Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti (JOSRA). JOSRA 1 - 2014, roč. 7.

Potenciální vliv numericky modelovaného havarijního úniku plynného čpavku nástroji CFD na obyvatelstvo

28.04.2014

POTENTIAL IMPACT OF GASEOUS AMMONIA EMERGENCY LEAK NUMERICALLY MODELED BY TOOLS OF CFD ON POPULATION

Ondřej Zavila[1], Barbora Baudišová[2], Pavel Danihelka[2]

[1]VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra požární ochrany, Lumírova 13/630, Ostrava – Výškovice, 700 30, ondrej.zavila@vsb.cz

[2]VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Laboratoř výzkumu a managementu rizik, Lumírova 13/630, Ostrava – Výškovice, 700 30, barbora.baudisova@vsb.cz, pavel.danihelka@vsb.cz

CFD | čpavek | numerické modelování | ochrana obyvatelstva | zimní stadión

Abstrakt

Tento článek se věnuje problematice potenciálního havarijního úniku plynného čpavku z objektu reálného zimního stadionu v prostředí městské zástavby. Tematicky je rozdělen do tří částí. V první části jsou představeny postup a výsledky numerického matematického modelování havarijního úniku čpavku nástroji CFD reprezentovanými zde softwarem ANSYS Fluent 13.0. Ve druhé části je pak diskutován praktický význam limitů akutní toxicity se zaměřením na hodnoty ERPG-1 a ERPG-2, a především jejich vliv na zdraví a život obyvatel. Ve třetí části jsou pak popsány zásady vhodného chování a improvizovaná ochrana dýchacích cest a povrchu těla v návaznosti na účinky plynného čpavku při mimořádné události. Článek by měl pomoci pochopit podstatu nebezpečí plynoucí z přímého fyzického kontaktu člověka s plynným čpavkem, a také naučit základním zásadám chování a improvizované osobní ochrany, které mohou zvýšit pravděpodobnost přežití, resp. minimalizace poškození zdraví osoby zasažené touto nebezpečnou látkou.

Klíčová slova: CFD, čpavek, numerické modelování, ochrana obyvatelstva, zimní stadión

Abstract

This article deals with problem of potential emergency leak of gaseous ammonia from a real ice stadium in an urban area. With respect to the point of discussion it is divided into three main parts. In the first part procedure and results of numerical mathematical modeling of gaseous ammonia emergency leak by CFD code ANSYS Fluent 13.0 are

introduced. In the second part practical meaning of acute toxicity thresholds (with a view to ERPG-1 and ERPG-2 values) and their impact on health and life of inhabitance are discussed. In the third part basic fundamentals of sufficient behavior and improvised protection of airways and body surface of inhabitance affected by gaseous ammonia in the case of an industrial accident are described. The article would be helpful with understanding danger of direct physical contact of a man and gaseous ammonia plum, and also with learning of behavior and improvised personal protection fundamentals that could increase the probability of survivance or at least minimalize rate of potential injury in the case of contact with such a dangerous substance.

Key words: CFD, ammonia, numerical modeling, population protection, ice stadium

Úvod

Zimní stadiony patří mezi sportovní a kulturní zařízení většiny větších měst v celé Evropě. Pro chlazení letové plochy se dosud ve většině případů používá technologie založená na použití NH_3 (čpavku) v kapalném skupenství, ačkoliv dnes již existují alternativní bez-čpavkové technologie. Každý stadion má pak zpravidla strojovnu svého tzv. „čpavkového hospodářství“, kde jsou umístěny zásobníky čpavku a všechny ostatní komponenty celé technologie. Pro případ, že by došlo k porušení některého z prvků této technologie, je strojovna vybavena systémem nouzového odvětrávání. Potenciálně uniklý čpavek v kapalném skupenství by se v intervalu běžných teplot začal rychle odpařovat a v plynném skupenství by rychle zaplnil prostor strojovny a ohrozil tak její obsluhu. Proto je strojovna vybavena systémem detektorů NH_3, na jejichž podnět se při havárii aktivují ventilátory nouzového odvětrání prostoru, které vyvedou ventilační šachtou plynný NH_3 mimo objekt stadionu. Co se však stane, pokud je havarijní únik veliký, okolní obydlená zástavba je blízko a meteorologické podmínky jsou pro rozptyl polutantu nepříznivé? Jak by se měli chovat a chránit obyvatelé, kteří se v případě mimořádné události do kouřové vlečky plynného NH_3 dostanou? Kterým směrem postupovat a kde se schovat? Jak si chránit dýchací cesty, atd.? Na tyto a další otázky by měla poskytnout základní odpovědi tato krátká studie.

Matematický model

Pro účely numerické simulace úlohy turbulentního proudění a rozptylu plynného NH_3 v blízkém okolí zimních stadionů v městské zástavbě byl zvolen software ANSYS Fluent 13.0 [1]. Jedná se o komerční software specializovaný na oblast mechaniky tekutin a sdílení tepla řadící se do skupiny tzv. CFD (Computational Fluid Dynamics) kódů. Jeho výpočtový model je založen na numerickém řešení soustavy parciálních diferenciálních rovnic, které vyjadřují zákon zachování hmotnosti (rovnice kontinuity), zákon zachování hybnosti (Navier-Stokesovy rovnice) a zákon zachování energie (rovnice energie). Tento základní soubor rovnic může být rozšířen o další rovnice vyjadřující přenos tepla (rovnice pro přenos tepla – konvekcí, kondukcí nebo radiací) nebo přenos příměsí (rovnice pro přenos příměsi – plynných, kapalných nebo pevných). Soustava rovnic je pak řešena některou z numerických metod, v tomto případě metodou konečných objemů [1],[10]. Model počítá ve 2D i ve 3D výpočtových oblastech. Výsledky výpočtů mohou být vizualizovány formou vyplněných nebo nevyplněných kontur fyzikálních polí, vektorů, trajektorií částic, izo-ploch, animací, 2D diagramů hodnot nebo datovými soubory výsledků v číselné podobě. Pro výpočet turbulentního pole proudění vzduchu se využívá rovnice kontinuity, Navier-Stokesovy rovnice a rovnice energie. Pro výpočet úniku plynného polutantu pak platí rovnice pro přenos příměsí [1],[2],[10].

Vstupní data

Následující případová studie prezentuje 3D numerickou simulaci havarijního úniku NH_3 ze zimního stadionu v městské zástavbě (viz Obr. 1), v jednom jediném ročním období (zima). Havarijní únik zde představuje situaci, kdy by došlo k destrukci celého zásobníku NH_3 o objemu 4000 [l] a aktivoval by se následně systém nouzového odvětrávání strojovny.

Vstupní data pro výpočet softwarem ANSYS Fluent 13.0 [1] byly definovány na základě meteorologických dat

poskytnutých Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) [5]. Parametry zdroje havarijního úniku plynného NH_3 byly definovány na základě kvalifikovaného odhadu podle materiálů poskytnutých bezpečnostními a provozními techniky zimního stadionu.

Výpočtová oblast pro zimní stadion tvaru kvádru o rozměrech 800 [m] (šířka) x 800 [m] (délka) x 150 [m] (výška) byla vytvořena podle mapových podkladů získaných z Katastrálního úřadu v Ostravě (Česká republika) [8] za pomocí softwaru DesignModeler [1]. Výpočtová oblast byla následně rozdělena na dva na sobě ležící kvádry. První kvádr měl rozměry 800 [m] (šířka) x 800 [m] (délka) x 50 [m] (výška), a představoval zónu blízko u zemského povrchu, v níž se nachází městská zástavba. Druhý kvádr měl rozměry 800 [m] (šířka) x 800 [m] (délka) x 100 [m] (výška), a představoval zónu volné atmosféry, do níž již žádná zástavba nezasahuje. Grid (síť výpočtových elementů) výpočtové oblasti byl vytvořen za pomocí softwaru ANSYS Meshing [1]. Celkový počet buněk gridu činil přibližně 1 600 000 buněk.

Okrajové podmínky pro výpočtovou oblast byly definovány atmosférickým tlakem 101 325 [Pa], profilem rychlosti větru, profilem turbulentní kinetické energie, profilem rychlosti turbulentní disipace a profilem teploty ovzduší. Profil rychlosti větru byl definován jako:

$$v = v_{ref} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (1)$$

kde v je rychlost proudění vzduchu (větru) [$m.s^{-1}$] v dané výšce z [m], v_{ref} je referenční rychlost proudění vzduchu ve výšce z = 10 [m] a p je mocnina pro třídu stability atmosféry D (dle Pasquill-Gifforta) [4]. Hodnota referenční rychlosti v_{ref} byla dosazena pro všech 8 základních směrů větrné růžice (viz Tab. 1). Profil turbulentní kinetické energie byl definován jako:

$$v = v_{ref} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (2)$$

kde k je turbulentní kinetická energie [$m^2.s^{-2}$] a v_* je třecí rychlost, pro kterou byla zvolena hodnota 0.4 [$m.s^{-1}$] [1].

		Rychlost větru v_{ref} [$m.s^{-1}$] (četnost výskytu [%])							
		S	**SV**	**V**	**JV**	**J**	**JZ**	**Z**	**SZ**
Zimní stadion	***Zima***	1.7 (16.3)	2.0 (6.8)	1.7 (8.6)	1.4 (0.8)	1.5 (9.0)	2.2 (35.7)	1.7 (11.4)	1.5 (5.1)

Tab. 1: Hodnoty rychlosti větru a jejich četnosti pro oblast zimního stadionu dle ČHMÚ [5]

Pozn.: S = severní vítr (vítr foukající ze severu); SV = severovýchodní vítr; V = východní vítr; JV = jihovýchodní vítr; J = jižní vítr; JZ = jihozápadní vítr; Z = západní vítr; SZ = severozápadní vítr

Profil rychlosti turbulentní disipace byl definován jako:

vzorec

$$v = v_{ref} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (3)$$

Image not fo

kde ε je rychlost turbulentní disipace [$m^2.s^{-3}$], v_* je třecí rychlost [$m.s^{-1}$], v_{ref} je referenční rychlost proudění vzduchu ve výšce z_{ref} = 10 [m]. Profil teploty atmosféry byl definován jako:

$T=T_0+273.15+\gamma \cdot z$ (4)

kde T je teplota [K], T_0 je průměrná teplota dle ČHMÚ [K], γ= -0.0065 [$K.m^{-1}$] je suchoadiabatický koeficient pro třídu stability atmosféry D a z je výšková souřadnice [m].

Průměrná teplota vzduchu T_0 v zimním období byla pro zimní stadion nastavena na hodnotu 273.05 [K] = - 0.1 [°C], a to dle podkladů poskytnutých ČHMÚ [5].

Okrajové podmínky pro zdroj NH_3 pak byla dány teplotou zdroje 256.6 [K] = - 16.55 [°C]. Hmotnostní průtok směsi čpavku a vzduchu byl dán hodnotou 1.58363 [$kg.s^{-1}$]. Polutant byl definován jako směs vzduchu (hmotnostní zlomek 0.63 [-]) a plynného čpavku (hmotnostní zlomek 0.37 [-]) vycházejícího z plošného zdroje o rozměrech 1.4 [m] (šířka) x 2.4 [m] (délka) umístěného ve výšce 6 [m] nad zemí.

$$v = v_{ref} \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{p}$$

Obr. 1: Letecký snímek blízkého okolí zimního stadionu se zásobníkem čpavku [7]

Nejprve byl proveden výpočet turbulentního pole proudění vzduchu jako stacionární (časově nezávislá) úloha. Poté byl v modelu aktivován zdroj plynného polutantu a úloha byla dokončena jako nestacionární (časové závislá). Pro výpočty byly použity RNG k-ε model turbulence a Species Transport model výpočet pohybu a rozptylu příměsí [1]. CFD software ANSYS Fluent 13.0 byl pro účely této analýzy verifikován na úloze pohybu a rozptylu plynů v aerodynamickém tunelu [15].

Výsledky numerického modelu

Výsledky numerického matematického modelu ANSYS Fluent 13.0 byly vizualizovány formou vyplněných kontur a izo-ploch koncentrací NH_3 (viz Obr. 2). Vyplněné kontury koncentrací NH_3 byly vyhodnoceny v horizontální 2D rovině řezu 3D výpočtovou oblastí ve výšce 1.5 [m] nad terénem (dýchací zóna), a to pro interval hodnot limitů akutní toxicity ERPG-1 a ERPG-2 (viz dále). Tyto druhy limitů akutní toxicity byly, jakožto ilustrační příklad, vybrány z důvodu potřeby výrazné a srozumitelné vizualizace výsledků modelování a také fyzikálních principů, z nichž lze pak vyvozovat další

obecně platné logické vazby. Druhým důvodem je fakt, že tyto vybrané limity akutní toxicity představují koncentrace plynného NH_3, které ještě nejsou pro člověka v krátkodobém časovém horizontu smrtelně nebezpečné, ale je možno je již vnímat čichem. Čichový vjem může být, a zpravidla také je, podnětem pro změnu chování jedince vedoucí potenciálně k záchraně života. U limitů akutní toxicity spojených s okamžitým úmrtím zasažené oběti by další improvizované postupy sebezáchrany pozbývaly smyslu.

Izo-plochy vystihují tvar a rozměr kouřové vlečky plynného NH_3 s nastavenou hraniční koncentrací na úrovni limitu akutní toxicity ERPG-1 (25 [ppm]). Záporná osa Z na Obr. 2 míří do severního směru, kladná osa Z pak míří k jihu, atd. Podle směru a rychlosti větru (viz Tab. 1) lze identifikovat rozdíly ve tvaru i dosahu kouřových vleček podle jednotlivých světových stran, a také potenciální ohrožení okolních obytných objektů.

$$v = v_{ref} \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{p}$$

Obr. 2: Zimní stadion – vyplněné KONTURY pole koncentrací plynného NH_3 v rovině horizontálního řezu 1.5 [m] nad terénem pro 8 světových stran a limity akutní toxicity ERPG-1 (25 [ppm]) a ERPG-2 (150 [ppm]) a IZO-PLOCHY kouřových vleček pro limit akutní toxicity ERPG-1 (25 [ppm])

V průběhu 1 [min] dosahuje nejdelší kouřová vlečka plynného NH_3 (hnána západním větrem) v rovině řezu 1.5 [m] nad terénem do vzdálenosti cca 100 [m] východně od zdroje. V průběhu 3 [min] je to již cca 300 [m] (viz Obr. 2).

Limity akutní toxicity

Limity akutní toxicity lze chápat jako prahové hodnoty ohrožující koncentrace dané látky, pod jejichž úrovní není uvedený negativní účinek na lidský organismus pozorován nebo se jeho projev neočekává. Tyto limity vycházejí převážně z deskriptivní toxikologie a mechanistické toxikologie. Deskriptivní toxikologie představuje vědní disciplínu zabývající se popisem poškození živého organismu a experimentálním testováním toxicity různých chemických látek na zvířatech. Mechanická toxikologie se zabývá studiem mechanismů toxického účinku chemických látek na živý

organismus za pomoci znalostí fyziologie, farmakologie, buněčné biologie a biochemie [9]. Samotná hodnota limitu akutní toxicity v sobě zahrnuje dobu expozice, koncentraci v daném prostředí, cestu vstupu do organismu, popř. i vnímavost jedince nebo rozložení vnímavých jedinců v obecné populaci [6],[12].

Limity akutní toxicity s označením ERPG vycházejí ze „Směrnice (příručka) pro plánování bezpečnostních opatření“ (ERPG – Emergency Response Planning Guide), vyvinuté Americkou asociací hygieny v průmyslu (AIHA – American Industrial Hygiene Association). Existují celkem tři úrovně těchto limitů a jsou definovány pro expozici na živý organismus v délce 1 hodina.

Limit akutní toxicity *„ERPG–1“* představuje maximální koncentraci dané chemické látky vyskytující se ve směsi se vzduchem, pod kterou se předpokládá, že by téměř všichni jedinci mohli být vystaveni až 1 hodinu, aniž dojde k pocítění více než mírných, přechodných negativních následků na zdraví nebo jasně definovaného nepříjemného zápachu.

Limit akutní toxicity *„ERPG–2“* představuje maximální koncentraci dané chemické látky vyskytující se ve směsi se vzduchem, pod kterou se předpokládá, že by téměř všichni jedinci mohli být vystaveni až 1 hodinu, aniž dojde k pocítění nebo rozvoji nevratných nebo jiných závažných následků na zdraví nebo příznaků, které by mohly oslabit jednotlivé schopnosti živého organismu realizovat ochranná opatření.

Limit akutní toxicity *„ERPG–3“* představuje maximální koncentraci dané chemické látky vyskytující se ve směsi se vzduchem, pod kterou se předpokládá, že by téměř všichni jedinci mohli být vystaveni až 1 hodinu, aniž dojde k pocítění nebo rozvoji život ohrožujících následků na zdraví.

Z dalších používaných limitů akutní toxicity lze jmenovat například „Doporučené úrovně akutní expozice“ (AEGL – Acute Exposure Guideline Levels), „Dočasné bezpečnostní úrovně expozice“ (TEEL – Temporary Emergency Exposure Levels), „Indexy expozice při ohrožení“ (EEI – Emergency Exposure Indices), a další [9].

Potenciální ohrožení zdraví a života obyvatel NH_3

Čpavek (NH_3) je za normálních podmínek (atmosférický tlak 101,325 [kPa], termodynamická teplota 273.15 [K]) bezbarvý toxický plyn s charakteristickým štiplavým zápachem, dráždící u člověka oči, dýchací orgány a způsobující křečovitý kašel nebo leptání sliznic. Je hořlavý (teplota vznícení 630 [°C]) a výbušný (hranice výbušnosti 15–30 [% obj.], tj. 21–43 [ppm]). Přestože je jeho plynná fáze lehčí než vzduch (má nižší měrnou hmotnost), v místě odpařování z kapalné fáze se vytváří amoniaková (čpavková) mlha bílé barvy, která se chová jako plyn těžší než vzduch, a tudíž může zatékat i do níže položených prostor. Čpavek se dá pod vysokým tlakem zkapalnit. Z jednoho litru zkapalněného amoniaku se pak může za normálních podmínek vytvořit až 1 000 litrů plynné fáze. Amoniak je také rozpustný ve vodě, avšak jeho rozpustnost je závislá na teplotě. Se vzrůstající teplotou vody rozpustnost amoniaku klesá.

Ve vyšších koncentracích je čpavek pro člověka toxický. Míra poškození zdraví člověka závisí na aktuální koncentraci a době expozice! Čichový práh čpavku je u člověka v rozmezí 1–50 [ppm].

Koncentrace nad 50 [ppm] působící po dobu 5 minut způsobuje podráždění oči spojené se slzením. Koncentrace 100–200 [ppm] působící pod dobu 120 minut způsobuje zarudnutí spojivek a nosohltanu. Koncentrace 360–500 [ppm] působící po dobu již několika vteřin může způsobit kýchání, kašel, slzení a zrychlení dechové a tepové frekvence. Koncentrace 500–1000 [ppm] působící po dobu již několika vteřin může způsobit záchvaty kašle, zrudnutí v obličeji, pocení, krvácení z nosu, závratě a celkovou dušnost. Koncentrace 1730 [ppm] působící po dobu 2–5 minut způsobuje poruchy dýchání, krevního oběhu a ohrožení života člověka. Koncentrace 5000 [ppm] již způsobuje u člověka udušení následkem otoku plic, zástavu dechu a následnou smrt, a to maximálně do několika minut [3],[11]. U výše uvedených hodnot je nutné počítat s tím, že se jedná pouze o hodnoty orientační (přibližné), protože v různých odborných

publikacích mohou být uváděny s různou odchylkou.

Improvizované postupy ochrany obyvatel proti plynnému NH_3

Pro improvizované postupy individuální ochrany obyvatel před toxickými účinky čpavku v případě havarijního úniku jsou stěžejní především následující okolnosti: individuální zdravotní stav jedince, aktuální poloha jedince v prostoru (zda je uvnitř uzavřeného objektu nebo na volném prostranství) a aktuální meteorologická situace (teplota vzduchu, směr a rychlost větru).

Individuální zdravotní stav člověka v danou chvíli není možno ovlivnit nebo předpovědět žádným algoritmem, ačkoliv je tento stav velmi důležitý ve vztahu k fyzické odolnosti daného člověka vůči jakýmkoliv nepříznivým podmínkám, tedy i při kontaktu s toxickou látkou.

Aktuální poloha jedince v prostoru je však již určující fakt, podle něhož lze volit vhodnou strategii chování. Pokud se člověk v danou chvíli nachází na volném prostranství při bezvětří a ucítí štiplavý zápach čpavku, měl by se zrychleným krokem okamžitě vrátit do směru, odkud přišel. Běhání v prostředí toxické kouřové vlečky se nedoporučuje, neboť tato činnost znatelně zrychluje a prohlubuje dýchání, a urychluje tak celý proces intoxikace organismu. Pokud se člověk v danou chvíli nachází na volném prostranství při větrném počasí a ucítí šiplavý zápach čpavku, měl by se opět obrátit zpět do směru, ze kterého přišel. Jestliže se z toxické kouřové vlečky do několika vteřin zrychlenou chůzí (nikoliv během) nedostane, je vhodné změnit směr úniku na kteroukoliv stranu, avšak vždy kolmo na směr vanoucího větru. Je takto možné opustit toxickou kouřovou vlečku polutantu na její kterékoliv boční hranici. Při větrném počasí není také vhodné hledat ukrytí těsně za objekty, které se nalézají v přímém směru proudění větru. Za těmito objekty vznikají díky turbulentnímu proudění vzduchu při jejich obtékání podtlakové zóny, ve kterých se mohou opětovně nacházet vyšší koncentrace toxického polutantu [13],[14]. Člověk by se měl vždy snažit dostat se co nejdále mimo směr proudění vzduchu vanoucího od zdroje toxické látky. Pokud se člověk v danou chvíli nachází v uzavřeném objektu a ucítí šiplavý zápach čpavku, měl by okamžitě uzavřít a utěsnit všechny otvory do vnějšího prostředí (okna, dveře nebo ventilační průduchy, pokud jsou dostupné). Následně by se měl přesunout pokud možno do polutantem nezasažené části objektu a provádět dýchání s kusem látky (kapesníkem) zakrývajícím nos a ústa, která je namočená do vody, džusu nebo ovocné šťávy (čpavek má zásaditý charakter). Lze si takto vytvořit dočasně fungující improvizovaný filtr. Pokud již v této době nebyla vyhlášena poplachová informace, člověk by měl zavolat na některé z krizových čísel a situaci ohlásit. Jestliže byla zasažena čpavkem cizí osoba a následně tímto postižena na zdraví, měla by být ihned vyvedena z místa zasažení a měl by být zajištěn přívod čerstvého vzduchu. Pokud je postižený neschopen samostatného pohybu a nehrozí mu v daném místě žádné akutní nebezpečí, měl by být uložen do stabilizované, resp. zotavovací polohy a zajištěn proti prochladnutí. V případě potřeby je nutné zahájit podporu dýchání, avšak pouze za použití křísicí přístroje. Děje se tak z důvodu možnosti intoxikace zachránce při dýchání z úst do úst. Při potřísnění těla postiženého zkapalněným plynem je nutné svléci zasaženému zasažený oděv a potřísněná místa důkladně oplachovat vodou minimálně 15 minut. Při svlékání kontaminovaných částí oděvu je nutné dbát na minimalizování rizika nadýchání se toxických par. Následně by měl být postižený předán k lékařskému ošetření [3].

Aktuální meteorologická situace je rovněž určujícím faktem, podle něhož lze usuzovat pohyb a rozptyl kouřové vlečky toxického polutantu a zvolit tak následně vhodnou strategii chování. Za nejdůležitější informace lze považovat teplotu vzduchu a rychlost a směr větru. Teplota vzduchu ovlivňuje hustotu (měrnou hmotnost) šířícího se toxického média. U čpavku obecně platí, že jeho hustota s klesající teplotou prostředí stoupá. Jinými slovy, čím je nižší teplota, tím větší budou tendence kouřové vlečky čpavku pohybovat se v blízkosti zemského povrchu. Toto je důvod, proč je pro havarijní úniky čpavku nebezpečnější zimní období roku. Směr a rychlost větru napovídá vždy směr pohybu a také pravděpodobný tvar a rozložení kouřové vlečky. Obecně platí, že čím vyšší je rychlost větru, tím užší je tvar kouřové vlečky a tím delší dosah kouřová vlečka má. Toto však přesně platí pouze v ideálním otevřeném terénu. Ve členité

městské zástavbě plné překážek obtékaných vzduchem platí, že čím je vyšší rychlost větru, tím větší míra turbulence se generuje mezi jednotlivými objekty, a tím intenzivnější je rozptyl kouřové vlečky i na malé ploše. Nelze však zde stanovit jednoznačné pravidlo, neboť situace se vždy odvíjí od daného směru a rychlosti větru, individuálního uspořádání a parametrů zástavby, a její vzdálenosti od zdrojového objektu [13],[14].

Závěr

Čpavek může být potenciálně velmi nebezpečným toxickým médiem, které může ohrozit mnoho lidí. Především u zimních stadionů umístěných uprostřed obydlené městské zástavby je bezpečnostní prevence a informovanost obyvatelstva velmi žádoucí. Jak vyplývá z numerické simulace časově závislé úlohy havarijního úniku čpavku ze zimního stadionu při uvážení totální destrukce zásobníku čpavku, plynná fáze tohoto média se za běžných meteorologických podmínek typických pro danou lokalitu a roční období šíří velmi rychle. Z výčtu vlastností čpavku je zřejmé, že lidský čich dokáže již velmi malé (ještě zdraví neškodlivé) koncentrace zachytit, avšak pokud se člověk dostane náhle do zóny, kde je koncentrace plynného čpavku vyšší, mohou následovat různá zdravotní postižení končící až smrtí. Pokud není člověk usmrcen nebo paralyzován ihned při prvním kontaktu s kouřovou vlečkou čpavku, je možné změnou chování (logickými postupy) zvýšit pravděpodobnost vlastní fyzické záchrany nebo zmírnit následky postižení zdraví. Je však nutné o těchto postupech vědět a pokud možno si je i dopředu prakticky natrénovat.

Technologická havárie čpavkového hospodářství zimního stadionu nemusí být vždy pouze spontánním jevem, může se v hypotetické rovině jednat také o akt terorismu, který by mohl mít na obyvatelstvo v okolí takovéhoto zařízení závažný dopad. I to je jeden z argumentů, proč by měl být na informovanost obyvatel žijících v blízkém okolí podobných zařízení kladen dostatečný důraz. Například periodicky zasílané informační letáky s klíčovými informacemi, jak postupovat v krizové situaci při úniku čpavku z blízkého technologického zařízení, by mohlo potenciální akceschopnost obyvatelstva v krizové situaci značně zvýšit. Kdo je připraven, není překvapen a má zpravidla vyšší pravděpodobnost přežití.

Poděkování

Tato studie byla podporována projektem ev. č. VG20132015128 "Zvýšení environmentální bezpečnosti prevencí zneužití průmyslových chemických látek k terorismu" podpořeného Ministerstvem vnitra z Programu bezpečnostního výzkumu ČR v letech 2013-2015.

Literatura

[1] *ANSYS : Computational Fluid Dynamics (CFD) Software* [online]. ANSYS, ©2011 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z WWW: <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics>.

[2] BOJKO, Marian. *Návody do cvičení „Modelování proudění“ – FLUENT* [online]. 1. vyd. Ostrava : VŠB - Technická Univerzita Ostrava, 2008 [cit. 2014-01-31]. ISBN 978-80-248-1909-9. Dostupné z WWW: < http://www.338.vsb.cz/PDF/Bojko-Fluent.pdf>.

[3] *Bojový řád jednotek požární ochrany : zásahy s únikem amoniaku (čpavku) : metodický list L 15* [online]. Praha : Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2005 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z WWW: <http://www.hzscr.cz/clanek/bojovy-rad-jednotek-pozarni-ochrany-v-dokumentech-491249.aspx>.

[4] BUBNÍK, Jiří ...[et al.]. *Metodický pokyn odboru ochrany ovzduší MŽP výpočtu znečištění ovzduší z bodových a mobilních zdrojů „SYMOS‘97“ : systém modelování stacionárních zdrojů* [online]. Praha : ČHMÚ, EKOAIR, 1999 [cit. 2014-01-31].

[5] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Český hydrometeorologický ústav, ©2014 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z

WWW: <http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=en&menu=JSPTabContainer/P1_0_Home>.

[6] *ACUTEX : Methodology to develop AETLs* [online]. ACUTEX, 2006 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z WWW: <http://www.ineris.fr/centredoc/TGD_06DR055.pdf>.

[7] *Google Earth* [online]. Google Earth, ©2014 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z WWW: <http://google-earth.en.softonic.com/>.

[8] *Katastr nemovitostí : Katastrální pracoviště Ostrava* [online]. Katastrální úřad pro Moravskoslezský kraj, ©2014 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z WWW: <http://www.nemovitosti-katastr-nahlizeni.cz/katastralni-urad-ostrava/>.

[9] KOLSKÁ, Zdenka. *Toxikologie* [online]. 1. vyd. Ústí nad Labem : Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2007 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z WWW: <http://uk-biochemie.webnode.cz/products/skripta-toxikologie-ing-zdenka-kolska-ph-d/>.

[10] KOZUBKOVÁ, Milada. *Modelování proudění tekutin, FLUENT, CFX* [online]. 1. vyd. Ostrava : VŠB - Technická Univerzita Ostrava, 2008 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z WWW: <http://www.338.vsb.cz/PDF/Kozubkova-Fluent.pdf>.

[11] MICHAELS, Robert A. Emergency planning and the acute toxic potency of inhaled ammonia. *Environmental health perspectives*, 1999, vol. 107(8), s. 617-627. ISSN 1552-9924.

[12] WILLIAMS, Phillip L.; JAMES, Robert C.; ROBERTS, Stephen M. *Principles of toxikology : Evironmental and Industrial Application*. 2nd ed. New York : Wiley, 2000. 624 s. ISBN 978-0-471-29321-7.

[13] ZAVILA, Ondřej…[et al.]. Mathematical simulation of ammonia gas release in a complex urban terrain using CFD and a statistical approach. In *Safety and security engineering V*. Southampton : WIT Press, 2013. S. 759-770. ISSN 1743-3509.

[14] ZAVILA, Ondřej…[et al.]. CFD Analysis of the Influence of Meteorological Conditions on Motion of Gas Ammonia in the Case of Emergency Release in Urban Development. In *AIP Conference Proceedings. Vol. 1558, part 1*. New York : American Institute of Physics, 2013. S. 216–219. ISBN 978-0-7354-1185-2.

[15] ZELINGER, Zdeněk; STŘIŽÍK, Michal; KUBÁT, Pavel…[et al.]. Dispersion of Light and Heavy Pollutants in Urban Scale Models : CO2 Laser Photoacoustic Studies. *Applied spectroscopy*, 2009, vol. 63(4), s. 430-436. ISSN 0003-7028.

Vzorová citace

ZAVILA, Ondřej; BAUDIŠOVÁ, Barbora; DANIHELKA, Pavel. Potenciální vliv numericky modelovaného havarijního úniku plynného čpavku nástroji CFD na obyvatelstvo. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2014, roč. 7, č. 1. Dostupný z WWW: <http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-01-2014/model-unik-cpavek-cfd.html>. ISSN 1803-3687.

Autor článku:
Ing. Barbora Baudišová
Ing. Ondřej Zavila, Ph.D.
Prof. RNDr. Pavel Danihelka, CSc.