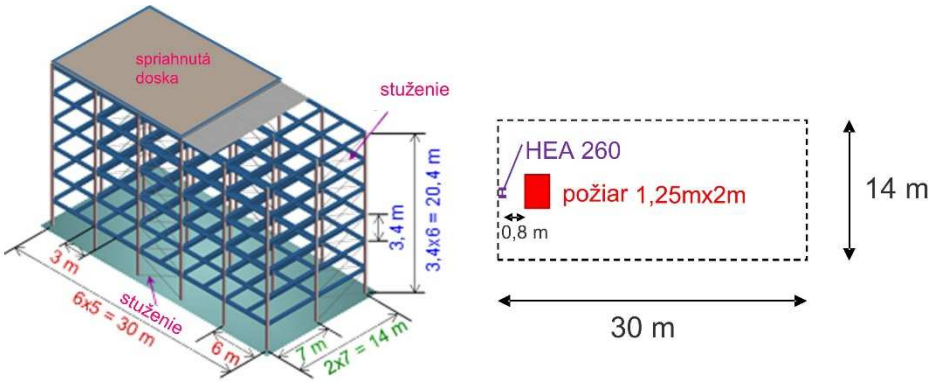


Obrázok D.5 Vypočítaný priebeh tepelného toku (hore) a teploty (dole)

D.2 Administratívna budova

D.2.1 Návrhový požiarny scenár

V tomto príklade je uvažovaná administratívna budova so šiestimi podlažiami (Obrázok D.6). Objekt má pôdorysné rozmery 30 x 15 m a výšku podlažia 3,5 m. Oceľové stĺpy objektu sú z prierezu HEA260 a sú umiestnené po obvode a v strede budovy. Požiarny scenár je založený na vzplanutí kancelárskeho papiera, ktorý je skladovaný na palete s hmotnosťou 500 kg na ploche 2,5 m² (2 m × 1.25 m). Paleta s papierom je umiestnená pri strednom obvodovom stĺpe vo vzdialenosti 0,8 m, ako znázorňuje Obrázok D.6.

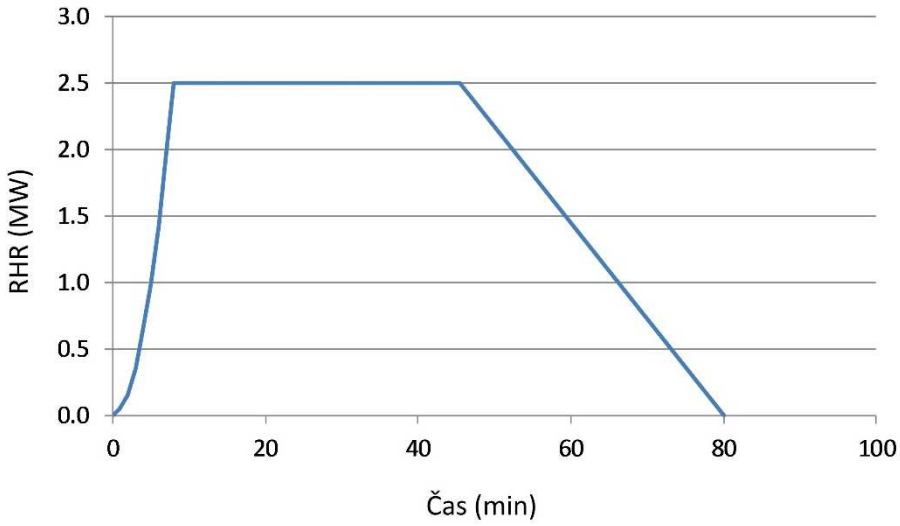


Obrázok D.6 Geometria administratívnej budovy (vľavo) a poloha zdroja požiaru (vpravo)

Krivka rýchlosti uvoľňovania tepla (RHR) sa stanoví podľa odporúčaní prílohy E normy STN EN 1991-1-2. Krivka má 3 rôzne fázy: rastúcu, konštantnú a klesajúcu fázu (Obrázok D.7). Rastúca fáza je definovaná vzťahom:

$$Q(t) = 10^6 \left(\frac{t}{t_\alpha}\right)^2 \qquad \text{(D.1)}$$

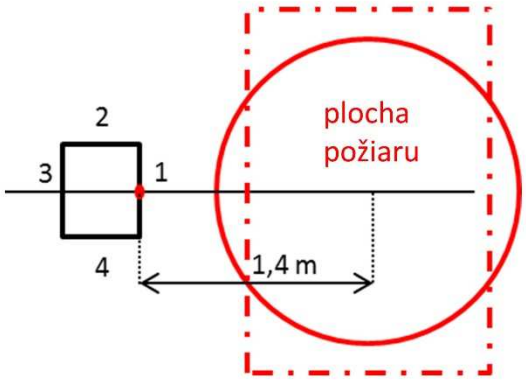
kde Q je rýchlosť uvoľňovania tepla, t je čas v sekundách a t_α je doba potrebná pre dosiahnutie rýchlosti uvoľňovania tepla 1 MW. V prípade administratívnych budov je hodnota t_α rovná 300 s. Pri lokálnom požiari nie je rýchlosť uvoľňovania tepla RHR ovplyvňovaná vetraním ale plochou požiaru. Za predpokladu, že RHR = 1000 kW/m², bude rýchlosť uvoľňovania tepla maximálne 2,5 MW. Klesajúca fáza, teda etapa dohorievania, začína pri vyhorení 70% celkového požiarneho zaťaženia a končí po jeho úplnom 100% vyhorení.



Obrázok D.7 RHR podľa prílohy E normy STN EN 1991-1-2

D.2.2 Použitie obrysových grafov

V súvislosti s kapitolou 4.2.1 plocha požiaru sa nahradí ekvivalentnou kruhovou oblasťou. Priemer kruhovej oblasti v riešenom príklade je 1,8 m na ploche 2,5 m² (Obrázok D.8). Najširšia strana stĺpa meria 260 mm a je vzdialená 1,4 m od stredu požiaru.



Obrázok D.8 Prispôsobená konfigurácia požiaru

Maximálna hodnota RHR je 1000 kW/m² a zodpovedá hodnote, ktorá je k dispozícii v súbore obrysových grafov. Pre uvažovaný priemer ohňa sa vyberie najbližšia vyššia hodnota 2 m. Potrebné údaje obsahuje Obrázok C.3.

Stĺp je rozdelený na segmenty s veľkosťou 0,5 m. Priemerná hodnota tepelného toku pre každý segment sa vypočíta podľa vzťahu (**4**.2). Vypočítané hodnoty tepelného toku uvádza Tabuľka D.1. Hodnoty v horúcej vrstve nad výškou 3,15 m nie sú uvedené.

Tabuľka D.1 Tepelné toky

Výška (m)	Tepelný tok		
	Povrch 1	Povrch 2	Priemer
0.5	65	7	19.75
1	60	7.5	18.75
1.5	55	7	17.25
2	45	6	14.25
2.5	35	5	11.25
3	25	4	8.25

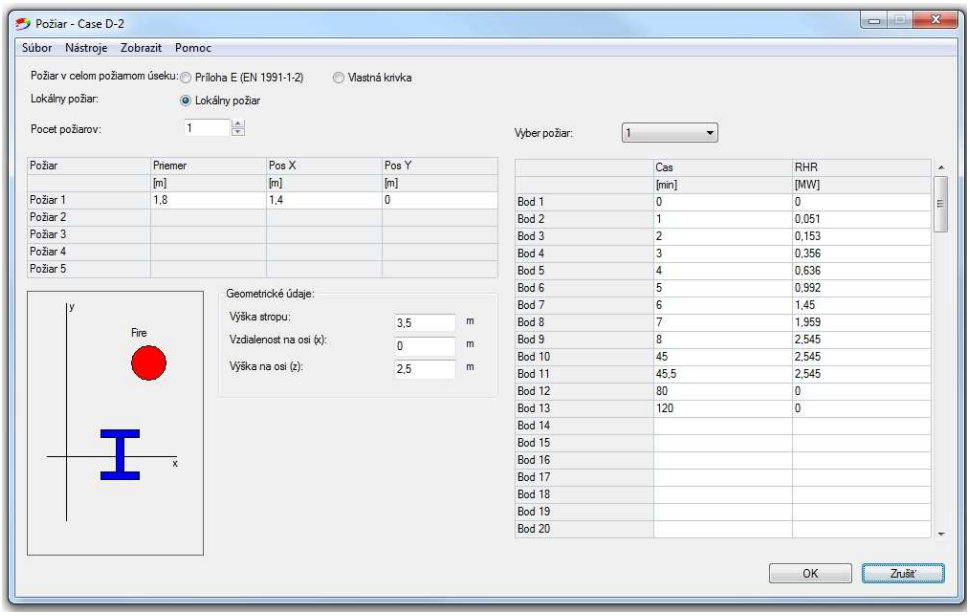
V zóne 1 je na úrovni 0,5 m dosiahnutý najväčší tepelný tok s hodnotou 19,75 kW/m². Použitím grafu, ktorý uvádza Obrázok 4.9, je rovnovážna teplota stanovená na 300°C.

D.2.3 Použitie programu OZone

D.2.3.1 Vstupné údaje

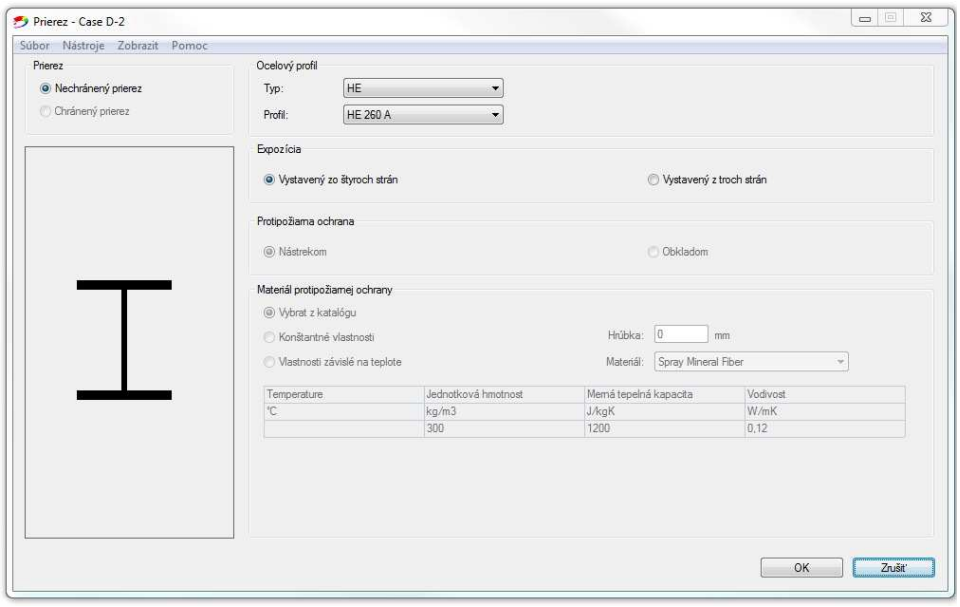
Postup výpočtu priebehu tepelného toku a teploty oceľového stĺpa od vplyvu lokálneho požiaru pomocou programu OZone prebieha podobne, ako v prvom príklade.

Najprv je potrebné v dialógovom okne pre lokálny požiar uviesť polohu zdroja požiaru vo vzťahu k polohe stĺpa (pre stĺp sa predpokladá X=0 a Y=0) a priebeh krivky RHR. S odstupom ohňa 0,5 m a priemerom 1,8 m je poloha stredu požiaru stanovená na 1,4 m (pozri Obrázok D.9). V tomto dialógovom okne je potrebné zadať výšku požiarneho úseku a polohu bodu, pre ktorý bude uskutočnený výpočet (výška v osi stĺpa v rozmedzí z = 0,5 m do 3,5 m). Následne je potrebné v dialógovom okne „Prierez“ zvoliť prierez stĺpa HE260.



Obrázok D.9 Vstupné údaje v dialógovom okne „Požiar“

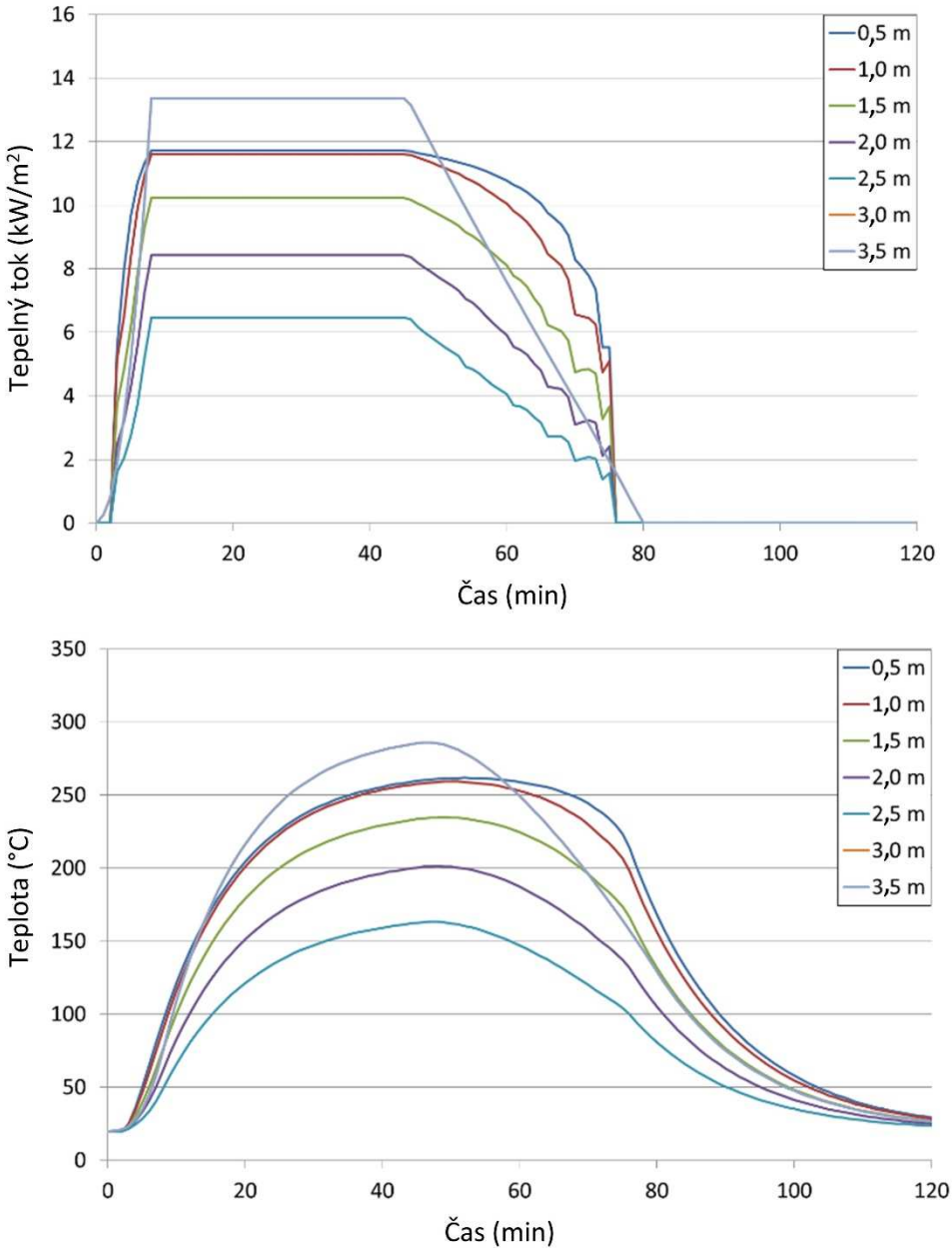
6



Obrázok D.10 Input data in the tab “Steel Profile”

D.2.3.2 Výslekdy

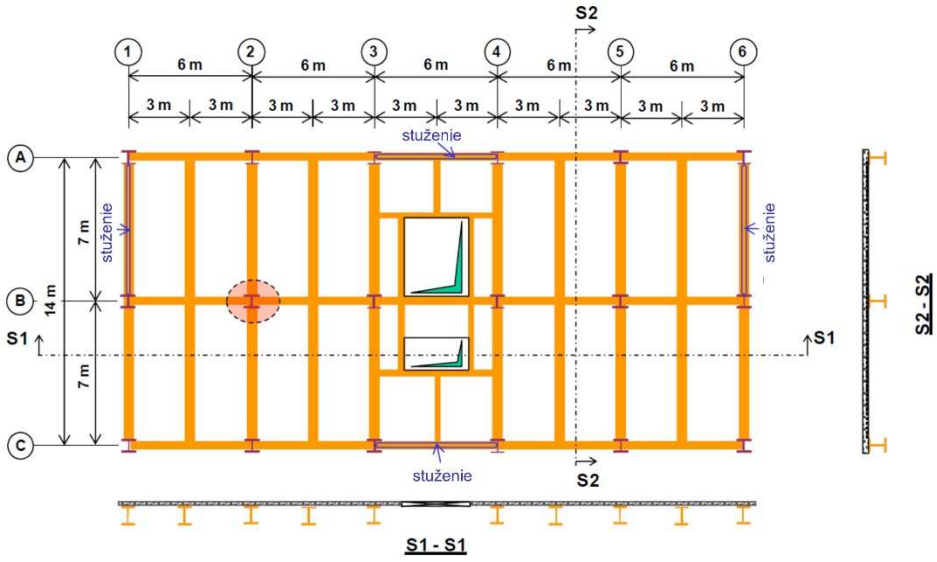
Výsledné priebehy teplôt a tepelného toku pre segmenty s dĺžkou 0,5 m po výške stĺpa (0,5 m; 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m; 2,5 m; 3,0 m; 3,5 m) sú znázorňuje Obrázok D.11. Maximálna teplota bola vypočítaná s hodnotou 262°C vo výške stĺpa 0,5 m a 1,0 m. Toto indikuje, že o niečo vyššie hodnoty môžu byť dosiahnuté medzi týmito dvoma úrovňami (vypuklý tvar priebehu teploty kvôli kónickému tvaru virtuálneho plného plameňa). V horúcej (hornej) vrstve dosahujú teploty 287°C.



Obrázok D.11 Vypočítaný priebeh tepelného toku (hore) a teploty (dole)

D.2.4 Posúdenie stĺpa

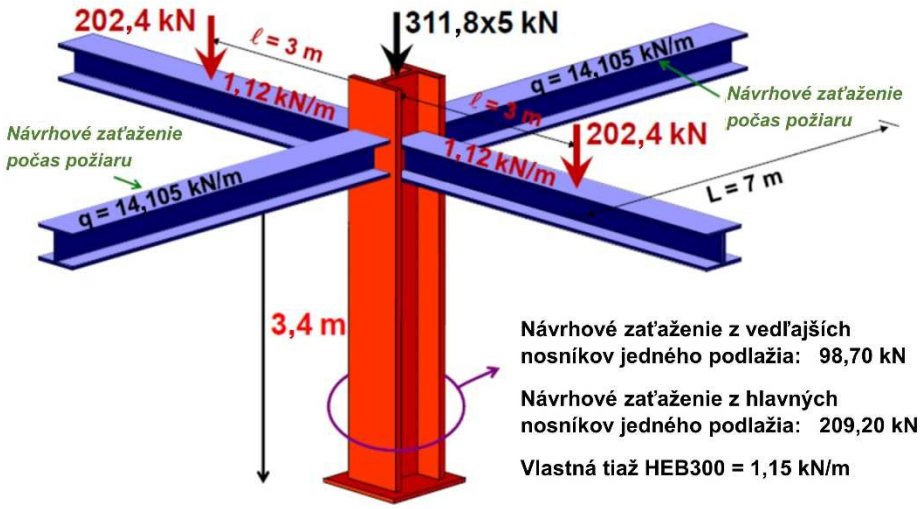
Na základe známej teploty stĺpa môže byť oceľový stĺp posúdený. Objekt použitý v tomto príklade je prevzatý z ‘Eurocodes: Background and applications - Structural fire design - Worked examples’, ktorý je dostupný na stránke Európskej komisie[19].



Obrázok D.12 Pozícia stĺpa

D.2.4.1 Uvažované zaťaženie

Na každom podlaží preberá stĺp zaťaženie z dvoch proste podopretých hlavných nosníkov a dvoch vedľajších nosníkov. V prípade požiaru sa uvažuje s rovnomerným mechanickým zaťažením vedľajších nosníkov s hodnotou 14,105 kN/m. Hlavné nosníky sú zaťažené osamelým bremenom v strede rozpätia s hodnotou 202,4 kN a rovnomerným zaťažením s hodnotou 1,12 kN/m. Osové zaťaženie stĺpa je teda určené z reakcií podpier hlavných a vedľajších nosníkov. Zároveň sa uvažuje s vlastnou tiažou stĺpa s hodnotou 1,15 kN/m.



Obrázok D.13 Zaťaženie stĺpa na prízemí objektu

Návrhové mechanické zaťaženie stĺpa počas požiaru sa vypočíta nasledovne:
Osové zaťaženie stĺpa z každého podlažia je:

$$P_{fi,d,t} = \Sigma\left(G_{k,1} + \psi_{2,1}Q_{k,1}\right) = 14{,}105 \times 7 + 202{,}4 + 1{,}12 \times 6 \approx 307{,}9 \text{ kN} \quad \text{(D.2)}$$

Poznámka: V závislosti na národnej prílohe má byť použitý súčiniteľ $\Psi_{1,1}$ alebo $\Psi_{2,1}$.

Osové zaťaženie stĺpa od vlastnej tiaže z jedného podlažia je (konzervatívne sa uvažuje s rovnakým prierezom po celej výške budovy):

$$q_{fi,d,t} = 1{,}15 \times 3{,}4 \approx 3{,}9 \text{ kN} \quad \text{(D.3)}$$

Celkové osové zaťaženie stĺpa na prízemí budovy je:

$$N_{fi,d,t} = (307{,}9 + 3{,}9) \times 6 = 1870{,}8 \text{ kN} \quad \text{(D.4)}$$

D.2.4.2 Klasifikácia prierezu

Určenie triedy prierezu stĺpa sa môže uskutočniť kombináciou tabuľky 5.2 normy STN EN 1993-1-1 a článku 4.2.2 normy STN EN 1993-1-2 pre prierez plne tlačený.

Rozmery valcovaného prierezu HEB300 sú zhrnuté na Obrázok D.14.

$h = 300$ mm

$b = 300$ mm

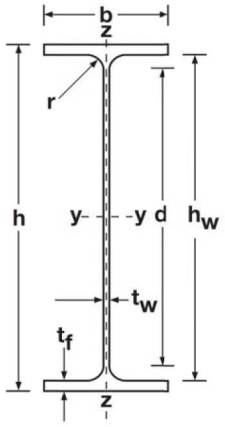
$t_w = 11$ mm

$t_f = 19$ mm

$r = 27$ mm

$h_w = 262$ mm

$d = 208$ mm



Obrázok D.14 Geometrické charakteristiky oceľového I alebo H prierezu

Podľa článku 4.2.2 normy STN EN 1993-1-2:

$$\varepsilon = 0{,}85\sqrt{235/f_y} = 0.786 \quad \text{pre oceľ pevnostnej triedy S275} \quad \text{(D.5)}$$

Podľa Tabuľky 5.2 normy STN EN 1993-1-1 sú kritériá pre triedu 1 pásnice a steny nasledovné:

stena: $\dfrac{c}{t_w} \le 33\varepsilon \Rightarrow \dfrac{d}{t_w} \le 33\varepsilon = 25{,}9$

pásnica: $\dfrac{c}{t_f} \le 9\varepsilon \Rightarrow \dfrac{\left(\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r\right)}{t_f} \le 9\varepsilon = 7{,}07$

Pre uvažovaný prierez platí:

stena: $\frac{d}{t_w} = \frac{208.0}{11} = 18{,}9 < 25{,}9$

pásnica: $\frac{\left(\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r\right)}{t_f} = \frac{\left(\frac{300}{2} - \frac{11.0}{2} - 27\right)}{19} = 6{,}18 < 7{,}07$

Prierez stĺpa je triedy 1.

D.2.4.3 Výpočet odolnosti stĺpa pomocou LOCAFI modelu

Na základe známej teploty a prierezových charakteristík je možné stanoviť odolnosť oceľového stĺpa.

Predpokladaná maximálna teplota bola stanovená pomocou programu OZone na hodnotu 275 °C. Táto teplota sa uvažuje za rovnakú, aká bola odhadnutá programom OZone pre stĺp na fasáde HEA260, ako uvádza Obrázok D.11. Použitím Tabuľky 3.1 normy STN EN 1993-1-2 môžu byť stanovené redukčné súčinitele pracovného diagramu ocele:

$$k_{y,\theta} = 1{,}0$$
$$k_{E,\theta} = 0{,}825 \quad \text{(D.6)}$$

Polomer zotrvačnosti prierezu je

$$i = 75{,}8 \times 10^{-3}\ \text{m} \quad \text{(D.7)}$$

Vzperná dĺžka stĺpa je uvažovaná ako 0,7-násobok výšky podlažia, ako uvádza Obrázok 5.2. Pomerná štíhlosť pre normálnu teplotu je vypočítaná nasledovne:

$$\overline{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i}\frac{1}{93{,}9\sqrt{\frac{235}{f_y}}} = \frac{(0{,}7 \times 3{,}4)}{(75{,}8 \times 10^{-3})}\frac{1}{93{,}9\sqrt{\frac{235}{275}}} = 0{,}361 \quad \text{(D.8)}$$

Pomerná štíhlosť pre zvýšenú teplotu je rovná:

$$\overline{\lambda}_\theta = \overline{\lambda}\sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 0{,}361\sqrt{\frac{1{,}0}{0{,}825}} = 0{,}398 \quad \text{(D.9)}$$

Súčiniteľ vzperu v požiarnej návrhovej situácii sa určí pomocou nasledujúcich troch vzťahov:

$$\alpha = 0{,}65\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0{,}65\sqrt{\frac{235}{275}} = 0{,}60 \quad \text{(D.10)}$$

$$\varphi_\theta = \frac{1}{2}\left(1 + \alpha\overline{\lambda}_\theta + \overline{\lambda}_\theta^{\,2}\right) = \frac{1}{2}(1 + 0{,}6 \times 0{,}398 + 0{,}398^2) = 0{,}699 \quad \text{(D.11)}$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{\varphi_\theta^{\,2} - \overline{\lambda}_\theta^{\,2}}} = \frac{1}{0{,}699 + \sqrt{0{,}699^2 - 0{,}398^2}} = 0{,}786 \quad \text{(D.12)}$$

Návrhová normálová sila vzpernej odolnosti je vypočítaná nasledovne:

$$N_{\mathrm{b,fi,t,Rd}} = \chi_{\mathrm{fi}} A k_{\mathrm{y},\theta} \frac{f_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M,fi}}} = 0{,}786 \times \frac{14908}{1000} \times 1{,}0 \times \frac{275}{1{,}0} = 3221{,}2 \text{ kN} \quad \text{(D.13)}$$

D.2.4.4 Porovnanie uvažovaného zaťaženia s odolnosťou

Nakoniec porovnáme odolnosť stĺpa pri zvýšenej teplote s návrhovým osovým zaťažením:

$$\mu_e = \frac{1871}{3221} = 0{,}58 \quad \text{(D.14)}$$

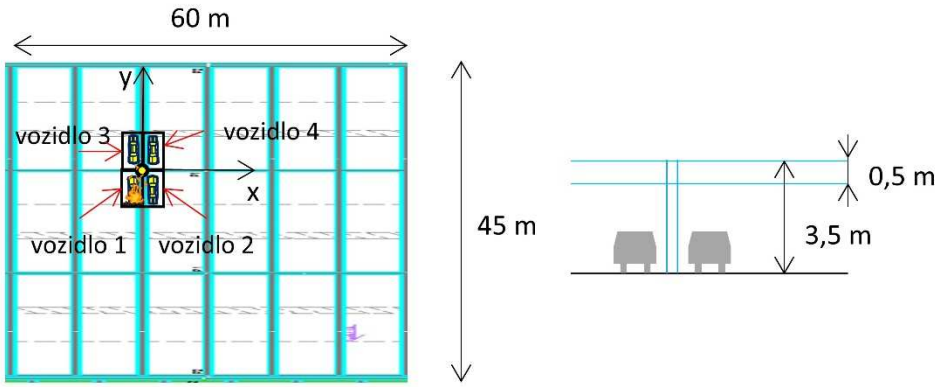
Výpočet preukázal, že stĺp má dostatočnú odolnosť v prípade uvažovaného požiarneho scenára.

D.3 Zastrešené parkovisko

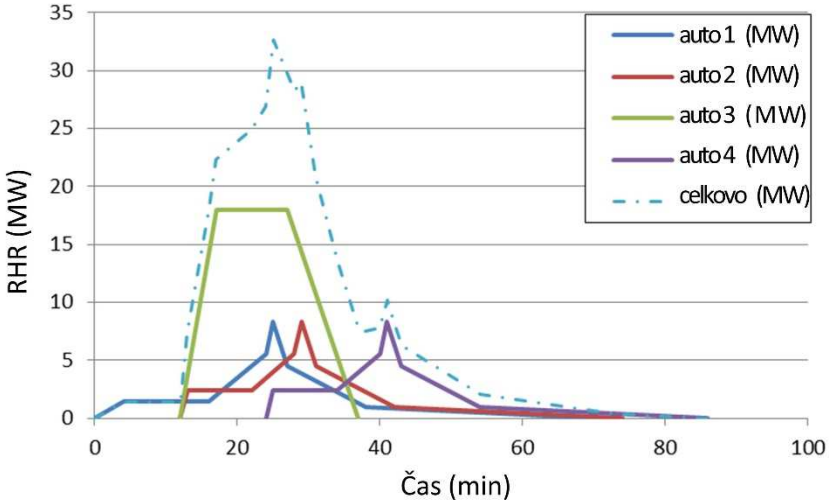
D.3.1 Návrhový požiarny scenár

V príklade sa uvažuje s zastrešeným parkoviskom s dĺžkou 60 m a šírkou 45 m. Osová vzdialenosť stĺpov v pozdĺžnom smere je 10 m a v druhom smere 15 m. Horná hrana stropnej konštrukcie je vo výške 3,5 m a výška hlavných nosníkov je 0,5 m (pozri Obrázok D.15). Stĺpy parkoviska sú prierezu HEA 300. Parkovacie miesta majú štandardné rozmery 2,5 m × 5 m s plochou 12,5 m², čo zodpovedá lokálnemu požiaru s priemerom 4 m. Spôsob umiestnenia nosníkov riadi šírenie dymu pod stropom.

Návrhový požiarny scenár zahŕňa 4 vozidlá umiestnené okolo stĺpa s tým, že tri vozidlá sú veľké autá a posledné vozidlo je dodávka. Táto situácia je jeden zo scenárov uvažovaných vo francúzskych predpisoch. Zodpovedajúca krivka RHR je znázorňuje Obrázok D.16. V prípade veľkých vozidiel, sa meranie RHR uskutočnilo v roku 1996 v Maizières-lès-Metz vo Francúzsku. Krivka RHR pre dodávky pochádza z analýzy rizík a je mimoriadne prísna (z hľadiska požiarneho zaťaženia zodpovedá horeniu 1000 kg dreva). Požiar začína zapálením auta 1 a po 12 minútach sa rozšíri na vozidlá 2 a 3. Po ďalších 12 minútach sa oheň rozšíri na auto 4.



Obrázok D.15 Schéma krytého parkoviska a umiestnenia vozidiel



Obrázok D.16 Krivka RHR pre jednotlivé vozidlá

D.3.2 Vstupné údaje v programe OZone

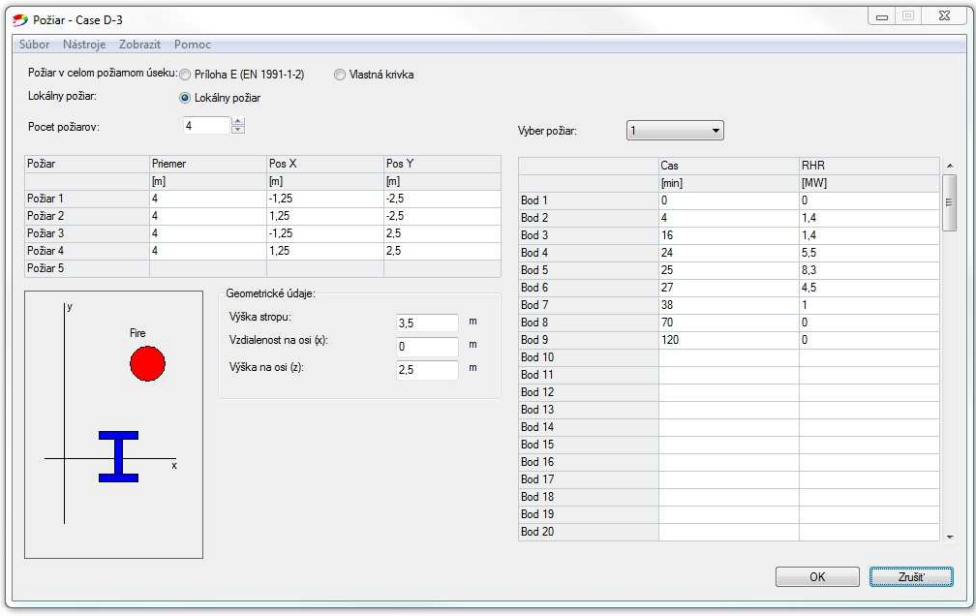
Pokiaľ ide o vstupné hodnoty, v programe OZone, používateľ otvorí dialógové okno „Požiar“ a označí „Lokálny požiar“. Obrázok D.21 znázorňuje vstupné hodnoty, ktoré je potrebné zadať do programu:

a) počet zdrojov požiaru (4),

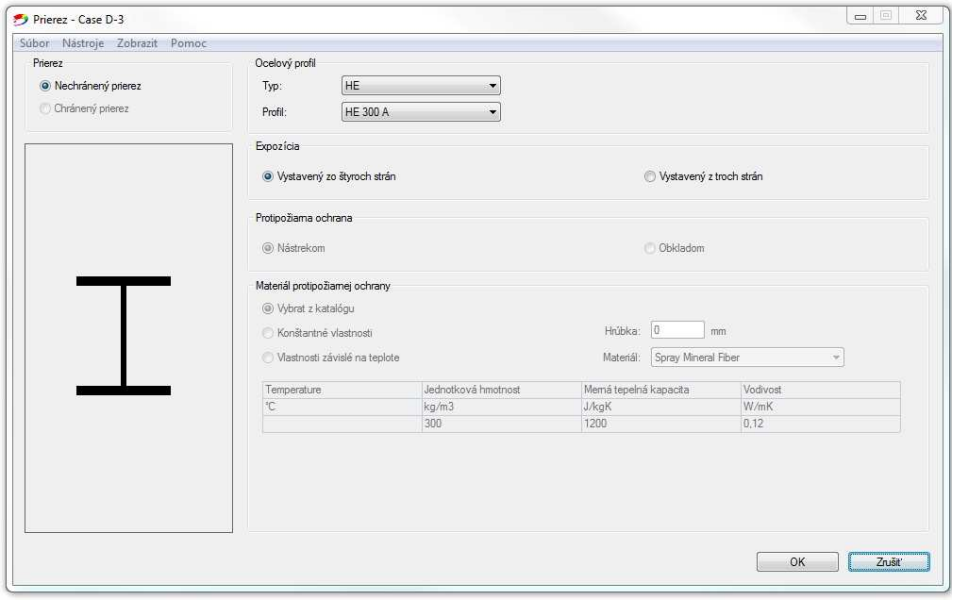
b) polohu každého zdroja požiaru a jeho RHR krivku,

c) výšku požiarneho úseku (3,5 m),

d) výškovú polohu na osi stĺpa, v ktorej sa má uskutočniť výpočet.



Obrázok D.17 Vstupné údaje v dialógovom okne „Požiar“

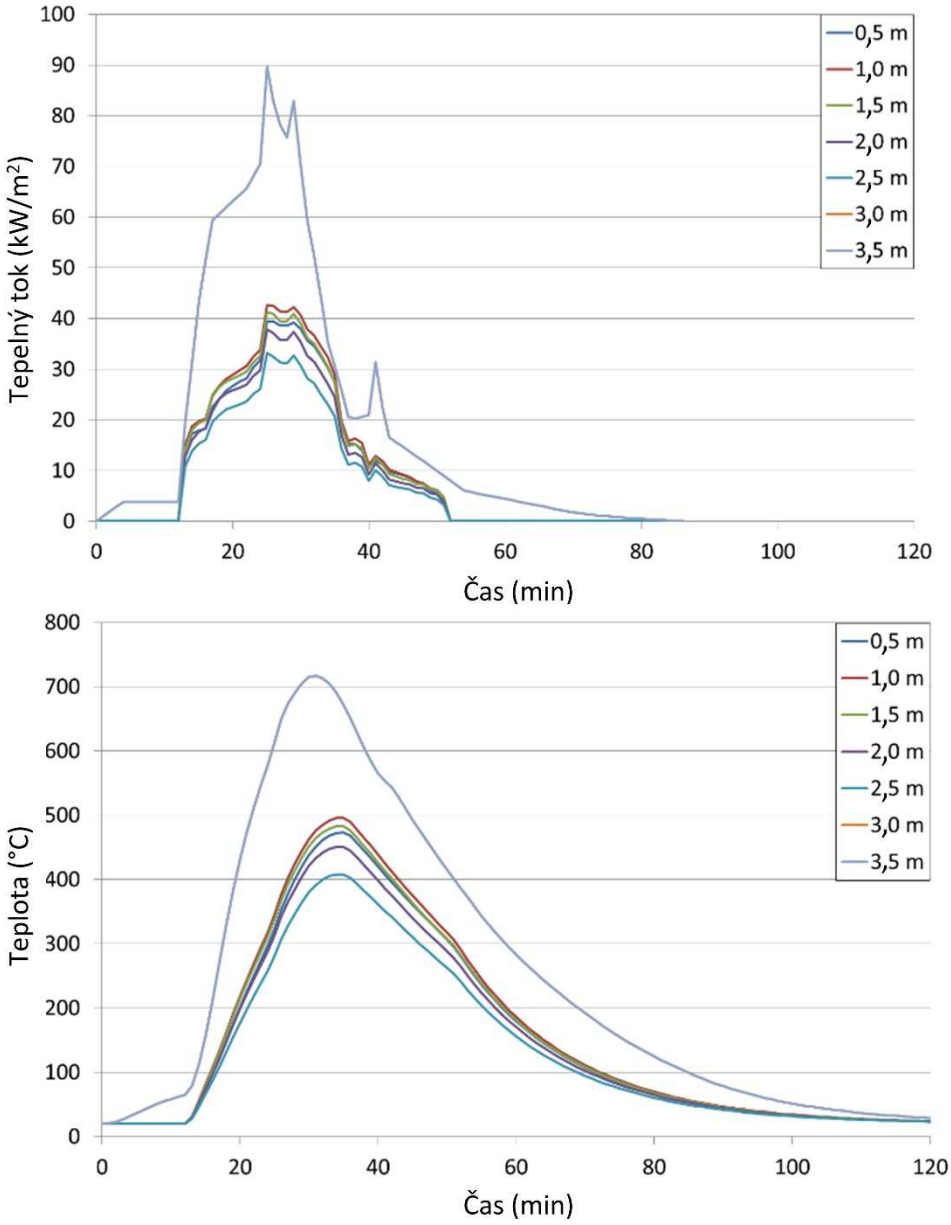


Obrázok D.18 Vstupné údaje v dialógovom okne „Prierez“

Aby bolo možné vypočítať teplotu v segmente stĺpa, používateľ musí definovať jeho prierez v dialógovom okne „Prierez“ (pozri Obrázok D.18) a spustiť výpočet kliknutím na tlačidlo „Teplota prierezu“.

OZone poskytuje grafický výstup teploty požadovaného segmentu a výsledné súbory obsahujú údaje o teplote a tepelnom toku. Obrázok D.19 znázorňujú výsledky na stĺpe v intervaloch 0,5 m. Mimo horúcej (hornej) vrstvy dymu je maximálna teplota 500°C pri výške 1 m, kým v horúcej vrstve (medzi 3,0 a 3,5 m) teplota dosahuje 718°C.

shows the results up the column at 0.5 m intervals. Outside the hot smoke layer, the maximum temperature is 500°C at 1 m height while in the hot layer (between 3.0 m and 3.5 m) it reaches 718°C.



Obrázok D.19 Vypočítaný priebeh tepelného toku (hore) a teploty (dole)