

Rubrika: Požární ochrana

Jméno autora 1: Ing. Marek Pokorný, Ph.D.

Jméno autora 2: Ing. Martin Eliáš

Působíště autorů 1 a 2: UCEEB ČVUT v Praze, požární laboratoř

Jméno autora 3: Bc. František Kregl

Působíště autora 3: FK servis, s.r.o.

Požární zkouška ochrany ocelového nosníku nízkotlakou vodní mlhou

Recenzent

Doc. Ing. Jiří Pokorný, Ph.D., MPA

Chlazení stavebních konstrukcí pro zvýšení požární odolnosti se tradičně provádí přímým smáčením povrchu konstrukce sprejovým (drenčerovým) nebo sprinklerovým zařízením, avšak značná část objemu aplikované vody zůstává zcela nevyužita. Chlazení stavebních konstrukcí nízkotlakou vodní mlhou kombinuje přímé smáčení povrchu konstrukce s chlazením horkých plynů v okolí konstrukce, čímž dochází ke snížení emisivity prostředí. Článek představuje dílčí výsledky výzkumu účinku nízkotlaké vodní mlhy na snížení teploty plynů v okolí chráněné ocelové konstrukce (stropního nosníku) sledované při velkorozměrové požární zkoušce na UCEEB ČVUT v Praze. Teploty změřené při požární zkoušce jsou v článku dále porovnány s matematickým CFD modelem vytvořeným v programu FDS (Fire Dynamics Simulator), jakožto progresivním nástrojem stále častěji využívaným ve světě i v ČR pro podobné požárně inženýrské aplikace. Nízkotlaká varianta vodní mlhy je předmět výzkumu zejména pro své výhody ve srovnání se střední- a vysokotlakými systémy, zejména pak pro vyšší míru stability mlhové oblaku díky širokému spektru průměru a hmotnosti vodních kapek.

Klíčová slova: vodní mlha; požár; chlazení; emisivita prostředí; ocel; kritická teplota; požární odolnost; vodní mlha; chlazení; ocel; kritická teplota; požární odolnost; emisivita prostředí; FDS

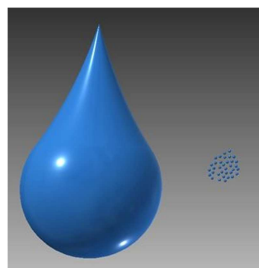
ÚVOD

Hašení vodní mlhou

Vodní mlha je využívána jako velmi efektivní způsob tzv. objemového hašení v požární ochraně staveb již po desetiletí. Počátek sahá do 30. let minulého století, kdy kvůli silné konkurenci s jinými druhy hasicích zařízení (sprinklerová, plynová aj.) byla dočasně zapomenuta. V 90. letech minulého století bylo zakázáno celosvětové používání halonů s dopadem na plynová hasicí zařízení a vytvořil se tak prostor pro renesanci a další vývoj mlhových zařízení. Výborný rozbor vodní mlhy a mlhových hasicích systémů s odkazy na další literaturu lze dohledat například v odborné knize [1] a diplomových pracích [2], [3], [4].

Hlavní rozdíl mezi sprinklerovým a mlhovým vodním hasicím zařízením spočívá zejména ve velikosti a počtu produkovaných kapek (obr. 1). Zatímco sprinklerový výstřik je tvořen kapkami převážně o velikosti 1 až 3 mm, mlhový výstřik je z 99 % tvořen kapkami výrazně menšími než 1 mm (dle velikosti tlaku v soustavě, tab. 1). Intenzivní vypařování malých kapek vodní mlhy v případě požáru způsobuje prudkou expanzi objemu při přechodu na vodní páru, který se zvýší cca 1650× v porovnání s kapalným skupenstvím. Tímto objemovým

efektem je docíleno velkého množství odebraného výparného tepla a vytěsňování okolního vzduchu, resp. snížení koncentrace kyslíku ve vzduchu v hořícím prostoru. Mlhová hasicí zařízení mají proto svou nejvyšší účinnost zejména v menších uzavřených prostorech staveb, kde se objemový účinek uplatní nejefektivněji.



Obr. 1 Schématické porovnání sprinklerové vodní kapky s kapkami vodní mlhy

Jednotlivé kapky vodní mlhy v případě požáru část dopadajícího sálavého tepla odrazí, část pohltí a jen část znovu vyzáří. S ohledem na četnost a malé vzdálenosti mezi kapkami mlhy dochází k postupnému a efektivnímu útlumu sálavého tepelného toku dopadajícího například na okolní předměty [4]. Tento mechanismus je využit a dále v článku představen jako možnost lokálního ochlazování horkých plynů a zvýšení požární odolnosti konstrukcí.

Vodní mlha může být díky své „lehkosti“ naopak náchylná na stabilitu mlhového výstřiku vlivem proudění plynů. V případě požáru může jít například o oblast vztakového proudění v kuželu požáru (tzv. fire plume) nebo oblast vodorovného podstropního proudění plynů včetně vlivu požárního větrání. Vyšší pracovní tlak v soustavě mlhového zařízení způsobuje vyšší četnost kapek menších průměrů, avšak také vyšší náchylnost na proudění okolních plynů (strhávání mlhy). V případě požadavku na vyšší stabilitu vodního mraku, například pro aplikace lokálního hašení nebo chlazení (stavební konstrukce, technologie), je naopak vhodný nízkotlaký mlhový výstřik s většími a těžšími kapkami. Nízkotlaká vodní mlha rovněž umožňuje vyšší míru smáčení ochlazovaných povrchů (stékání vody).

Tab. 1 Porovnání sprinklerových a mlhových stabilních hasicích zařízení (SHZ) dle velikosti kapek a pracovního tlaku v soustavě [2]

Parametr	Sprinklerová SHZ	Mlhová SHZ		
		nízkotlaká	středotlaká	vysokotlaká
Průměr kapek [mm]	1 – 3	0,4 – 1	0,2 – 0,4	0,025 – 0,2
Maximální tlak [bar]	12,5	12,5	12,5 – 35	35

Chlazení vodní mlhou pro požární ochranu ocelových konstrukcí

Nechráněné ocelové konstrukce obvykle dosahují požární odolnosti do 15 minut, výjimečně 30 minut. Převážná většina ocelových prvků však požadovanou požární odolnost nespĺňuje a je ji nutné zajistit obvykle pasivní požární ochranou (nátěr, nástřik, omítka, obklad apod.).

Vysoce aktuálním a závažným problémem se postupně stává nutná obnova zpěňujících (tzv. intumescentních) nátěrů aplikovaných na ocelových konstrukcích (skelety vícepodlažních budov, rámové konstrukce hal apod.) z důvodu omezené životnosti (obvykle pouze okolo 10 let). Obnova nátěru obvykle vyžaduje přerušeni nebo výrazné omezení provozu objektu, demontáž řady technických zařízení navěšených na ocelové konstrukce, mechanické očištění

původního a aplikaci nového nátěru. To bývá v řadě případů neproveditelné. V těchto objektech však obvykle bývá instalováno vodní sprinklerové stabilní hasicí zařízení (SHZ) a je zde možnost doplnit toto stávající SHZ o technologii mlhového chladicího zařízení v prostoru kolem ocelových konstrukcí. Mlhové chladicí zařízení by zajistilo jejich požární odolnost bez nutné technicky náročné obnovy nátěrového systému.

Vlastnosti ocelových konstrukcí jsou závislé na hodnotě tzv. kritické teploty. Vlastnosti se při zvýšených teplotách stanovují z hodnot za běžné teploty pomocí redukčních součinitelů, jimiž se redukuje mez kluzu a modul pružnosti oceli. Pro nechráněné ocelové konstrukce namáhané požárem závisí nárůst jejich teploty na tzv. součiniteli průřezu A_m/V (~~resp. A_m/V nebo A_p/V~~) vyjadřující poměr mezi ohřivanou plochou povrchu prvku A_m a objemem prvku V na jednotku délky. V případě konstrukčního prvku neměnného průřezu po délce lze též součinitel A_m/V uvažovat jako poměr ohřivaného obvodu k průřezové ploše (dříve používalo též označení O/A). Při posuzování ocelových prvků z hlediska požární odolnosti jsou pro zjednodušení uvedeny konzervativní kritické teploty v ČSN 73 0810 [5]. Například pro hlavní nosné konstrukce, jako jsou sloupy, nosníky, průvlaky nebo vazníky, lze uvažovat kritickou teplotu oceli 500 °C. Kritickou teplotu lze rovněž spočítat se znalostí konkrétních okrajových podmínek ocelového prvku (průřez, stupeň využití apod.) dle ČSN EN 1993-1-2 Eurokód 3 [6]. V závislosti na součiniteli průřezu a kritické teplotě lze zjistit výslednou požární odolnost konstrukce [7]. Kritériem pro funkčnost mlhového chladicího zařízení lze tak uvažovat udržení teploty horkých plynů pod kritickou teplotou konstrukčního prvku.

Návrhové a zkušební postupy

Tradiční vodní chlazení (skrápění) konstrukčních prvků je založeno na průběžném a dostatečně kapacitním smáčení jejich povrchu. Pro rámcový návrh skrápěcích zařízení na národní úrovni lze uplatnit zásady v Příloze A ČSN 73 0873 [8].

Pro návrh, instalaci a zkoušky mlhových zařízení je v současné době na evropské úrovni k dispozici stále pouze předběžná evropská harmonizovaná norma jakožto převzatá a do češtiny přeložená technická specifikace ČSN P CEN/TS 14972 [9]. Zkušební postupy uvedené v Příloze A této normy se vztahují k hodnocení účinku hašení pouze pro specifické scénáře, jako jsou požáry hořlavých kapalin, kabelových kanálů, kancelářských prostor nebo profesionálních olejových fritéz. Detailní návrhové normové postupy, jako např. pro sprinklerová zařízení (ČSN EN 12845 [10]), nejsou pro mlhová zařízení k dispozici a jsou předmětem současné evropské normotvorby. Návrh konkrétního mlhového zařízení je vždy nutný v součinnosti a dle podkladů výrobce.

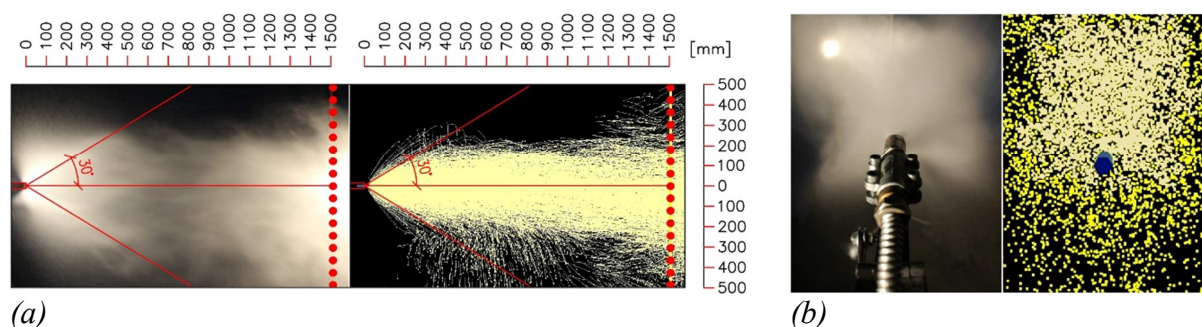
Předchozí výzkum

Problematika ochlazování prostředí vodní mlhou ve vazbě na požární ochranu nosných a požárně dělících stavebních konstrukcí je dosud řešena jen okrajově. Zatímco tradiční chlazení (skrápění) chráněných konstrukčních prvků je založeno na přímém smáčení jejich povrchu vodou, v případě mlhového zařízení jde především o efekt ochlazování okolí konstrukce, respektive snižování emisivity prostředí v oblaku vodní mlhy.

Za účelem možnosti aplikace vysokotlaké vodní mlhy pro zvyšování požární odolnosti nechráněných ocelových konstrukcí byly provedeny a publikovány velkorozměrové požární zkoušky a odpovídající matematické CFD modely finskou společností Marioff Corporation ve spolupráci s finským výzkumným institutem VTT [11]. Z publikovaných výsledků je patrný

značný chladicí potenciál vysokotlaké vodní mlhy schopný snižovat teploty v okolí požáru a povrchové teploty ocelové konstrukce i v řádu několika stovek °C. Provedené požární zkoušky zatím nebraly v potaz rizika nestability oblaku vysokotlaké vodní mlhy způsobené prouděním plynů v hořícím prostoru, na které může být vysokotlaká vodní mlha značně citlivá.

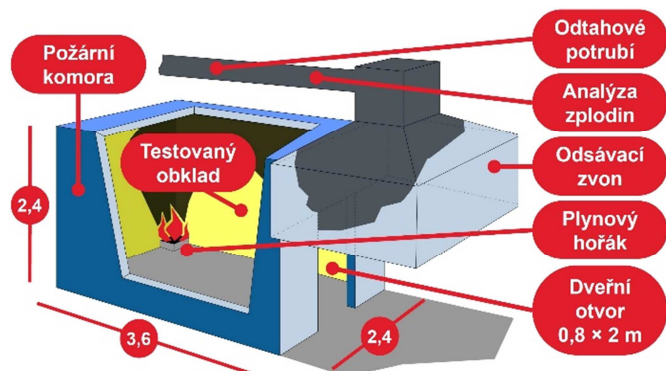
V požární laboratoři na UCEEB ČVUT v Praze byl v roce 2017 proveden experiment bez účinku požáru, v rámci něhož byly sledovány výstřikové charakteristiky 3 různých nízkotlakých mlhových trysek s vodorovným směrem výstřiku v délce cca 1,5 m (obr. 2). Sledováno bylo chování oblaku v podélném i příčném směru. Pro všechny trysky byl vytvořen matematický CFD model v programu FDS, který byl s pomocí experimentu úspěšně validován [12]. Výsledky experimentu byly dále využity pro navazující požární zkoušku, která je předmětem následující kapitoly.



Obr. 2 Porovnání kónického výstřiku mlhové trysky při zkoušce s matematickým CFD modelem [12]: (a) boční pohled; (b) pohled v ose výstřiku

POŽÁRNÍ ZKOUŠKA

Cílem provedené požární zkoušky byla analýza chladicího účinku nízkotlaké vodní mlhy na snížení emisivity prostředí a teploty plynů v okolí ocelové konstrukce (stropního nosníku). Zkouška byla provedena v požární laboratoři UCEEB ČVUT v Praze v září 2017. Využita byla zkušební místnost pro velkorozměrovou požární zkoušku (tzv. room corner test, obr. 3) dle ISO 9705 [13]. Zkouška je prioritně určena pro testování vlivu hořlavých povrchových úprav stěn a stropu na rozvoj a dynamiku požáru. Zkušební místnost má v průběhu zkoušky trvale otevřený dveřní otvor umožňující přirozenou výměnu plynů v hořícím prostoru (sání čerstvého vzduchu ve spodní části otvoru, odvod tepla a kouře v části horní). Oblak nízkotlaké vodní mlhy byl tak částečně vystaven účinku proudění horkých plynů.



Obr. 3 Konfigurace zkušební místnosti dle ISO 9705 [13] (tzv. room corner test) pro velkorozměrovou požární zkoušku hořlavých povrchových úprav stěn a stropu

Experimentální sestava

Požární zkouška byla realizována ve zděné místnosti půdorysných rozměrů $3,6 \times 2,4$ m a výšce 2,4 m s dveřním otvorem pro přirozenou výměnu plynů. Pro daný účel byla zkušební metodika upravena. Do zkušební místnosti s nehořlavými povrchy stěn a stropu byl zabudován plynový hořák, ocelový nosník a mlhová tryska (obr. 4). Požární zkouška byla provedena ve dvou variantách, a to zkouška referenční (bez chlazení) a zkouška s chlazením vodní mlhou. Cílem referenční zkoušky bylo v podmínkách zkušební místnosti pro maximální tepelný výkon hořáku dosáhnout maximálních teplot plynu v kouřové vrstvě v okolí nosníku. Cílem zkoušky s ochlazováním vodní mlhou bylo zjištění účinku snížení emisivity prostředí způsobeného ochlazováním horkých plynů v okolí nosníku při nejvyšších dosažených teplotách.

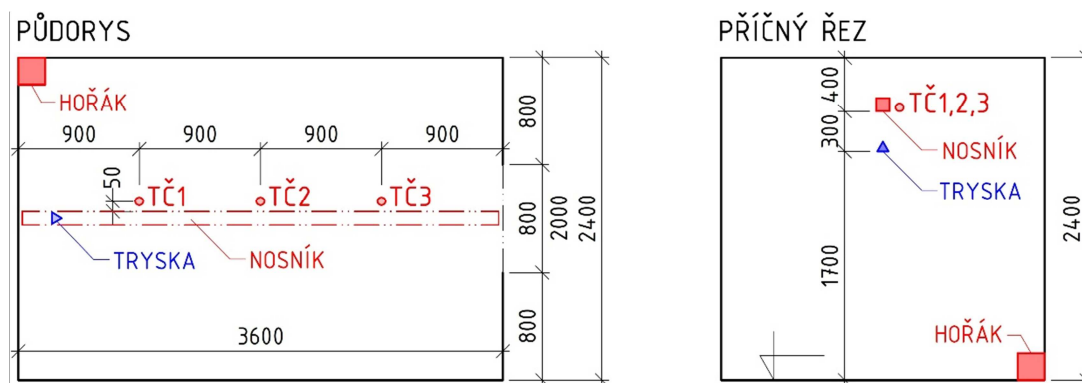


(a)

(b)

Obr. 4 Zkušební místnost: (a) pohled na zadní část místnosti – hořák v pravém dolním rohu, mlhová tryska na stojanu pod ocelovým nosníkem; (b) pohled na trvale otevřený dveřní otvor

Ocelový nosník uzavřeného průřezu (jekl $100 \times 100 \times 4$ mm, délky 3,55 m) byl osazen v ose místnosti ve výšce 2 m nad podlahou (obr. 4) s kluzným uložením pro možnost dilatace na stěny jako prostý nosník bez zatížení (obr. 5 a 6a). Jako zdroj požáru byl použit pískový propanový hořák o tepelném výkonu 300 kW. Hořák byl umístěn na podlaze v zadním rohu místnosti a částečně chráněn tvárniciemi proti nežádoucímu ovlivňování vodou (obr. 4a). V této rohové pozici hořák ohřál místnost na maximální možné teploty plynů pod stropem.



Obr. 5 Pozice nosníku, hořáku, mlhové trysky a termočlánků (TČ1, 2, 3) ve zkušební místnosti

Teploty plynů byly měřeny 3 termočlánky (TČ) typu K průměru 3 mm umístěnými 50 mm od boční stěny nosníku (ve čtvrtinách a v polovině délky nosníku) ve výšce 2 m nad podlahou (spodní líc nosník, obr. 5). Po předběžné zkoušce se ukázalo důležité chránit měřící konec TČ proti přímému smáčení vodou. Bez ochrany měřícího konce by docházelo k nežádoucímu ochlazování vlastního TČ na teplotu nekorrespondující s teplotou plynů v chráněné oblasti (obr. 6b).



(a)



(b)

Obr. 6 (a) mlhová tryska pod ocelovým nosníkem; (b) termočlánek s krytem z hliníkové pásky

Ocelový nosník byl chlazen oblakem vodní mlhy z jedné nízkotlaké trysky umístěné 1,7 m nad podlahou, tj. 0,3 m pod nosníkem (obr. 5 a 6a). Kónický výstřik trysky byl nastaven ve směru osy nosníku od zadní stěny směrem ke dveřnímu otvoru. Typ trysky a její umístění byly zvoleny na základě předchozího experimentálního a matematického srovnání 3 trysek publikovaných v [12], (obr. 2). Tryska byla osazena na kovovém stojanu a napojena na rozvod hasičského systému v požární laboratoři. Specifikace výstřikové charakteristiky uvádí následující tabulka.

Tab. 2 Specifikace výstřikové charakteristiky vodní mlhové trysky

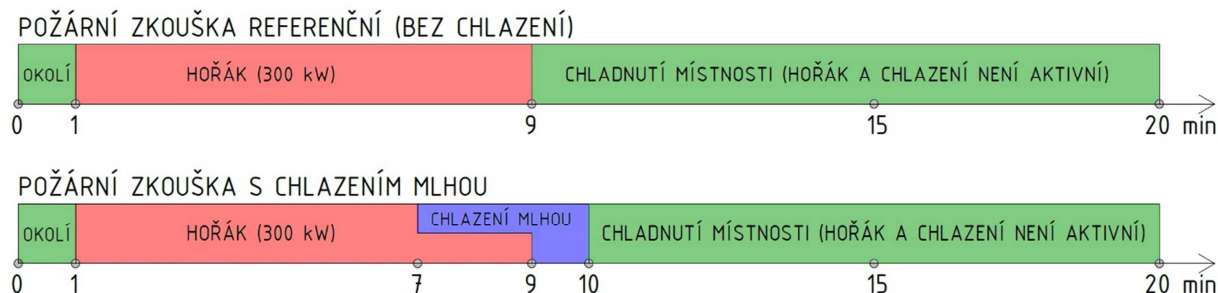
Veličina	Hodnota
Pracovní tlak	13 bar
K faktor	2,15
Střední velikost kapek	60 μm
Tvar proudu	kónický
Rychlost	42,8 m/s
Úhel vodního kužele ve vertikální rovině	0 až 30 °
Úhel vodního kužele v horizontální rovině	0 až 30 °

Průběh požární zkoušky

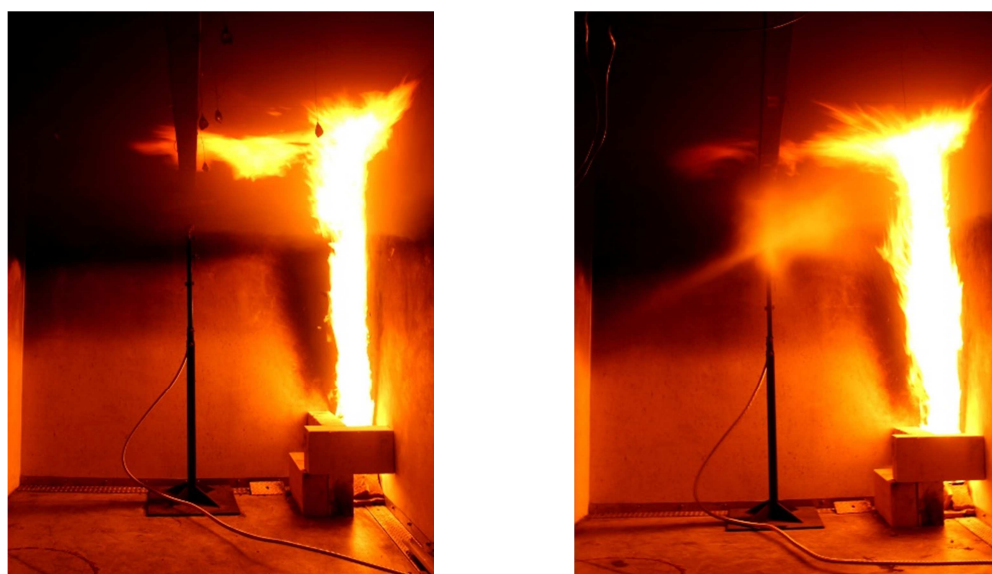
Požární zkouška a následně i matematický model byly provedeny ve 2 variantách jako:

- referenční (srovnávací) bez účinku chlazení ocelového nosníku vodní mlhou a
- s vlivem chlazení.

Průběh obou požárních zkoušek o celkové délce 20 minut je znázorněn na časové ose (obr. 7). Během první minuty probíhalo měření počátečních podmínek v laboratoři. Následně byl na dobu 8 minut zapnut hořák, který v podmínkách zkušebních místnosti vytvořil pod stropem v okolí nosníku vrstvu horkých plynů o maximálních možných teplotách. V případě referenční požární zkoušky bylo po vypnutí hořáku v 9. minutě sledováno následující chladnutí prostoru zkušební místnosti. V případě požární zkoušky s chlazením byla mlhová tryska aktivní po dobu 3 minut a spuštěna byla v 7. minutě. Dvě minuty probíhal souběh hořáku a mlhové trysky za účelem zjištění rozdílu chladicího účinku proti zkoušce referenční (obr. 8). Po následném vypnutí hořáku byla tryska v chodu další 1 minutu.



Obr. 7 Časová osa požární zkoušky: (a) referenční; (b) s chlazením prostředí v okolí nosníku vodní mlhou



(a)

(b)

Obr. 8 Pohled do zkušební místnosti v 7. minutě: (a) referenční zkouška; (b) zkouška s vlivem ochlazování (foto v čase spuštění mlhové trysky)

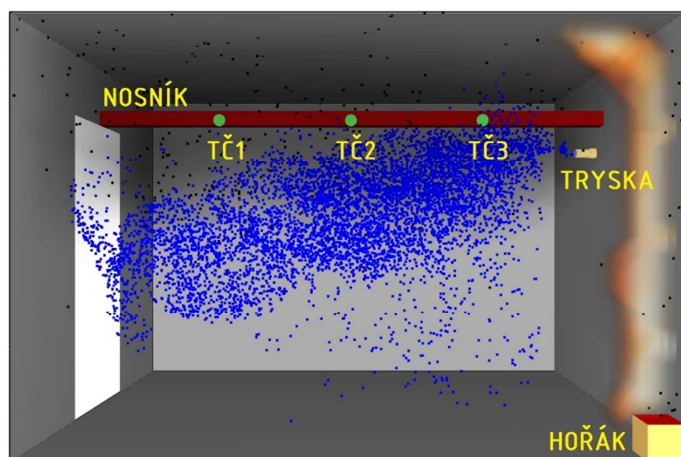
Matematický CFD model

Matematický model experimentální sestavy byl vytvořen v programu (procesoru) FDS verze 6.5.3 postaveného na CFD algoritmech výpočtového proudění tekutin [14], [15]. Pro vizualizaci výsledků z programu FDS byl využit post-processorový program Smokeview verze 6.4.4 (obr. 9). Zkušební místnost byla definována jako jedna výpočetní oblast ($3,6 \times 2,4 \times 2,4$ m) s výpočetní sítí s krychlovými výpočetními buňkami (kontrolními objemy) o velikosti 100 mm, tj. středně hrubá výpočetní síť obsahující 20 736 buněk. Uspořádání a průběh byl v

matematickém modelu nastaven shodně jako při požární zkoušce. Specifikace výstřikové charakteristiky mlhové trysky pro CFD model uvádí následující tabulka.

Tab. 3 Specifikace výstřikových charakteristik mlhové trysky pro matematický model [12]

Veličina	Hodnota
Pracovní tlak [bar]	13
K faktor	2,15
Střední velikost kapek [μm]	60
γ_D (kumulativní hmotnostní podíl frakce menšího průměru než je střední hodnota)	1,0
Minimální velikost kapek [μm]	1
Maximální velikost kapek [μm]	1 000
Tvar proudu	kónický
Rychlost [m/s]	42,8
Úhel vodního kužele ve vertikální rovině [$^\circ$]	0 až 55
Úhel vodního kužele v horizontální rovině	0 až 55
Počet kapek za vteřinu	10 000
Typ distribuce / rozdělení kapek [13]	lognormální ($\sigma_D = 1,5$)
Poznámka: Ostatní parametry trysky ponechány dle programu FDS jako výchozí.	



Obr. 9 CFD model experimentální sestavy v okamžiku výstřiku mlhové trysky v 7. minutě

DISKUZE A POROVNÁNÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

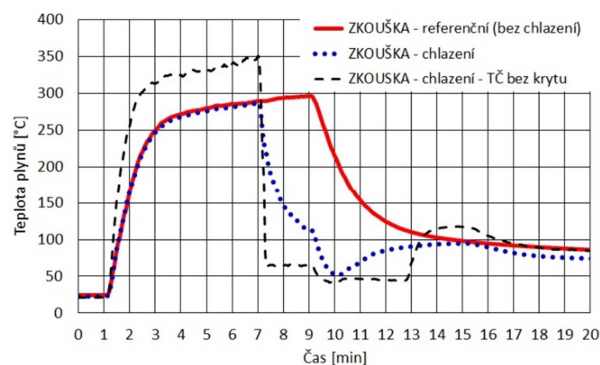
Dále prezentované teploty plynů v okolí nosníku jsou aritmetickým průměrem z hodnot zaznamenaných 3 termočlánky (TČ) s označením TČ1, TČ2 a TČ3 (obr. 5 a 9).

Výsledky požární zkoušky

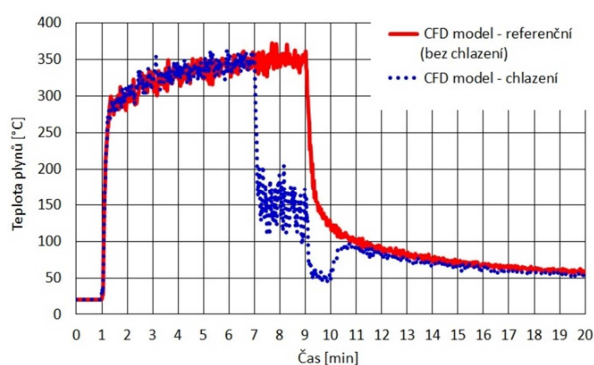
Při předběžné požární zkoušce s chlazením byly TČ nejprve osazeny bez ochranného krytu a maximální teplota plynů pod stropem místnosti byla cca 350 °C (obr. 10a, černá čárkovaná čára). V okamžiku spuštění mlhové trysky v 7. minutě se teplota skokově snížila na hodnotu cca 65 °C. Tento jev způsobilo měření zatížené chybou, při kterém byla měřena teplota ohřáté vody přítomné na měřícím konci TČ než vlastní teplota plynů. Teplota se v 9. minutě při vypnutí hořáku snížila na cca 45 °C, tj. pouze o 20 °C. Tato teplota se na vlhkém TČ udržela

další cca 4 minuty. Po odpaření vody z TČ se teplota zvýšila na teplotu okolního prostředí místnosti. Z tohoto důvodu byly následně všechny TČ opatřeny krytem z hliníkové pásky (obr. 6b) proti přímému smáčení vodní mlhou. Tato úprava při opakované zkoušce vyřešila problém s tvorbou kapek na konci TČ a kryty tak byly ponechány. Na druhou stranu kryty na TČ působily negativně při měření teplot bez chlazení, kde zastíněné měřící konec TČ neměřily radiaci od plamene. Byla tak naměřena maximální teplota plynů o cca 50 °C nižší ve srovnání s teplotami naměřenými při předběžné požární zkoušce bez krytů na TČ (obr. 10a).

Při referenční požární zkoušce (TČ již s osazenými kryty) byla v 9. minutě dosažena maximální teplota plynů cca 300 °C a následně po vypnutí hořáku docházelo k samovolnému chladnutí zkušební místnosti na teplotu cca 80 °C na konci zkoušky (obr. 10a). V případě požární zkoušky s chlazením byla mlhová tryska spuštěna v 7. minutě při teplotě cca 290 °C. Během následujících dvou minut při současném chodu hořáku a mlhové trysky se teplota plynů v chráněné oblasti výrazně snížila na cca 110 °C, tj. o 180 °C. Po následném vypnutí hořáku byla tryska v chodu další 1 minutu a teplota plynu dále klesla na cca 50 °C. Po vypnutí trysky se teplota bez zpoždění okamžitě zvýšila na teplotu okolního prostředí místnosti, což dokazuje, že měřící konec TČ nebyl ovlivněn přímým kontaktem s vodou.



(a)

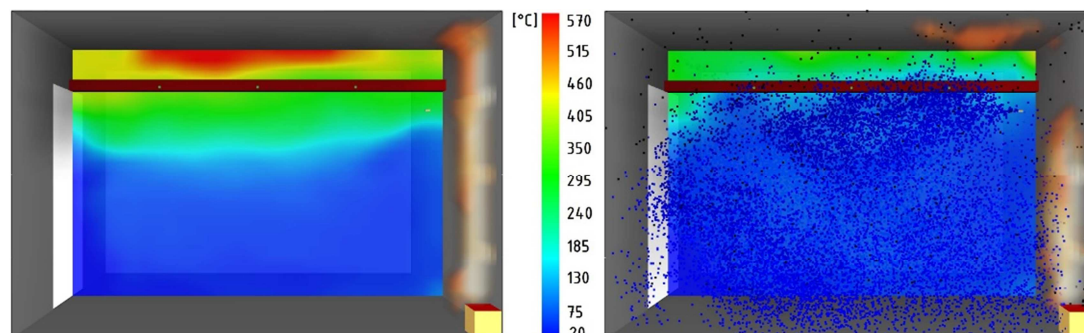


(b)

Obr. 10 Porovnání průběhu teploty plynů pro: (a) požární zkoušku; (b) CFD model

Výsledky matematického CFD modelu

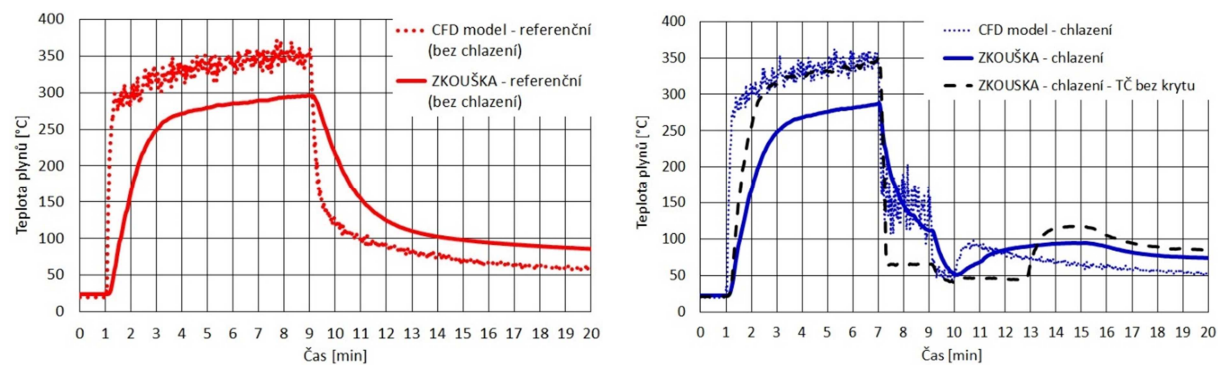
V modelu referenční zkoušky je v 9. minutě dosažena maximální teplota cca 350 °C a následně po vypnutí hořáku dochází k samovolnému chladnutí zkušební místnosti na teplotu cca 50 °C na konci zkoušky (obr. 10b). V případě modelu s chlazením byla mlhová tryska spuštěna v 7. minutě při teplotě cca 350 °C. Během následující dvou minut při současném chodu hořáku a mlhové trysky teplota plynů výrazně skokově klesla na cca 150 °C, tj. o 200 °C. Po následném vypnutí hořáku byla tryska v chodu další jednu minutu a teplota plynu dále klesla na cca 50 °C. Po vypnutí trysky se teplota zvýšila na okolní teplotu místnosti. Snížení teploty plynů v místnosti spuštěním trysky je rovněž zjevný z vizualizace modelu (obr. 11).



Obr. 11 CFD model – rozložení teploty plynů v ose místnosti před a po spuštění trysky

Porovnání referenční požární zkoušky a matematického CFD modelu

Teplota plynu při referenční zkoušce byla o nižší o cca 50 °C oproti modelu, a to zejména vlivem krytu a odstínění radiace od plamene (obr. 12a). Po vypnutí hořáku v 9. minutě teploty v modelu klesají výrazně rychleji a jsou nižší než při požární zkoušce.



(a)

(b)

Obr. 12 Porovnání průběhu teplot plynů při požární zkoušce s CFD modelem: (a) referenční zkouška (bez chlazení); (b) zkouška s chlazením

Porovnání požární zkoušky s chlazením a matematického CFD modelu

V první fázi zkoušky před zapnutím chlazení udával TČ bez krytu teplotu plynů ve výborné shodě s modelem (obr. 12b, černá čárkovaná čára). Při chlazení však TČ bez krytu již měřil teplotu plynu zkresleně a hodnota byla ovlivněna dopadající vodou na měřící konec TČ. V modelu jsou TČ definovány coby měřící body v prostoru (obr. 9), tj. dopadající voda na konec TČ se v modelu negativně projevit nemůže. TČ v modelu jsou tak definovány bez krytu a nebyla tudíž redukována radiční složka tepla od plamene jako během požární zkoušky.

Ve druhé fázi bylo aktivováno chlazení. Teploty ze zkoušky a modelu byly ve velmi dobré shodě (obr. 12b), a to jak v době chodu hořáku (7. až 9. minuta), v době po vypnutí hořáku (9. minuta) tak i v době po vypnutí chlazení (10. minuta).

Velmi dobrá shoda mezi požární zkouškou a modelem je rovněž v celkovém útlumu teploty po spuštění chlazení a chodu hořáku. Zatímco v případě zkoušky došlo k útlumu o cca 180 °C (z 290 na 110 °C), v modelu došlo k útlumu o cca 200 °C (z 350 na 150 °C).

ZÁVĚR

Velkorozměrová zkouška ocelového nosníku ve zkušební místnosti (room corner test) vystaveného účinku lokálního požáru ukázala výbornou schopnost nízkotlaké vodní mlhy snižovat teploty plynu v okolí chráněné konstrukce. Teploty v okolí nosníku dosáhly maximální hodnoty cca 300 °C, které 2 minuty po spuštění chlazení a pokračujícím hoření klesly o cca 200 °C. Hodnocení kritické teploty oceli (500 °C dle ČSN 73 0810) nebylo možné provést a je předmětem pokračujícího výzkumu. Oblak vodní mlhy při požární zkoušce byl vystaven účinku proudění plynů skrz otevřený dveřní otvor ve zkušební místnosti. Při měření teploty plynů během zkoušek se ukázala jako zásadní ochrana termočlánků proti přímému smáčení vodou. Tvorba kapek na nechráněném měřícím zařízení

může značně zkreslovat výsledky a spíše než teplota plynů je měřena teplota samotné ohřáté vody.

Pro požární zkoušku byl vytvořen a validován matematický CFD model v programu FDS s velmi dobrou shodou, a to zejména ve fázi chlazení vodní mlhou. Ve fázi před chlazením výsledky modelu ve srovnání s požární zkouškou předpovídaly převážně konzervativně vyšší teploty (tj. hodnoty na straně bezpečnosti).

Nízkotlaké mlhové zařízení pro chlazení stavebních konstrukcí a především jejího okolí má velký potenciál. V srpnu a září roku 2018 proběhly na UCEEB ČVUT v Praze navazující velkorozměrové exteriérové požární zkoušky s chlazením modelu ocelové konstrukce v podmínkách blízkých normovému požáru, tj. teplot blízcím se průběhu dle normové teplotní křivky (ISO 834). Při tomto typu zkoušky bude analyzována schopnost mlhového chladicího systému dosáhnout teploty plynu pod kritickou teplotu oceli. Dílčí výsledky budou prezentovány na mezinárodní univerzitní konferenci CESB 2019.

Chlazení stavebních konstrukcí vodní mlhou jakožto aktivní požárně bezpečnostní zařízení může v budoucnu také představovat progresivní řešení za zpěňující požární nátěry po uplynutí jejich životnosti (obvykle 10 let).

Kontakt na autora: marek.pokorny@cvut.cz

Poděkování

Článek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 a EU projektu č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/15_013/0004988 programu Partnerství znalostního transferu v rámci Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost ve spolupráci s firmou FK servis s.r.o.

Použité zdroje

- [1] RYBÁŘ, Pavel. *Stabilní hasicí zařízení: vodní a pěnová*. Praha: PKPO, 2015. Edice PKPO. ISBN 978-80-260-7372-7.
- [2] ČMELÍKOVÁ, Tereza. *Matematické modelování hašení vodní mlhou*. Diplomová práce. Praha: VŠCHT v Praze, 2017.
- [3] ELIÁŠ, Martin. *Hasicí a chladicí účinky vodní mlhy v podmínkách požáru*. Diplomová práce. Praha: ČVUT v Praze, 2016.
- [4] TRSEK, Vojtěch. *Útlum tepelného toku při prostupu vodní clonou*. Diplomová práce. Praha: ČVUT v Praze, 2018.
- [5] ČSN 73 0810:2016 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení
- [6] ČSN EN 1993-1-2:2006 Eurokód 3 – Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru
- [7] WALD, František. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 978-80-01-03157-5.
- [8] ČSN 73 0873:2003 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou
- [9] ČSN P CEN/TS 14972:2012 Stabilní hasicí zařízení – Mlhová zařízení – Navrhování a instalace
- [10] ČSN EN 12845:2018 Stabilní hasicí zařízení – Sprinklerová zařízení – Navrhování, instalace a údržba

- [11] LIOR, Amit and Maarit TUOMISAARI. Structural Protection with Water Mist Fire Fighting Systems. In: *11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012*. Helsinki: IAPSAM, ESRA, 2012, Vol. 3, s. 2397-2402. ISBN: 978-1-62276-436-5.
- [12] ELIÁŠ, Martin a Marek POKORNÝ. Porovnání experimentální výstřikové charakteristiky vodních mlhových trysek a matematického CFD modelu. In: *Požární ochrana 2017: sborník příspěvků z mezinárodní konference [online]*. Ostrava: SPBI, 2017 [cit. 2018-07-23]. ISBN 978-80-7385-188-0.
- [13] ISO 9705-1:2016 Reaction to fire tests -- Room corner test for wall and ceiling lining products -- Part 1: Test method for a small room configuration
- [14] McGRATTAN, Kevin, et al. Fire Dynamics Simulator (Version 6), User's Guide, NIST Special Publication 1019. Gaithersburg: National Institute for Standards and Technology, 2017.
- [15] WALD, František, Marek POKORNÝ, Kamila HOROVÁ, Petr HEJTMÁNEK, Hana NAJMANOVÁ, Martin BENÝŠEK, Marta KUREJKOVÁ a Ivo SCHWARZ. *Modelování dynamiky požáru v budovách [online]*. Praha: ČVUT v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-05633-2. Dostupné z: <http://pozar.fsv.cvut.cz/akce/9-prirucka-modelovani-dynamiky-pozaru-v-budovach-je-konecne-ke-stazeni.html>