

# ANALÝZA ZÓNOVÝCH MODELŮ POŽÁRU A JEJICH APLIKACE PŘI POSUZOVÁNÍ KONSTRUKCÍ

Nicole Svobodová, \*

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,  
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.  
nicole.svobodova@fsv.cvut.cz

## ABSTRAKT

Článek se zabývá porovnáním vybraných programů využívajících zónové modely požáru a jejich následnou aplikací při posouzení požární odolnosti železobetonových prvků. Je provedena analýza zónových modelů požáru pro pět vybraných programů, tj. Argos, Branzfire, B-RISK, CFAST a OZone. V každém z těchto programů jsou modelovány dvě varianty řešeného prostoru pro dva režimy hoření, tj. pro požár řízený palivem a požár řízený ventilací. Pro stanovené průběhy teplot z jednotlivých zónových programů je provedeno posouzení požární odolnosti deskové konstrukce. Použité zónové programy jsou kvantitativně zhodnoceny ve vazbě na aplikovatelnost programu a na výslednou požární odolnost konstrukce.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Zónové modely požáru • Software na modelování požáru • Požární odolnost

## ABSTRACT

The article deals with the comparison of selected zone fire modelling software tools and their application in fire resistance assessment of reinforced concrete elements. An analysis of zone fire models is performed for five selected programs, i.e. Argos, Branzfire, B-RISK, CFAST and OZone. In each of these programs, two variants of the analysed compartment are created for simulating two types of fire scenario, including the fuel-controlled fire and the ventilation-controlled fire. A fire-resistance assessment of a simply-supported concrete slab panel is performed for the specified temperature profiles based on the individual zone fire modelling software tools. The zone fire modelling software tools used are evaluated quantitatively concerning the applicability of the program and the resulting fire resistance of the structure.

## KEYWORDS

Zone Fire Model • Fire Modelling Software • Fire Resistance

## 1. ÚVOD

Tento článek vychází z diplomové práce (Svobodová 2021), jejíž výsledky byly použity pro účely článku, který byl

prezentován ve sborníku konference 27. Betonářské dny (Svobodová a kol. 2020, Svobodová a kol. 2021).

Posuzování požární odolnosti prvků je v požárně inženýrské praxi většinou založeno na zjednodušených modelech požáru reprezentovaných např. nominálními teplotními křivkami (ČSN EN 1991-1-2). Tyto zjednodušené modely jsou velmi konzervativní. Vyjma zjednodušených modelů požáru existují ještě zpřesněné (zdokonalené) modely. Pro stanovení požární odolnosti konstrukcí je nutné znát rozložení teplot v průřezu. To lze stanovit výpočtem vedení tepla, pro který je nutné určit okrajové podmínky. Jedna z podmínek vychází z teplotní analýzy požárního úseku.

S rozšířením využívání informačních technologií v oblasti požárního inženýrství byla během posledních desetiletí vyvíjena řada výpočetních programů snažících se zpřesněnými přístupy modelovat průběh požáru v objektu. Mezi zpřesněné matematické modely požáru patří především modely dynamického proudění kapalin a plynů, tzv. CFD modely (Computational Fluid Dynamics) a zónové modely. Tento článek se věnuje programům využívajících zónové modely požáru. Matematický základ těchto programů nemusí být však vždy stejný. Pro získání co nejrelevantnějších výstupů je nutné zvolit vhodný program (Kučera 2009, Kučera a kol. 2010, Karlsson et al. 2000, Wald a kol. 2017).

## 2. PRŮBĚH POŽÁRU ZÓNOVÝCH MODELŮ

Zónové modely požáru patří mezi deterministické matematické modely a vyjadřují ideální průběh požáru v uzavřeném prostoru. Jejich princip spočívá v rozdělení výpočetního prostoru do jedné nebo dvou homogenních zón (vrstev), přičemž každá vrstva má stejnou hustotu, teplotu a koncentraci plynů. Zónové modely se dělí na jednozónové a dvouzónové. Dvouzónové modely popisují průběh požáru v počáteční fázi před prostorovým vzplanutím (tzv. flashover efektem). Jednozónové modely popisují požár po fázi celkového prostorového vzplanutí.

Předností zónových modelů je především jednoduchost jejich řešení (např. v porovnání se CFD modely) a rychlost výpočtu (Kučera a kol. 2010, Karlsson et al. 2000).

## 3. ILUSTRATIVNÍ PŘÍKLAD

\* Školitel: Ing. Josef Novák, Ph.D.

Řešeným prostorem je požární úsek kancelářského archivu. Jedná se o jednu místnost o vnitřních půdorysných rozměrech 6000 x 8500 mm a světlou výškou 3000 mm. Místnost je větrána přirozeně okny, dveře jsou trvale uzavřeny.

Jsou uvažovány dvě varianty této místnosti lišící se pouze počtem okenních otvorů – u varianty 1 je uvažováno 6 oken o rozměrech 2000 x 1500 mm, u varianty 2 je pouze jedno okno o stejných rozměrech.

### 3.1. Modelování požáru

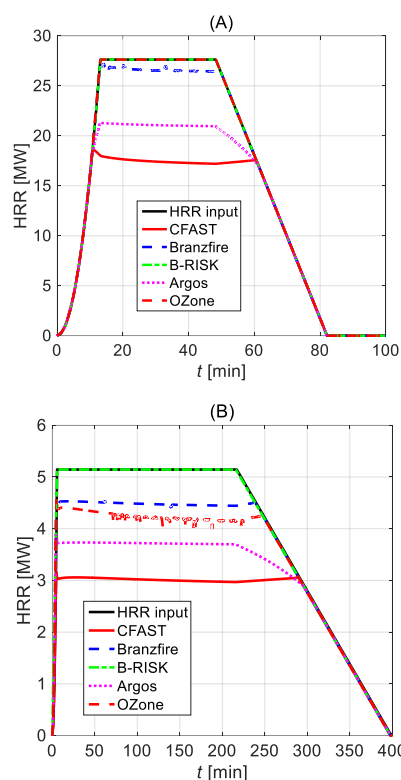
Pro obě varianty řešeného prostoru byly vytvořeny křivky rychlosti uvolňování tepla (Heat Release Rate – HRR) stanovené dle Eurokódu a pomocí výpočetního programu FMC (Benýšek, Štefan 2015). Vstupní hodnoty pro program FMC byly převzaty z Přílohy E (ČSN EN 1991-1-2), parametry křivek HRR se lišily pouze v ploše otvorů umožňující přísun kyslíku (oken). Tyto otvory jsou uvažovány trvale otevřené po celou dobu simulace. V případě varianty č. 1 jde o požár řízený palivem, u varianty č. 2 jde o požár řízený ventilací (ČSN EN 1991-1-2, viz také Benýšek a kol. 2019). Tyto křivky HRR sloužily jako vstupní data pro jednotlivé zónové programy.

Požár byl pro obě varianty místnosti modelován v programech Argos (Deibjerg et al. 2003), Branzfire (Wade at al. 2004), B-RISK (Wade at al. 2016), CFAST (Peacock at al. 2019) a OZone (přel. Lišková a kol. 2018). V každém programu byla definována místnost, její rozměry, okenní otvory, materiály konstrukcí a jejich charakteristiky. Bylo uvažováno s hořením materiálu na bázi dřeva s chemickým vzorcem  $C_{43}H_{37}O_5$  a spalným teplem 18,5 MJ/kg. Model vrstvy plynů při požáru byl uvažován dle McCaffreyho (Karlsson et al. 2000). Přestože všechny programy uvažují zónové modely požáru, vyžadují rozdílné množství vstupních parametrů. Cílem bylo vytvořit ve všech programech stejný model a porovnat výsledky.

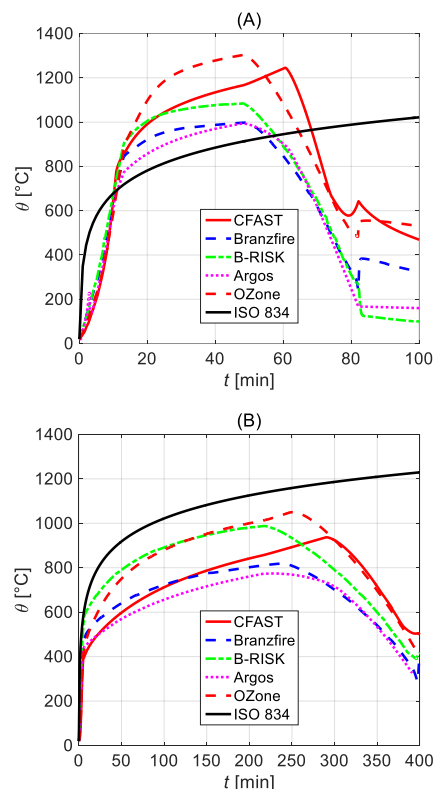
V programu Argos byl požár modelován definováním průběhu křivky HRR formou souřadnic. V programech Branzfire a B-RISK byl požár definován průběhem křivky HRR formou souřadnic, chemickým vzorcem hořícího materiálu a jeho spalným teplem, v programu B-RISK ještě navíc hustotou požárního zatížení. U programu CFAST byl požár modelován t-kvadratickou křivkou HRR, zadána byla maximální hodnota HRR a jednotlivé fáze hoření, chemický vzorec hořícího materiálu a jeho spalného tepla. V programu OZone byl požár simulován definováním průběhu křivky HRR formou souřadnic a plochy požáru. Základní křivka HRR sloužící jako vstup do jednotlivých programů je značena „HRR input“ (Obr. 1).

### 3.2. Výstupní grafy

Výstupy z programů byly následně převedeny do tabulkového procesoru. Níže jsou vyobrazeny výsledné grafy rychlosti uvolňování tepla (Obr. 1) a teploty plynů horní kouřové vrstvy (Obr. 2), které jsou pro názornost doplněny také normovou teplotní křivkou ISO 834 (ČSN EN 1991-1-2).



Obrázek 1: Rychlost uvolňování tepla: (A) varianta č. 1; (B) varianta č. 2.



Obrázek 2: Teplota horní kouřové vrstvy: (A) varianta č. 1; (B) varianta č. 2.

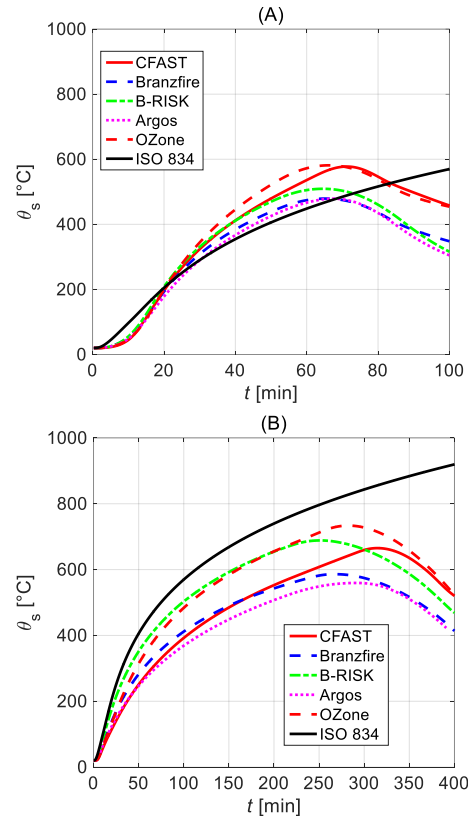
Nejnižší hodnoty výstupní křivky HRR oproti vstupní křivce HRR nastaly u programu CFAST (Obr. 1). Zároveň zde byly zaznamenány druhé nejvyšší hodnoty teplot horní kouřové vrstvy (Obr. 2). Zásadní vliv na průběh těchto grafů má hodnota spalného tepla zadaného paliva. Program CFAST uvažuje při výpočtu případ, kdy shoří jen část paliva. Tehdy nedosahuje křivka HRR svých předepsaných maximálních hodnot dle ČSN EN 1991-1-2. Spalné teplo paliva přímo úměrně ovlivňuje množství spotřebovaného kyslíku při požáru a zároveň koncentraci CO<sub>2</sub> v horní kouřové vrstvě. S nárůstem koncentrace CO<sub>2</sub> v horní kouřové vrstvě se zvyšují hodnoty průběhů uvedených grafů. Platí tedy, že čím vyšší je hodnota spalného tepla, tím vyšších hodnot dosahují průběhy grafů HRR a teplot horní kouřové vrstvy (Peacock et al. 2020).

U programu Branzfire a B-RISK nebyl zaznamenán významný vliv spalného tepla na průběhy uvedených grafů. Největší vliv na pokles hodnot průběhu křivky HRR u programu Argos je pravděpodobně způsoben uvažováním parametrů paliva při výpočtu. Program Argos a OZone neumožňuje v běžném nastavení tyto parametry uživatelsky upravit (Deibjerg et al. 2003, přel. Lišková a kol. 2018).

### 3.3. Posouzení požární odolnosti deskové konstrukce

Pro stropní konstrukci řešeného požárního úseku byly stanoveny průběhy teplot ve výztuži pomocí výpočetního programu TempAnalysis (Štefan a kol. 2009), který funguje na principu řešení rovnice přenosu tepla jedním směrem (viz např. Štefan 2015). Stropní konstrukce je tvořena panely o rozměrech 6900 mm x 1000 mm x 250 mm s účinnou délkou 6700 mm. Deskové panely jsou prostě uloženy a rovnoměrně zatíženy stálým zatížením (včetně vlastní tíhy konstrukce) s charakteristickou hodnotou  $g_k = 7,5 \text{ kN/m}^2$  a proměnlivým zatížením s charakteristickou hodnotou  $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ .

Stropní panel byl navržen a posouzen za běžné teploty v souladu s ČSN EN 1992-1-1. Hlavní parametry prvku byly uvažovány následovně: třída betonu C30/37, výztuž B500B, krycí vrstva  $c = 20 \text{ mm}$  a plocha hlavní nosné výztuže  $A_s = 1131 \text{ mm}^2$  (10 Ø 12 mm). Ostatní výztuž je při posouzení požární odolnosti zanedbána. Materiálové vlastnosti betonu v závislosti na teplotě byly převzaty z ČSN EN 1992-1-1. Byla uvažována horní mez tepelné vodivosti, počáteční vlhkost 1,5 % hmotnosti betonu, počáteční objemová hmotnost  $2500 \text{ kg/m}^3$ , součinitel přestupu tepla  $35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  a emisivita 0,7. Počáteční teplota byla nastavena na hodnotu  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vliv výztuže na distribuci teplot prvkem byl zanedbán. Na odvrácené straně průřezu je předepsán nulový tepelný tok. Jako okrajová podmínka je použit průběh teplot horní kouřové vrstvy ze zónových programů a navíc i normová teplotní křivka ISO 834 (Štefan a kol. 2009, Štefan 2015). Výsledný průběh teplot ve výztuži pro jednotlivé grafy teplot horní kouřové vrstvy je znázorněn na Obr. 3.



Obrázek 3: Průběh teplot ve výztuži ( $x = 26 \text{ mm}$ ): (A) varianta č. 1; (B) varianta č. 2.

Pro posouzení únosnosti stropní desky při požáru je zvolena zjednodušená výpočetní metoda pro nosníky a desky dle přílohy E v ČSN EN 1992-1-2. Návrhová hodnota ohybového momentu za požární situace je stanovena ze vztahu (1). Návrhová hodnota momentu únosnosti při požární situaci je stanovena dle vztahu (2), kde  $k_{s,\theta}$  je součinitel redukce pevnosti oceli pro danou teplotu pro požadovanou požární odolnost. Ověření únosnosti stropního panelu při požární situaci je posouzeno dle vztahu (3).

Pro jednotlivé programy jsou v Tab. 1 stanoveny maximální dosažené teploty ve výztuži a zároveň je zjištěna maximální doba únosnosti konstrukce pro obě varianty řešeného prostoru, tj. pro požár řízený palivem (varianta č. 1), resp. ventilací (varianta č. 2).

$$M_{Ed,fi} = \frac{1}{8} w_{Ed,fi} l_{eff}^2 = \frac{1}{8} \eta_{fi} (g_d + q_d) b_{eff} l_{eff}^2 \quad (1)$$

$$M_{Ed,fi} = \frac{1}{8} 0,7 (7,5 \cdot 1,35 + 2,5 \cdot 1,5) \cdot 1 \cdot 6,7^2 = 54,5 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,fi} = \frac{Y_s}{\gamma_{s,fi}} k_{s,\theta}(\theta) \cdot M_{Ed} \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \quad (2)$$

$$M_{Rd,fi} = \frac{1,15}{1,0} k_{s,\theta}(\theta) \cdot 77,9 \frac{1131}{888}$$

$$M_{Ed,fi} \leq M_{Rd,fi} ; \text{ zároveň platí } \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \leq 1,3 \quad (3)$$

Tabulka 1: Únosnost stropního panelu při požáru.

Program		Maximální dosažená teplota [°C]	Čas dosažení maximální teploty [min]	Součinitel $k_{s,\theta}$ [-] pro max. teplotu	Moment únosnosti $M_{Ra,fi}$ [kNm] při max. teplotě	Posouzení pro max. teplotu	Maximální požární odolnost [min]
Argos	Var. 1	478,89	67,33	0,60	68,14	Vyhovuje	Nestanovena
	Var. 2	559,39	290,33	0,43	49,10	Nevyhovuje	234
Branzfire	Var. 1	479,09	65,00	0,60	68,11	Vyhovuje	Nestanovena
	Var. 2	586,10	266,67	0,37	41,94	Nevyhovuje	196
B-RISK	Var. 1	509,17	64,67	0,55	62,56	Vyhovuje	Nestanovena
	Var. 2	688,57	251,00	0,13	14,47	Nevyhovuje	117
CFAST	Var. 1	577,50	71,33	0,39	44,24	Nevyhovuje	60
	Var. 2	665,22	314,33	0,18	20,73	Nevyhovuje	188
OZone	Var. 1	581,33	66,33	0,38	43,22	Nevyhovuje	52
	Var. 2	733,64	282,00	0,09	10,64	Nevyhovuje	125
ISO 834	Var. 1	569,75	100,00	0,41	46,32	Nevyhovuje	87
	Var. 2	919,59	400,00	0,06	6,40	Nevyhovuje	88

Tabulka 2: Porovnání možností jednotlivých zónových programů.

Možnosti programu	Argos	Branzfire	B-RISK	CFAST	OZone
Dvouzónové modely	✓	✓	✓	✓	✓
Modelování pouze jednozónovými modely	X	✓	✓	✓	✓
Modelování více místností	✓	✓	✓	✓	X
Požár v šachtách a chodbách	X	✓	✓	✓	X
Nastavení otevření otvorů při požáru	✓	✓	✓	✓	✓
Aktivní požární ochrana (hasicí systémy apod.)	✓	✓	✓	✓	✓
Databáze definovaných požárů	✓	✓	✓	✓	✓
Více požárů v jedné simulaci	X	✓	✓	✓	X
Posouzení požární odolnosti ocelových prvků	X	X	X	X	✓
Pravděpodobnostní modul Monte Carlo	X	X	✓	X	X
Výstupy v grafech	✓	✓	✓	X	✓
Výstupní soubor v tabulkovém procesoru	X	✓	✓	✓	X
Vizualizace požáru	X	X	✓	✓	X
Dostupnost zdarma	X	✓	✓	✓	✓

V případě varianty č. 1 u programu Argos, Branzfire a B-RISK byla únosnost konstrukce při požáru vyhovující po celý průběh požáru. V případě varianty č. 2 únosnost konstrukce pro maximální dosažené teploty nevyhověla u žádného programu, což je způsobeno především délkou trvání tohoto požáru.

Program CFAST umožňuje zadání nejvíce vstupních parametrů a dala by se proto očekávat nejvyšší přesnost výsledné teplotní analýzy řešeného prostoru. Přesto zde byly zaznamenány vyšší teploty než u některých programů a tyto vyšší teploty jsou důvodem kratší doby výsledné požární odolnosti konstrukce. Oproti tomu většina ostatních programů neumožňuje definovat tolik vstupních parametrů jako program CFAST a dalo by se tedy předpokládat, že výsledky z těchto programů budou konzervativnější vůči skutečnému průběhu požáru v prostoru. Přesto bylo u těchto programů (zejména u programu Argos, Branzfire a v případě varianty č. 1 u programu B-RISK) dosaženo nižších teplot, a tím i vyšší

výsledné požární odolnosti posuzované konstrukce než u programu CFAST.

Z analýzy vyplývá, že výsledná požární odolnost stropní konstrukce může být velmi ovlivněna zvoleným programem použitým k modelování požáru a zjištění průběhů teplot v prostoru.

### 3.4. Zhodnocení

Všechny analyzované programy nevyžadují stejné množství a formu vstupních údajů, proto jsou zřejmé odchylky mezi jednotlivými výstupy. Bylo zjištěno, že zásadní vliv na výstupy může mít způsob, jakým zvolený program uvažuje při výpočtu s parametry zadaného paliva, zejména se spalným teplem. Další výzkum by bylo vhodné zaměřit na rozdíly v matematickém základu jednotlivých programů, případně provést porovnání s CFD modely (viz např. Floyd 2002). Možnosti jednotlivých programů jsou uvedeny v Tab. 2.

#### 4. ZÁVĚR

Tento článek byl zaměřen na porovnání vybraných zónových programů na modelování požáru pro různé režimy hoření a zhodnocení jejich výsledků ve vazbě na posouzení požární odolnosti železobetonového prvku. Byl vytvořen požární úsek prostoru kancelářského archivu. V jednotlivých zónových programech byly modelovány dvě varianty řešeného prostoru pro dva režimy hoření, tj. pro požár řízený palivem, resp. ventilací. Výstupy z jednotlivých programů byly porovnány a zhodnoceny. Pro zjištění průběhy teplot bylo provedeno posouzení požární odolnosti stropní deskové konstrukce. Jednotlivé zónové programy byly kvantitativně zhodnoceny ve vazbě na aplikovatelnost programu a na výslednou požární odolnost konstrukce.

Z dosavadních výsledků uvedených v tomto článku je patrné, jak se jednotlivé výstupy mohou lišit v závislosti na použitém programu. Nároky jednotlivých programů na množství vstupních informací jsou odlišné. Volba vhodného programu a způsobu modelování požáru je proto stěžejní pro získání co nejužitečnějších výsledků. Je tedy nutné znát možnosti a nevýhody daného programu a jeho volbu provést s ohledem na charakter vstupních informací.

#### PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl vytvořen v rámci finanční podpory Studentské grantové soutěže ČVUT, č. projektu SGS21/040/OHK1/IT/11.

#### Reference

- Svobodová, N.; Benýšek, M.; Štefan, R. *Analýza zónových modelů požáru a jejich aplikace při návrhu konstrukcí*. In: Sborník ke konferenci 27. BETONÁŘSKÉ DNY. Praha 1: Česká betonářská společnost ČSSI, 2020. p. 509-516. ISBN 978-80-907611-3-1.
- Svobodová, N.; Benýšek, M.; Štefan, R. *Analysis of zone fire models and their application in structural fire design*. In: 27th Concrete Days. Curich: Trans Tech Publications, 2021. Solid State Phenomena. ISSN 1012-0394. ISBN 978-3-0357-1668-9, after review.
- Svobodová, N. *Analýza zónových modelů požáru a jejich aplikace při posuzování požární odolnosti konstrukcí*. Diplomová práce. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra betonových a zděných konstrukcí, 2021. Vedoucí práce: Ing. Martin Benýšek.
- ČSN EN 1991-1-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha 2013.
- KUČERA, Petr a Zdeňka PEZDOVÁ. *Základy matematického modelování požáru*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. ISBN 978-80-7385-095-1.
- KUČERA, Petr. *Požární inženýrství: dynamika požáru*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. ISBN 978-80-7385-074-6.
- PEACOCK, R. D., P. A. RENEKE a G. P. FORNEY. *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 7) Volume 2: User's Guide*. 2019.
- WADE, Colleen, Greg BAKER, Kevin FRANK, Roger HARRISON a Michael SPEARPOINT. *B-RISK 2016 user guide and technical manual*. 2016, 144.
- PEACOCK, R. D., K. B. MCGRATTAN, G. P. FORNEY a P. A. RENEKE. *CFAST – Consoli-dated Fire and Smoke Transport (Version 7) Volume 1: Technical Reference Guide*. 2020.
- BENÝŠEK, Martin a Radek ŠTEFAN. *FMC - Fire Models Calculator [software online]*. Prague: CTU in Prague, Faculty of Civil Engineering, Dep. of Concrete and Masonry Structures, 2015.
- BENÝŠEK, M., ŠTEFAN, R. a PROCHÁZKA, J. *Analysis of Fire Resistance of Concrete Structural Members Based on Different Fire Models: An Illustrative Example of the Slab Panel Assessment*. In: 25th Concrete Days 2018. B.m.: Trans Tech Publications, 2019, 2019, s. 173–182. ISBN 978-3-0357-1459-3.
- DEIBJERG, Thomas, Bjarne Paulsen HUSTED, Henrik BYGBJERG a David WESTERMAN. *Argos User's Guide*. 2003, 165.
- WADE, Colleen. *A User's Guide to BRANZFIRE 2004*. B.m.: Building Research Association of New Zealand, Judgeford, 2004.
- N. LIŠKOVÁ, K. CÁBOVÁ a F. WALD (přel.). *OZone V3 Uživatelský manuál*. Praha: Fakulta stavební ČVUT, 2018.
- KARLSSON, Björn a James G. QUINTIERE. *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. Environmental and energy engineering series. ISBN 978-0-8493-1300-4.
- ŠTEFAN, R., PROCHÁZKA, J. *TempAnalysis - Computer Program for Temperature Analysis of Cross Sections Exposed to Fire [software online]*. Prague: CTU in Prague, Faculty of Civil Engineering, Dep. of Concrete and Masonry Structures, 2009.
- ŠTEFAN, R. *Transport Processes in Concrete at High Temperatures. Mathematical Modelling and Engineering Applications with Focus on Concrete Spalling*. PhD thesis, CTU in Prague, 2015.
- ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. 2019.
- ČSN EN 1992-1-2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. 2020.
- WALD, František, Marek POKORNÝ, Kamila HOROVÁ, Petr HEJTMÁNEK, Hana NAJMA-NOVÁ, Martin BENÝŠEK, Marta KUREJKOVÁ, Ivo SCHWARZ, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a STAVEBNÍ FAKULTA. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.
- FLOYD, Jason E. *Comparison of CFAST and FDS for fire simulation with the HDR T51 and T52 tests [online]*. NIST IR 6866. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technolo-gy. 2002 [vid. 2020-09-29]. Dostupné z: doi:10.6028/NIST.IR.6866