

### CHARAKTERISTIKA ŠÍŘENÍ NEBEZPEČNÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK VE SPECIFICKÉM PROSTŘEDÍ

### CHARACTERISTICS OF DANGEROUS CHEMICAL SUBSTANCES SPREAD IN SPECIFIC CONDITIONS

Martin Staněk <sup>a\*</sup>, Zdeněk Hon<sup>a</sup>

<sup>a</sup> ČVUT v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, Nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno, Česká republika  
<sup>\*</sup>*Korespondující autor. e-mail: martin.stanek.1@fbmi.cvut.cz, tel.: +420 224 359 733*

#### Abstrakt

Problematika chemické bezpečnosti je vzhledem k neustálému rozvoji chemického průmyslu ve světě stále aktuálním tématem. Riziko chemických havárií je zcela reálné a jejich dopady mohou vzhledem k charakteristice uniklých látek a jejich nebezpečným vlastnostem představovat významný zdroj ohrožení. Jedná se přitom nejenom o stacionární zdroje ohrožení, ale i mobilní, například silniční či železniční cisterny využívané pro transport nebezpečných chemických látek. Havárie tohoto typu se vyznačují tím, že jsou velmi nebezpečné jak pro obyvatelstvo, tak i pro zvířata a životní prostředí. V rámci prevence závažných havárií, ochrany obyvatelstva a chemické bezpečnosti je nezbytné se zabývat i charakteristikou šíření nebezpečných chemických látek ve formě těžkých plynů, včetně jejich experimentálního ověření za účelem verifikace jejich chování ve specifickém prostředí.

***Klíčová slova:*** *nebezpečná chemická látka, těžký plyn, chemická bezpečnost*

#### Abstract

The issue of chemical safety is still an up-to-date subject due to the ongoing development of the chemical industry in the world. The risk of chemical accidents is quite realistic and their impacts can be a significant source of danger because of the characteristics of the leaked substances and their hazardous properties. These are not only stationary sources of danger but also mobile ones, such as road or rail tanks used for transport of dangerous chemical substances. Accidents of this type are characterized by being very dangerous for the population, animals and the environment. In the framework of prevention of major accidents, population protection and chemical safety it is necessary to also address the characteristics of spreading of dangerous chemical substances in the form of heavy gases, including their experimental verification in order to verify their behavior in a specific environment.

***Key words:*** *Dangerous chemical substance, Heavy gas, Chemical safety*

## 1. ÚVOD

V dnešní době celosvětově se rozvíjejícího chemického průmyslu představuje hrozba chemických havárií reálné riziko, které může ohrozit nejen životy a zdraví lidí a zvířat, ale také životní prostředí, jak lze doložit na řadě chemických havárií, které se v novodobé historii odehrály například v italském Sevesu (1974), v americkém Houstonu (1976), v indickém Bhópálu (1984), v americkém městě Festus (2002) a Graniteville (2005) a řadě dalších měst po celém světě. Chemické havárie se rovněž staly na území České republiky, například únik koncentrované kyseliny sírové v areálu farmaceuticko-chemické společnosti Farmak a.s. v Olomouci (1996), únik chloru ze Spolany Neratovice (2000) nebo únik amoniaku na zimním stadionu ve Znojmě (2007). Zdrojem ohrožení nejsou pouze stacionární zdroje představující zejména chemické podniky, sklady či zařízení, která chemické látky skladují a používají ke své primární činnosti, například určité typy sportovišť nebo úpravny vod, ale i mobilní zdroje, například automobilové či železniční cisterny převážející nebezpečné chemické látky a směsi.

Chemické havárie mohou mít řadu příčin. Jedná se především o technologické, výrobní, procesní a jiné příčiny, které jsou převážně technického charakteru. Nezanedbatelnou příčinou rovněž představuje lidský faktor, kdy se jedná o neúmyslné zavinění havárie, například nedodržením bezpečnostních předpisů. Lze uvažovat i o jejím cíleném zapříčinění, například ve formě teroristického útoku na chemické zařízení, zásobníky s chemickými látkami, nebo přepravní cisterny a jiné. Obzvláště nebezpečné jsou chemické havárie, které mohou vzniknout v rozsáhlých aglomeracích nebo jejich blízkosti z důvodu přítomnosti velkého počtu osob a vzhledem k charakteristice a nebezpečným vlastnostem uniklých látek. Jednou z ohrožených skupin osob jsou i osoby nacházející se v dopravních prostředcích v blízkosti místa vzniku havárie či teroristického útoku. Tyto osoby mohou být exponovány chemické látky, která může proniknout do vozidla a ohrozit cestující na zdraví a životě. Z tohoto důvodu je nezbytné se zabývat způsoby šíření a možnostmi minimalizace průniku nebezpečných chemických látek a směsí, které se ve většině případů chovávají jako těžké plyny, do dopravních či jiných prostředků.

## 2. CHARAKTERISTIKA TĚŽKÝCH PLYNŮ A JEJICH ŠÍŘENÍ V PROSTŘEDÍ

Plyny lze obecně rozdělit na lehké a těžké. Těžké plyny jsou charakteristické tím, že jejich molekulová hmotnost je větší než hmotnost vzduchu (28,96 g/mol) nebo se nachází ve stavu s vyšší hustotou než okolní vzduch (1,29 kg/m<sup>3</sup>). Charakteristiku těžkého plynu mohou mít rovněž látky, které nemají molekulovou hmotnost větší než vzduch a to v závislosti na jejich teplotě během úniku. Tyto látky mohou při úniku vytvořit ohraničený oblak s vyšší relativní hustotou, než je hustota okolního vzduchu, což způsobuje jeho klesání k zemskému povrchu. Jedná se primárně o látky, které se v rámci chemického průmyslu běžně skladují v plynném stavu nebo jsou zkapalněny prostřednictvím jejich zchlazení pod úroveň bodu varu, nebo stlačením. Při úniku chemických látek skladovaných za uvedených podmínek se vytváří oblaky s vyšší hustotou, než je hustota okolního vzduchu, což vede k jejich klesání k zemskému povrchu a rozšiřování do okolního prostředí. Při úniku plynu skladovaného pod vysokým tlakem se rovněž projevuje tzv. Joule-Thomsonův jev, který způsobuje jejich výrazné ochlazení, což může v závislosti na vlhkosti okolního vzduchu způsobovat námrazu v místě úniku a jeho okolí s

následnými zdravotními následky pro zasažené osoby (omrzliny a podchlazení). Tento jev je především patrný za situace, kdy plyn uniká skrze malý otvor [1, 2, 3, 4, 5]. Při dostatečně velkém úniku látky s jejím výrazným ochlazením dochází ke vzniku disperze, která představuje aerosol tvořený viditelným shlukem droboukých, okem nerozeznatelných, kapiček nebo krystalků. Tento jev lze pozorovat zejména při dvoufázovém úniku nebo úniku typu „jet“, pokud je hustota tvořícího se oblaku těžkého plynu minimálně o 1 % vyšší než hustota okolního vzduchu (přibližně 10 000 ppm). Efekt tvorby viditelného mraku v průběhu úniku pozvolna ustává, dokud nedojde k vyprázdnění zásobníku a vyrovnání vnitřního a vnějšího tlaku [5, 6].

Při úniku nebezpečných chemických látek ve formě těžkého plynu lze jejich rozptyl charakterizovat ve třech fázích. V první fázi úniku klesá plyn k zemi z důvodu působení gravitace. Koncentrace těžkého plynu v přízemních vrstvách dosahuje v této fázi nejvyšších hodnot. Dále dochází k postupnému přenosu energie mezi unikajícím těžkým plynem a okolním vzduchem. Tato fáze trvá obvykle v řádu několika vteřin. Následně se v druhé fázi začíná oblak šířit po zemském povrchu, postupně se promíchává s okolním vzduchem v rámci jeho turbulentního proudění a nastává jeho disperze. Ve třetí fázi nastává úplné naředění těžkého plynu vzduchem. V těchto fázích je plyn rovněž zahříván od zemského povrchu a postupně se snižuje jeho relativní hustota. Rozptyl a šíření těžkého plynu jsou v uvedených fázích významně ovlivněny meteorologickými podmínkami, teplotou látky a teplotou okolního prostředí [3, 5, 6, 8].

U chemických látek lehčích než vzduch probíhá tento proces rychleji oproti látkám těžších než vzduch, které jsou v prostředí více perzistentní a mohou se šířit v okolním prostředí snadněji v závislosti na nerovnosti a členitosti terénu, případně vyplňovat níže položené oblasti nebo sklepní prostory budov. Z tohoto hlediska se těžké plyny mohou chovat podobně jako kapaliny [3]. Z pohledu predikce šíření těchto látek při úniku a ochrany obyvatel proti jejich účinkům je nezbytné včas identifikovat unikající látku, znát meteorologické podmínky, které mají zásadní vliv na jeho šíření v prostředí, velikost vytvořeného oblaku a charakteristiku zdroje úniku. Při úniku plynných látek lehčích než vzduch ovlivňuje výška zdroje úniku velikost vytvářeného oblaku těžkého plynu. Pokud bude zdroj úniku dostatečně vysoko nad zemským povrchem a bude překročena kritická hranice, oblak těžkého plynu se vůbec nemusí vytvořit [1]. Specifický problém v této oblasti představují těkavé látky, například LPG či LNG. Tyto látky při úniku mohou rovněž vytvářet oblak těžkého plynu, u kterého s narůstající koncentrací v průběhu úniku vzniká riziko vznícení při dosažení určité koncentrace [3].

### Faktory ovlivňující rozptyl a šíření těžkých plynů v prostředí

Mezi hlavní faktory ovlivňující rozptyl a šíření těžkých plynů při úniku nebezpečných chemických látek a směsí patří množství a druh konkrétní látky, její chemické a fyzikální vlastnosti, způsob skladování, meteorologické podmínky a charakteristika okolní krajiny [1, 8].

Pro stanovení šíření a rozptylu těžkého plynu je nezbytné určit, jaká konkrétní látka uniká do okolního prostředí a v jakém množství. Z fyzikálních vlastností látek jsou nejdůležitější bod tání a varu, relativní molekulární hmotnost a hustota. Tyto hodnoty stanoví, v jakém skupenství se bude látka v běžném prostředí nacházet a jestli bude těžší nebo lehčí než vzduch, čili jestli se při úniku, případně odpařování, bude držet spíše při zemském povrchu či bude stoupat vzhůru. Tento jev ovšem závisí i na teplotě samotné látky a okolního prostředí [9]. Vzhledem

k fyzikálním vlastnostem a především bodu varu je pro samotný únik podstatné, v jakém skupenství je látka skladována, obzvláště u chemických látek, které mají bod varu výrazně pod úrovní běžných teplot prostředí. Tyto látky lze skladovat v plynném stavu, nicméně v současnosti, i vzhledem k ekonomické stránce, jsou takové látky skladovány převážně ve zkapalněném stavu. Tohoto jevu je dosaženo buď zchlazením samotné látky pod úroveň bodu varu, nebo jejím stlačením. Pokud je látka zchlazená, bude při potenciálním úniku unikat jako kapalina a vytvářet v místě úniku kaluž, ze které se bude látka pozvolna odpařovat. Rychlost odpařování závisí opět primárně na teplotě látky a okolí a teplotě zemského povrchu. Pokud je látka zkapalněná stlačením, bude unikat jako směs plynu a aerosolu přímo ze zdroje úniku. Takovýto únik bude zpravidla rychlejší se závažnějšími dopady, než únik s pozvolným odpařováním, který bude déle trvající při úniku stejného množství látky [10]. Z pohledu zdravotních následků budou mít exponované osoby vyšší koncentraci látky a po kratší dobu závažnější projevy intoxikace než osoby zasažené nižší koncentrací v delším časovém intervalu [4].

Z pohledu skladování nebezpečných chemických látek a směsí je podstatné, v jakém skupenství je látka skladována a jaký je její celkový objem v zásobníku, cisterně či tlakové lahvi. Pokud je plynná látka skladována v kapalném stavu, kterého je docíleno jejím stlačením, je důležitým údajem rovněž tlak látky ve skladovacím zařízení. Při skladování látek je důležitá i nadmořská výška, ve které k úniku dojde. Na základě tohoto údaje lze stanovit okolní atmosférický tlak, který bude mít vliv na bod varu látek. Se zvyšující se nadmořskou výškou bude bod varu mírně klesat. Posledním důležitým údajem je velikost únikového otvoru, kde je tento otvor lokalizován a jaké je množství látky v zásobníku, respektive z kolika procent nebo do jaké míry je zásobník naplněn. Na základě stanovení těchto údajů lze dopočítat, jak dlouho bude látka unikat a jaké bude její uniklé množství v závislosti na konkrétní látce a výše uvedených faktorech [6]. Další významnou vlastností nebezpečných chemických látek a směsí je jejich těkavost, kdy při samotném úniku může dojít k zahoření nebo explozi látky [9].

Neméně významným faktorem, který ovlivňuje rozptyl a šíření těžkých plynů, jsou meteorologické podmínky (za předpokladu, že látka bude unikat ve venkovním prostředí, nikoli uvnitř budov). V této oblasti je důležitá teplota vzduchu, která má vliv na rychlost odpařování a šíření látky, dále roční období, ve kterém únik nastal a denní doba. Na základě těchto údajů je možné odhadnout charakteristiku teplotního vrstvení atmosféry, kterou lze rozdělit do šesti Pasquillových meteorologických kategorií. Tento faktor je důležitý i z pohledu potenciálního zasažení osob v budovách. V letních měsících lze předpokládat rychlejší nárůst koncentrace látky uvnitř budov z důvodu jejich větrání. Dále je podstatný směr a rychlost větru, které určují směr šíření látky a dosah samotného úniku. U tohoto faktoru je rovněž důležité, v jaké výšce jsou povětrnostní podmínky měřeny, zda se jedná o přízemní podmínky nebo podmínky měřené v určité výšce nad zemským povrchem, které mohou být rozdílné. Dalšími důležitými údaji jsou vlhkost vzduchu, míra pokrytí oblohy mraky a přítomnost inverze nad místem úniku. Například déšť a zvýšená vlhkost může na sebe částečně vázat unikající látku a tím výrazně omezovat dosah samotného úniku [6, 7, 10].

Posledním významným faktorem je charakteristika okolní krajiny a především její členitost. Obecně lze okolní terén rozdělit na otevřenou krajinu, otevřenou vodní plochu a urbanistickou

či lesnatou krajinu [6]. Charakter okolního terénu bude mít zásadní vliv na způsob, rychlost a směr šíření látek. Například při úniku látek v městských zástavbách je nezbytné počítat s rozdílem teplot v přízemních vrstvách a nad úrovní budov. Rovněž mohou být rozdílné povětrnostní podmínky v těchto vrstvách a v ulicích může vznikat například turbulentní proudění vzduchu. V ulicích se mohou v závislosti na směru a rychlosti proudění větru vytvářet oblasti s nižším tlakem vzduchu, zejména na závětrné straně budov, ve kterých se akumulují vyšší koncentrace těžkého plynu [8, 10, 11]. V případě úniku nebezpečných chemických látek a směsí v uzavřeném nebo polouzavřeném prostoru může být ohrožení osob obzvláště vysoké, nejen vzhledem k možné intoxikaci osob, ale i vzhledem k samotné charakteristice těžkého plynu, který může z těchto prostor vytěsnit okolní vzduch [12]. V případě poklesu frakce kyslíku ve vzduchu pod nebezpečnou úroveň nebude použití plynových masek a jiných osobních ochranných prostředků fungujících na filtračním principu reálné vzhledem k možnému udušení osob.

### Havarijní modely úniku nebezpečných chemických látek a směsí

Při haváriích s únikem nebezpečných chemických látek a směsí lze pozorovat tři havarijní projevy úniku plyných a kapalných chemických látek nebo jejich kombinaci. Tyto projevy představují rozptýlení toxické látky s kontaminací prostředí a intoxikací osob, požár, nebo výbuch s ohrožením vznikajícím v důsledku tepelného záření, tlakové vlny při výbuchu, šíření požáru a intoxikací osob zplodinami hoření chemikálií, plastů a dalších látek [13]. V rámci úniku nebezpečných chemických látek a směsí lze definovat několik specifických modelů, které charakterizují chování unikajících látek v závislosti na faktorech ovlivňujících jejich chování v prostředí. Jedná se o následující modely:

- **PUFF a PLUME** – tyto modely představují jednorázový (PUFF) a déle trvající, kontinuální (PLUME) únik toxické látky do okolního prostředí, případně pomalý odpar kapaliny či vroucí kapaliny s rychlým odparem. Tyto modely jsou charakteristické tvorbou toxického mraku, který na základě koncentrace dané látky může mít závažné zdravotní následky pro zasažené osoby.
- **Výbuch plynů, par a prachů** – tento model je charakteristický dosahem exploze a tlakové vlny s možným poraněním samotnou tlakovou vlnou a střepinami. V blízkosti místa výbuchu mohou vzniknout smrtelná poranění a poškození okolních budov, aut či dalších objektů a předmětů. Jako následek může rovněž vzniknout požár. K explozi může dojít i při vzniku požáru nebo selhání chlazení zásobníku s chemickou látkou v důsledku zvyšování tlaku uvnitř zásobníku. Při překročení maximálního tlaku dojde k explozi zásobníku s okamžitou expanzí a uvolněním nebezpečné látky, která vede k vytvoření „ohnivé koule“. Tento jev je charakterizován modelem **BLEVE** (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).
- **JET FIRE** – tento model je charakteristický vznikem déle trvajícího masivního úniku chemické látky ve formě plynů nebo par s jejím následným zahořením. Pro takovýto únik je charakteristické poranění tepelným zářením a možný vznik požárů v jeho okolí.
- **POOL FIRE** – tento model představuje zahoření louže kapaliny či vroucí kapaliny, případně pevné látky. Pro tento havarijní model je charakteristické ohrožení tepelným zářením a zplodinami hoření [9, 14, 15, 16].

V oblasti chemické bezpečnosti se zaměřujeme především na predikci a modelaci šíření a rozptylu těžkých plynů v okolí havárie v rámci úniku toxické látky do okolního prostředí. Pro interpretaci výsledků a vyjádření koncentrace dané látky v ovzduší lze použít jednotky ppm (parts per million), případně hmotnost na metr krychlový, například  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Pro vyjádření nebezpečné koncentrace plynných látek v ovzduší pro člověka se využívají předem stanovené koncentrace, které jsou rozdílné pro každou chemickou látku [17]. Jako příklad lze uvést následující koncentrace:

- **AEGL** (Acute Exposure Guideline Levels) představuje úroveň akutní expozice osob nebezpečné látce trvající po dobu 10 minut, 30 minut, 1 hodiny, 4 hodin a 8 hodin. AEGL je rovněž rozdělen na tři stupně podle předpokládaných zdravotních následků zasažených osob, od prvních známek intoxikace, až po koncentraci nebezpečné látky vedoucí ke smrti [18].
- **IDLH** (Immediately Dangerous to Life and Health) je koncentrace látky bezprostředně ohrožující život a zdraví osob při expozici delší než 30 minut.
- **LC 50** (Lethal Concentration) vyjadřuje střední smrtnou koncentraci látky v ovzduší. Tato koncentrace je smrtelná pro 50 % osob exponovaných příslušnou látkou.
- **ERPG** (Emergency Response Planning Guidelines) vyjadřuje hodnotu koncentrace nebezpečných látek v ovzduší při expozici trvající jednu hodinu, při které lze předpokládat vznik nepříznivých účinků u exponovaných osob. Tyto účinky jsou podle jejich vlivu na zasažené osoby rozděleny do stupňů ERPG 1, 2 a 3. Tato hodnota koncentrace je využívána při plánování bezpečnostních opatření v případě chemické havárie v USA [9, 17].

V České republice se dále používají čtyři koncentrace, které vycházejí ze současných právních norem a Řádu chemické služby Hasičského záchranného sboru České republiky. Jedná se o následující koncentrace:

- **NPK-P** – nejvyšší přístupná koncentrace chemických látek v pracovním prostředí.
- **PEL** – přístupný expoziční limit v rámci pracovní doby.
- **HPK** – havarijní přístupná koncentrace (HPK-10 nebo 60), která určuje expoziční limit pro záchranáře při zásahu bez použití osobních ochranných prostředků trvajícího 10 nebo 60 minut.
- **HAU** – havarijní akční úroveň (HAU-20 nebo 120), která určuje limitní koncentraci nebezpečných chemických látek v prostředí, při jejímž překročení je nezbytné zajistit evakuaci obyvatel z kontaminovaného prostoru do 20 nebo 120 minut od zahájení inhalace dané látky [19].

### 3. EXPERIMENTÁLNÍ ŠETŘENÍ

V rámci chemických havárií může potenciálně dojít k ohrožení velkého počtu osob, obzvláště pokud havárie nastane v rámci rozsáhlých aglomerací. Jednou z ohrožených skupin osob jsou i osoby nacházející se v dopravních prostředcích. Tato problematika vedla ke vzniku výzkumného projektu na ČVUT, Fakultě biomedicínského inženýrství. Inspirací ke vzniku projektu byly zejména chemické havárie mobilních zdrojů. Jedná se o havárie v Houstonu v roce 1976, ve městě Festus v roce 2002 a Graniteville v roce 2005, které se odehrály v USA.

Nehoda automobilové cisterny v Houstonu poukázala především na závažnost chemických havárií v rámci přepravy nebezpečných chemických látek. Při této nehodě se automobilová cisterna, která převážela bezvodý amoniak, zřítla z dálničního nadjezdu a došlo k úniku 19 tun chemické látky. Havárie se odehrála 11. května 1976 a měla za následek 6 obětí, 78 hospitalizovaných osob a dalších 100 osob vyhledalo lékařskou pomoc. Všechny případy byly spojeny s inhalací nebo expozicí amoniaku. Řada osob byla vzhledem k místu havárie, kterým byl dopravní koridor, intoxikována právě v dopravních prostředcích [20]. Dne 14. srpna 2002 došlo k úniku chlóru z železniční cisterny ve městě Festus, při kterém uniklo necelých 22 tun látky. K úniku došlo kvůli technické závadě na odstavené cisterně v areálu podniku DPC Enterprises, L.P. V důsledku nehody bylo zasaženo 63 osob a řada osob z blízkého okolí byla evakuována [21]. V roce 2005 došlo k nehodě nákladního vlaku ve městě Graniteville, který převážel chlór, hydroxid sodný a kresol. Při nehodě, která se odehrála 6. ledna, došlo k poškození zásobníku s chlórem, ve kterém bylo transportováno 90 tun látky a přibližně 60 tun látky při nehodě uniklo do okolního prostředí. Havárie měla za následek 9 obětí, 250 zasažených osob a 5 400 osob bylo evakuováno [22].

Všechny uvedené nehody mají společný faktor, tedy že k úniku látek došlo v blízkosti aglomerací nebo míst s vysokým výskytem osob a v blízkosti veřejných komunikací, čili ve všech případech došlo k ohrožení osob nacházejících se v dopravních prostředcích v blízkosti místa vzniku havárie. V teoretické rovině mohou být tyto osoby exponovány určitou koncentrací chemické látky, která pronikne do vozidla. V závislosti na koncentraci látky a expoziční době se mohou u zasažených osob projevit zdravotní následky. Z tohoto důvodu je nezbytné se zabývat možnostmi minimalizace průniku nebezpečných chemických látek a směsí, včetně bojových chemických látek, které mohou být potenciálně využity k teroristickému útoku, do dopravních prostředků. Jako hlavní z prostředků minimalizace průniku látky do vozidla se nabízí úprava chodu ventilace vozidla a snaha o utěsnění a izolaci interiéru vozidla od vnějšího prostředí.

Cílem projektu je ověření chování vybrané chemické látky ve specifickém prostředí a jeho propustnost do vozidel při variabilním režimu použití ventilace vozidla. Dále je cílem na základě praktických experimentů stanovit doporučení pro ochranu osob uvnitř dopravních prostředků v případě chemické havárie či chemického teroristického útoku. Projekt je řešen formou kvalitativních metod výzkumu za pomoci analytických a experimentálních metod. Experimentální šetření je zaměřeno na měření koncentrace vybrané látky uvnitř dopravního prostředku a stanovení úrovně průniku látky do vozidla při sledování časových a dalších faktorů, které mohou ovlivnit šíření látky v prostředí. Experimentální šetření bude uskutečněno na ČVUT, Fakultě biomedicínského inženýrství v druhé polovině roku 2018 a v průběhu roku 2019.

Pro experimentální účely bylo vybráno kontrolované prostředí v rámci uzavřeného prostoru izolovaného od vnějšího prostředí, aby byly minimalizovány externí a meteorologické faktory ovlivňující chování a disperzi látky v prostředí. Jako vhodná látka byl vybrán n-Amylester kyseliny octové, n-Amylacetát (CAS 628-63-7). Tato látka byla vybrána z důvodu její nízké toxicity, snadné detekce pomocí chemických detektorů a snadné vjemové detekce pomocí čichu. Tato látka rovněž splňuje požadovanou charakteristiku, protože její páry jsou těžší vzduchu. Látka je rovněž vzhledem k její molekulové hmotnosti (130,19) a jejím fyzikálním vlastnostem používána jako bezpečný substituent nervově paralytické látky sarin (molekulární hmotnost 140,11). Jedinou nebezpečnou vlastností látky je její těkavost. Udávaná hodnota IDLH pro n-Amylacetát je 1 000 ppm. Potencionální vznětlivost látky nastává od hodnoty 4 000 ppm a LEL (Lower Explosive Limit) látky je 11 000 ppm [23]. Předpokládané měřené hodnoty koncentrace látky budou v rozmezí jednotek až desítek ppm. Jako vhodné detekční přístroje byly vybrány chemické detektory od firmy RAE Systems MultiRAE Lite a MiniRAE lite. Oba přístroje vybavené lampou PID 10,6 eV s možností detekce těkavých organických sloučenin.

#### 4. ZÁVĚR

Problematika úniku nebezpečných chemických látek a směsí představuje aktuální problém, kterému je nezbytné v rámci prevence závažných havárií a chemické bezpečnosti věnovat dostatečnou pozornost. Únik těchto látek rovněž představuje reálné riziko, především ve vztahu k obyvatelstvu, které je obecně hodnoceno jako nepřijatelné. V rámci chemických havárií jsou potencionálně ohroženy i osoby nacházející se v dopravních prostředcích v blízkosti místa vzniku havárie v důsledku průniku látky do vozidla. V rámci této problematiky je nezbytné věnovat pozornost primárně úniku nebezpečných chemických látek ve formě těžkých plynů, jejich havarijním modelům a projevům. Predikce jejich šíření a rozptylu v prostředí je ovšem poměrně složitý proces, který je závislý na celé řadě faktorů. Jedná se zejména o fyzikální a chemické vlastnosti látky, způsob skladování, meteorologické podmínky v místě úniku a charakteristiku okolního prostředí. Ve vztahu k potencionálnímu zasažení osob v dopravních prostředcích je rovněž nezbytné se zabývat možnostmi minimalizace průniku nebezpečných chemických látek a směsí do dopravních prostředků.

#### Poděkování

Tento článek byl podpořen grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS18/163/OHK4/2T/17.

#### Použitá literatura

- [1] RAUCHEGGER, Christian a další. Dispersion of Heavy Gases – Experimental Results and Numerical Simulations. *Process Safety Progress*. Sv. 3, 34. ISSN 1547-5913. doi.org/10.1002/prs.11723.
- [2] SKŘEHOT, Petr A. a další. Náhled do problematiky těžkých plynů a modelování jejich rozptylu. In: *Aktuální otázky bezpečnosti práce*. Košice : TU v Košiciach, 2015. ISBN 978-80-553-2302-2.
- [3] SPEIGHT, James G. *Handbook of Petroleum Product Analysis*. Laramaine: CD & W Inc., 2015. ISBN 978-1-118-36926-5.



- [4] TIMOTHY, Baure J. Comparison of chlorine and ammonia concentration field trial data with calculated results from a Gaussian atmospheric transport and dispersion model. *Journal of Hazardous Materials*. 2013, 254-255, 15. ISSN 0304-3894. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.04.002
- [5] BAUER, Timothy J., FOX, Shannon B. *Characterization of the initial cloud of chlorine resulting from a 90-ton railcar incident*. USA: Department Of Homeland Security, Chemical Security Analysis Center. 2009.
- [6] JONES, Robert a další. *ALOHA® (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4 Technical Documentation*. Seattle : National Oceanic and Atmospheric Administration, 2013.
- [7] WEI, Tan a další. Experimental and Numerical Study on the Dispersion of Heavy Gases in Urban Environments. *Process Safety and Environment Protection*. 2018, 116 ISSN 0957-5820. doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.027.
- [8] MIKA, Otakar J. Modelování havarijních dopadů nebezpečných chemických látek. *Rescue Report*. 2011, 4. ISSN 1212-0456.
- [9] KOLEKTIV AUTORŮ. *Ochrana obyvatelstva a krizové řízení: skripta*. Praha : Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2015. ISBN 978-80-86466-62-0.
- [10] ČAPOUN, Tomáš a další. *Chemické havárie*. Praha : Ministerstvo vnitr generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2009. ISBN 978-80-86640-64-8.
- [11] KASHI, Eslam a další. Temperature Gradient and Wind Profile Effects on Heavy Gas Dispersion in Build up Area. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2010, Sv. 4, 12. ISSN 6010-6020.
- [12] LONGXIANG, Dong a další. Simulation of heavy gas dispersion in a large indoor space using CFD model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2017, 46. ISSN 0950-4230. doi.org/10.1016/j.jlp.2017.01.012.
- [13] MIKA, Otakar J. a POLÍVKA, Lubomír. *Radiační a chemické havárie*. Praha : Policejní akademie ČR, 2010. ISBN 978-80-7251-321-5.
- [14] Vyhláška č. 226/2015 Sb. *Vyhláška o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktury*.
- [15] PRAVEEN, Patel a NAGENDRA, Sohani. Hazard Evaluation using Aloha Tool in Storage Area of an Oil Refinery. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2015, Sv. 4, 12. ISSN 2319-1163.
- [16] NABHANI, Nader a ROSTAMZADEH, Amir. Consequence Modeling of Ammonia Storage Tank in a Chemical Plant - a Case Study. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*. 2015, Sv. 3, 4. ISSN 2320-2092.
- [17] SLUKA, Vilém. *Výkladový terminologický slovník některých pojmů používaných v analýze a hodnocení rizik pro účely zákona o prevenci závažných havárií*. Praha : Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2007.
- [18] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *About Acute Exposure Guideline Levels (AEGs)*. [Online] 2017. [Citace: 20. 7. 2018] Dostupné z: <https://www.epa.gov/aegl/about-acute-exposure-guideline-levels-aegls>.
- [19] KOLEKTIV AUTORŮ. *Chemická služba*. Praha : Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2012. ISBN 978-80-87544-09-9.
- [20] DEVINE, Joseph. *1976 Ammonia Spill of Houston*. [Online] EzineArticles, 2008. [Citace: 23. 7 2018] Dostupné z: <http://ezinearticles.com/?1976-Ammonia-Spill-of-Houston&id=1270104>.
- [21] U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. *Investigation Report Chlorine Release*. Washington D.C.: U.S. Chemical Safety And Hazard Investigation Board, 2003. Repport no. 2002-04-I-MO.
- [22] COLLINS, Jeffrey. *10 years after the Graniteville train wreck*. [Online] Greenville News, 2015. [Citace: 25. 7. 2018.] Dostupné z: <https://eu.greenvilleonline.com/story/news/local/2015/01/05/years-graniteville-train-wreck/21278089/>.
- [23] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. *N-Amyl Acetate*. [Online] CAMEO Chemicals. [Citace: 25. 7. 2018] Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/2465>.