

NEBEZPEČÍ TLAKOVÝCH LAHVÍ A MOŽNOSTI ELIMINACE NÁSLEDKŮ

Ing. Vojtěch Jankůj¹, Ing. Miroslav Mynarz, Ph.D.¹, Ing. Petr Lepík, Ph.D.¹

ABSTRAKT

Příspěvek se zabývá problematikou tlakových lahví vystavených působení požáru. V rámci příspěvku jsou shrnuty nejzávažnější nehody s výskytem tlakových lahví, které se udály v posledních letech v České republice. Jednotlivé lahve byly v rámci realizovaných experimentů vystaveny podmínkám požáru a kontinuálně byly sledovány vybrané parametry až do jejich destrukce. Mezi hlavní sledované parametry se řadily především povrchové teploty na plášti lahve, změna tlakových poměrů uvnitř tlakové lahve a hmotnostní úbytek paliva v hranici. V případě, že je tlaková lahev vystavená požáru, je zapotřebí eliminovat možnost její neřízené destrukce. Jednou z možností jak omezit nebo zcela vyloučit možnost nekontrolovaného roztržení lahve, je řízená destrukce realizovaná průstřelem pláště tlakové lahve. V rámci provedených balistických testů byly ověřovány jednotlivé typy střeliva. Průstřely byly realizovány v různých variantách a primárně byla sledována interakce projektilu s pláštěm lahve a proces úniku media z tlakové lahve.

Klíčová slova:

tlaková lahev, požár, řízená destrukce, terminální balistika

ABSTRACT

This article is concerned with a question of pressure cylinders exposed to a fire exposure. Within the submission are summarized the most serious incidents with pressure cylinders which have happened over the last years in the Czech Republic. Each pressure cylinders was exposed to fire conditions in the frame of realized experiments and simultaneously selected parameters were monitored up to their destruction. Among the main observed parameters were especially included surface temperatures of the cylinders shell, changes of pressure ratios inside the pressure cylinder and a mass defect of a fuel in the limit. In case that the pressure cylinder is exposed to the fire, it is necessary to eliminate a possibility of an uncontrolled destruction. One of possibilities how to limit or fully exclude the possibility of the uncontrolled disruption of cylinder is a controlled destruction realized by a penetration of the pressure cylinder shell. In the frame of performed ballistic tests the individual types of the munition were verified. Penetrations were carried out in various versions and primarily the projectile and the

¹ VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Lumírova 13, 700 30 Ostrava – Výškovice,
vojtech.jankuj@vsb.cz, miroslav.mynarz@vsb.cz, petr.lepik@vsb.cz

pressure cylinder shell interaction and the process of outflow of medium from the pressure cylinder were observed.

Key words:

pressure cylinder, fire, controlled destruction, terminal ballistics

1 NEHODY TLAKOVÝCH LAHVÍ

Jsou-li přítomny tlakové lahve v podmínkách požáru, zvyšuje se míra rizika nejen pro zasahující složky, ale i pro bezprostřední okolí. Předvídat chování takto exponovaných tlakových lahví je velmi problematické. Je známo několik desítek událostí s přítomností tlakových lahví, během kterých došlo ke zranění, či úmrtí osob, poškození majetku, ale také kdy se díky včasné detekci lahve a následnému zásahu podařilo tyto následky eliminovat. Jedním z hojně v průmyslu a v technologických procesech využívaným, ale také velmi nebezpečným hořlavým plynem, je acetylen. Dalšími plyny, které jsou zařazeny do této kategorie, jsou např. vodík, propan, propylen, nebo také propan-butan. Tyto plyny jsou využívány pro různé způsoby práce s plamenem, jako řezání či svařování, nebo pro ohřev a jiné. Pro tyto účely jsou plněny převážně do tlakových lahví, ve kterých jsou dodávány spotřebiteli. Nehody mohou nastat ve všech fázích životnosti tlakové lahve od plnění, převozu, během používání, ale také i při skladování. [1, 2]

Během převozu tlakových lahví došlo např. k nehodě kamionu 2. května 2011 na dálnici D5 u Plzně. Vinou defektu levého kola došlo k převrácení kamionu, který následně začal hořet (viz Obrázek 1). Plameny byly zasaženy i tlakové lahve a došlo tak k několika následným explozím a lahve létaly desítky metrů daleko. [3]



Obrázek 1 Požár kamionu s převáženými tlakovými lahvemi [3]

Převážnou část nákladu tvořil acetylen. Ten se díky svým vlastnostem vyskytuje nejvíce v tlakových lahvích, ve kterých bývá rozpuštěný v porézní hmotě nasycené acetonem nebo dimethylformaldehydem. Oproti jiným plynům není acetylen plněn na požadovaný tlak, ale na množství. Zpravidla se jedná o hmotnost 10 kg acetylenu v lahvi o objemu 50 l. Důvodem je, aby při naplnění lahve pod vysokým tlakem nedošlo k samovolnému rozkladu acetylenu a následné destrukci tlakové lahve. Již během samotného plnění do tlakových lahví mohou vznikat komplikace, neboť dochází ke

zvyšování teploty a lahve musí být mnohdy ochlazovány. Vystavíme-li acetylenovou lahev ohni, dojde ke změně tlaku uvnitř lahve vlivem fyzikálních a chemických procesů. Během těchto procesů dochází k vytěšňování acetyleny z rozpouštědla a ten přechází zpět do plynné fáze. Je-li láhev vystavena dostatečně velké aktivační energii, roste vlivem již zmíněných fyzikálně chemickým procesům tlak i teplota. Dojde-li k překročení kritické hodnoty tlaku a teploty, chemické reakce uvnitř lahve uvolní tolik tepla, že i po odstranění původního tepelného zdroje, se tyto reakce nezastaví. Vystoupá-li tlak do hodnot destrukčního tlaku lahve, dojde k roztržení lahve a následnému uvolnění její náplně. Z tohoto důvodu je dle dostupných studií doporučováno chladit povrch lahve z kryté pozice po dobu 30 minut, a poté ji ponořit na 24 hodin do vodní lázně. [1, 4, 5]

Další nehoda se stala během přepravy vodíkových lahví v Ostravě – Hrabůvce v roce 2008. Zde byli zasahující hasiči a lidé v okolí vystaveni velkému riziku, neboť po převrácení kamionu začaly vodíkové svazky tlakových lahví hořet a mohlo dojít k explozím (viz Obrázek 2). Právě možnost exploze donutila velitele zásahu evakuovat nedaleký panelový dům, kde bylo přibližně 100 lidí. Tohoto zásahu se zúčastnilo celkem 15 hasičských jednotek a jednalo se o případ, kdy vznikly škody pouze na majetku a k následnému výbuchu nedošlo. [6]



Obrázek 2 Převrhnutý kamion se svazky vodíkových tlakových lahví [6]

V červnu 2017 vzplála v České Lípě dodávka (viz Obrázek 3) s pěti tlakovými lahvemi, které začaly během manipulace s nimi hořet. Hasiči evakuovali a uzavřeli zónu do vzdálenosti 100 m a po zdolání plamenů ochlazovali tlakové lahve. I zde byla přítomna mimo jiné acetylenová lahev, která byla ochlazována, a poté transportována na bezpečné místo, kde byla bezpečně zneškodněna. [7]



Obrázek 3 Požár dodávky s tlakovými lahvemi [7]

I během požáru stavebních objektů se mohou zasahující jednotky dostat do kontaktu s tlakovými láhvemi, které následně komplikují požár. V Kupařovicích na Brněnsku našli hasiči uvnitř hořící stodoly sedm tlakových lahví s butanem, oxidem uhličitým, kyslíkem a acetylenem. Po ochlazení a vynesení mimo hořící stodolu lahve dále ochlazovali, aby předešli případné destrukci (viz Obrázek 4). [8]



Obrázek 4 Chlazení tlakových lahví [8]

K mnohem horšímu scénáři došlo v červnu 2017 v Plané na Tachovsku. Během požáru skladu tlakových lahví s propan-butanem byla usmrcena jedna osoba. Ve skladu bylo v době požáru a následných výbuchů více než 500 lahví, z nichž byla zhruba pouhá stovka prázdných. Během požáru byla zaznamenána série řetězový výbuchů, při níž tlakové lahve létaly desítky metrů daleko. Z tohoto důvodu byla kolem skladu uzavřena zóna 500 m. Celá budova skladu byla následky požáru a výbuchů zcela zničena (viz Obrázek 5). [9]



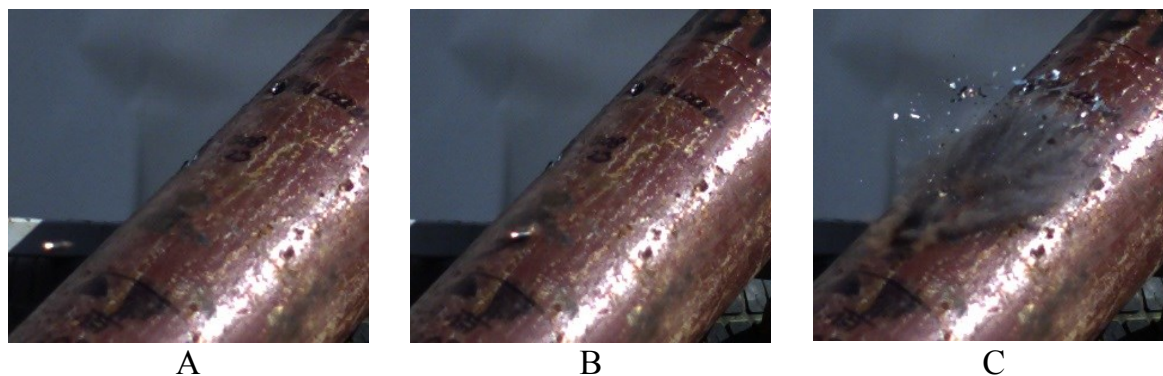
Obrázek 5 Zničená budova skladu tlakových lahví po požáru a následných explozích lahví [9]

2 PRŮSTŘEL TLAKOVÝCH LAHVÍ

Jak již bylo zmíněno výše, jedním ze způsobů, jak eliminovat možné nežádoucí následky výbuchu tlakových lahví, je jejich ochlazování proudem vody a následné chlazení ve vodní lázni po dobu minimálně 24 hodin. Toto opatření si tak klade po celou dobu trvání nároky na síly a prostředky, a také na spotřebu vody během ochlazování a přípravu vodní lázně. Bojový řád jednotek PO HZS ČR uvádí jako jedinou možnou, ale také krajní alternativu k chlazení, prostřelení lahve. Z toho důvodu dochází ke spolupráci Hasičského záchranného sboru ČR se zásahovými jednotkami Policie ČR,

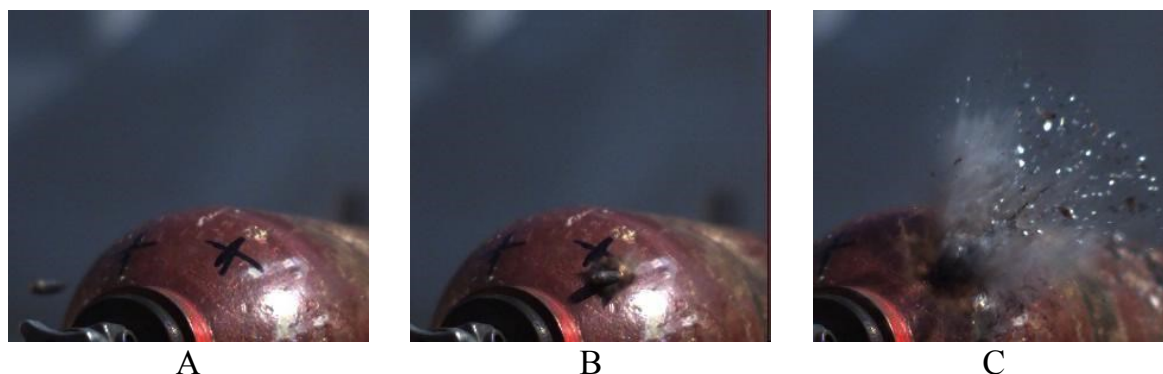
neboť jak vyplynulo ze cvičení, ale také samotných zásahů, prostřelení lahve se zdá být velice efektivní. Po prostřelení lahve dojde vlivem unikajícího plynu ke snížení tlaku v dané lahvi. Je-li láhev vystavena plamenům, je unikající hořlavý plyn zapálen, ale po jeho vyhoření nehrozí již nebezpečí fyzikálního výbuchu. Vzniklý plamen po průstřelu a iniciaci dosahuje několika metrů, a proto je třeba dbát zvýšené opatrnosti. Střelbu provádí pouze specialisté v ideální vzdálenosti a musí být vyznačena nebezpečná zóna minimálně 100 metrů. Mimo prostřelení je další teoretickou alternativou, pro zneškodnění lahve, užití pyrotechnické nálože. Výhodou je, že nemůže dojít k odražení střely, nebo střepiny během vystřelování projektilu. Jako další výhoda je určitá možnost eliminace všech lahví ve svazku. Nevýhodou používání nálože je její samotné umístění, což znamená přiblížení se k tlakové lahvi. V případě svazku lahví musí střelec vystřelit minimálně dvanáct projektilů. Ideální je, když jsou přítomni dva střelci v různých pozicích, aby bylo možné zasáhnout všechny lahve. [1, 5]

Díky spolupráci se zásahovými jednotkami Policie ČR došlo k volbě čtyř druhů munice. Jednalo se o tyto druhy: .338 Lock Base, .338 Scenar, .308 AP a .308 Sako. Tyto náboje byly používány pro průstřel prázdné acetylenové lahve. Místo dopadu bylo snímáno vysokorychlostní kamerou, aby bylo možné sledovat chování munice po dopadu na povrch pláště tlakové lahve. Střelci stříleli postupně ze vzdáleností 50, 100, 200 a 300 metrů do vymezeného prostoru na lahvi. Důvodem bylo vyhodnocení optimální vzdálenosti od střílené tlakové lahve. Zároveň byly tyto tlakové lahve nakláněny, aby bylo možné ověřit kritický úhel naklonění, kdy je ještě možné plášť lahve prostřelit. Je však takticky doporučováno střílet vždy kolmo na lahev. Lahve byly postupně nakláněny z 90° na 60°, 45° a 30° vůči vodorovné rovině. Na následujícím Obrázku 6, je ukázán průstřel lahve v pozici 30° k vodorovné rovině. Na snímku A je zachycen dopadající projektil, který se na snímku B dostává do kontaktu s povrchem pláště. Snímek C vyobrazuje průnik pláštěm lahve a rozptýl fragmentů projektilu.



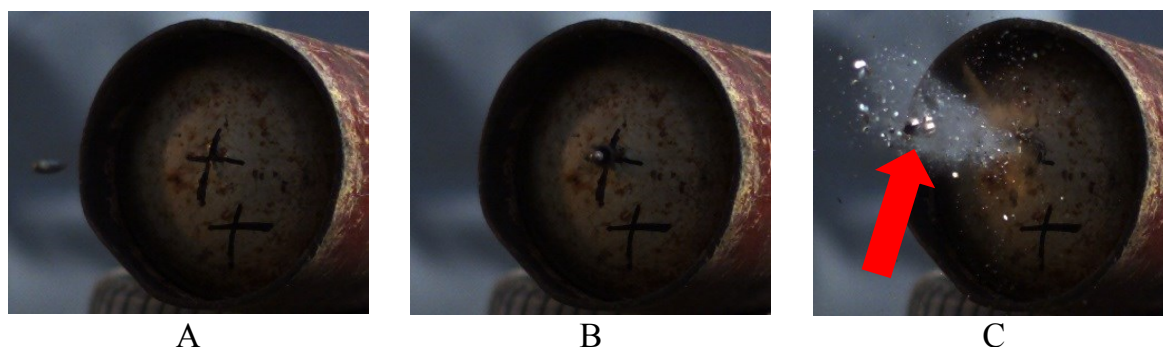
Obrázek 6 Průstřel lahve – sklon 30°

Zvlášť byla odzkoušena i možnost prostřelení vrchlíku a dna lahve. U vrchlíku hrozí určité riziko sklouznutí či odrazu projektilu nejen vlivem nepřesnosti střelby, ale také z důvodu větší tloušťky lahve (viz Obrázek 7).



Obrázek 7 Průstřel vrchlíku tlakové lahve

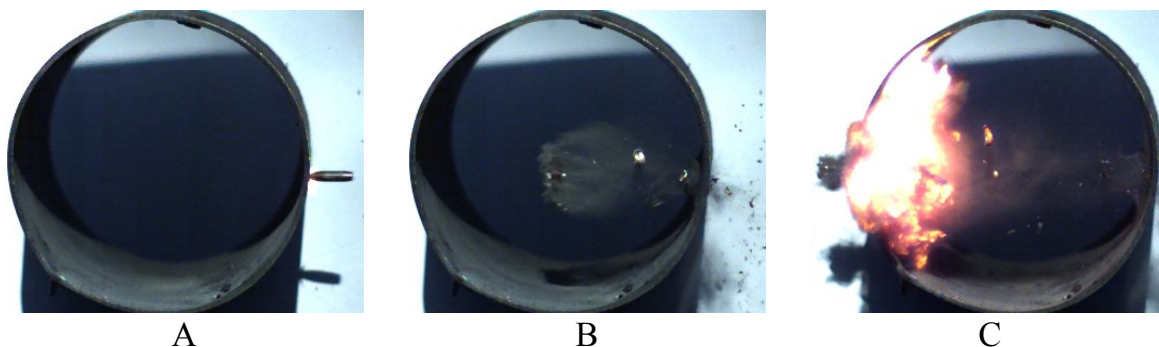
Při testech průstřelu dna tlakové lahve nedošlo k průniku projektilu dovnitř lahve. Projektil nedokázal projít zesíleným dnem lahve a docházelo k odrazu jeho jádra (C – vyznačeno šipkou) ve směru jeho přiletu (viz Obrázek 8).



Obrázek 8 Odraz projektilu od dna tlakové lahve

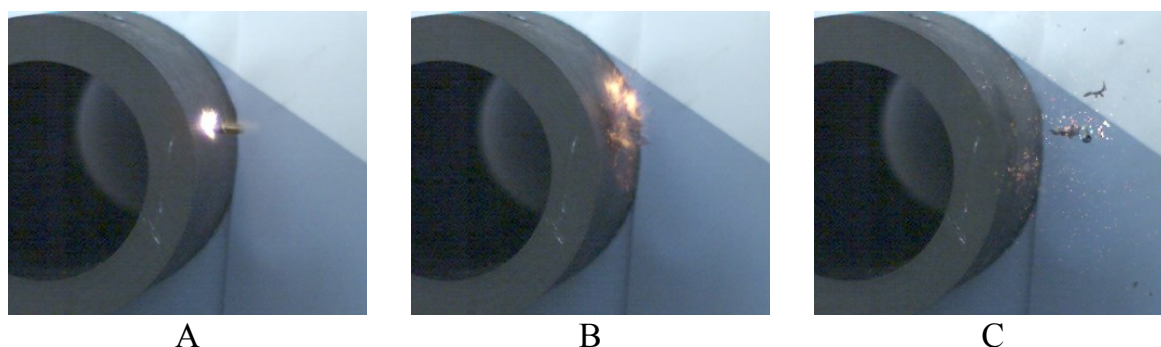
Díky záznamu bylo vyhodnoceno, že je možné prostřelit lahve i v nakloněné pozici 30°. Vrchlík tlakové lahve byl prostřelen bez komplikací, ale dno lahve se již prostřelit nepodařilo. Ideální a nejlepší variantou je tedy průstřel v poloze 90°. Je žádoucí vyhodnotit tato fakta a ideálně změnit střeleckou pozici a střílet tak na lahev ideálně kolmo. V praxi je kladen důraz na to, aby projektil po průstřelu lahve neprošel zadní stěnou, ale zůstal uvnitř, aby nedošlo k dalším škodám. Z tohoto hlediska je zcela nepoužitelná munice .308 AP, která v 90° poloze lahve procházela i zadní stěnou pláště. Na základě tohoto zjištění byla tato munice z dalších testů vyřazena a bylo pracováno pouze se zbylými třemi typy.

Aby bylo možné posoudit, jak se náboj chová uvnitř lahve, byly připraveny firmou Vítkovice Cylinders, a.s. výřezy lahví, které odpovídaly příslušným typům tlakových lahví. Z následných záznamů je možné vidět, jak projektily prochází pláštěm. Po proražení stěny dochází ke vzniku jemných úlomků a částic (viz Obrázek 9).



Obrázek 9 Průstřel pláště tlakové lahve v řezu

Zvláštním typem, který byl také odzkoušen na prostřelení, je plášť lahve na vodík. Taková lahev byla navržena, a také vyrobena, ve firmě Vítkovice Cylinders, a.s. a jedná se o ojedinělou výrobu. Tato lahev odolá tlaku až 1000 barů. [10] Při pokusu prostřelit tento plášť, neuspěla žádná z munic. Došlo pouze ke vzniku malé prohlubně, ale žádná z munice pláštěm neprošla, jak je možné vidět na následujících snímcích, dochází stejně jako u dna lahve k odrazu projektilu (viz Obrázek 10). Na těchto snímcích je patrný také rozdíl v tloušťce stěny oproti standardně používaným tlakovým lahvím 20, 200 a 300 barů, viz Obrázek 9.



Obrázek 10 Střelba na plášť 1000 barové tlakové lahve v řezu

3 TLAKOVÉ LAHVE V PODMÍNKÁCH POŽÁRU

Pro účely simulace podmínek požáru byla zvolena, jako nejlepší, varianta sestavení hranice z dřeva. Tato hranice byla tvořena 392 dřevěnými hranoly z borovice o předem definovaných rozměrech ($40 \times 40 \times 500 \text{ mm}$ a $40 \times 40 \times 1500 \text{ mm}$) a stanovené maximální vlhkosti (do 12 %). Celková hmotnost hranice byla poté 225 kg. Uvnitř hranice byla ustavena prázdná tlaková lahev, na které byly umístěny vždy čtyři termočlánky po 90° v pěti výškových úrovních. Bylo tak možné zjistit teplotu na povrchu pláště tlakové lahve. Dále byly umístěny radiometry mimo hranici, kde byla měřena hustota sálajícího tepelného toku. Všechna použítá aparatura byla dostatečně zaizolována, aby došlo k minimalizaci chyb během měření. Na Obrázku 11 je vyobrazena sestavená hranice s umístěnou lahví, aparaturou pro jednotlivá měření, a také průběh hoření této hranice.



Obrázek 11 Hranice pro simulaci požáru

Po těchto zkušebních testech došlo k samotnému experimentálnímu měření s plnými tlakovými lahvemi. V podmínkách požáru byl testován acetylen. Na lahev byly nainstalovány termočlánky, a také tlakové čidlo připevněné na ventil lahve, za účelem sledování změny tlaku v lahvi a zaznamenání destrukčního tlaku lahve. Takto připravená lahev byla umístěna doprostřed připravené hranice. Během prostřelení tlakové lahve v požáru došlo k výronu unikajícího acetyleny, který byl plamenem iniciován, a bylo tak možné zaznamenat jev, který je nazýván *firejet*. Vzniklý plamen dosahoval do vzdálenosti několika metrů. Na Obrázku 12 je možné vidět v detailním záběru výron plynu po průstřelu lahve (A), kdy ještě nedošlo k jeho iniciaci okolními plameny. V druhé části (B) je již unikající směs plynu se vzduchem zapálena a je možno pozorovat již zmíněný *firejet*. Dojde-li k prostřelení bez přítomnosti iniciačního zdroje, unikající plyn není obvykle zapálen a sledujeme tak jeho pouhý unik.



A B
Obrázek 12 Prostřelení tlakové lahve a vznik jevu firejet

V případě, že lahev byla po delší dobu vystavena požáru, došlo vlivem fyzikálních a chemických reakcí uvnitř lahve k samovolné destrukci. Tento děj byl doprovázen vznikem ohnivé koule, tedy *fireballu* (viz Obrázek 13). Ohnivá koule dosahovala v průměru 20 m, ale fragmenty lahve a samotné hranice, tedy hranoly, ze kterých byla tvořena, byly vymrštěny do vzdáleností i více než 100 metrů. Lahev byla roztržena převážně na dvě až tři části.



Obrázek 13 Neřízená destrukce lahve a vznik jevu *fireball*

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu ev. č. VI20172020103, “Bezpečnost tlakových láhví v pracovních podmínkách a možnosti zneškodnění tlakové láhve průstřelem” podpořeného Ministerstvem vnitra z Programu bezpečnostního výzkumu ČR v letech 2015–2020.

ZÁVĚR

Během realizované sady měření bylo možno sledovat a zaznamenávat teploty na povrchu pláště tlakové lahve, tlakové změny v láhvi, popř. hmotnostní úbytek při jejím prostřelení. Z výsledků plyne, že by měl být průstřel prováděn vždy kolmo na láhev, aby nedocházelo k nežádoucím efektům. Zcela nemožná je poté střelba na dno lahve, kdy se v tomto případě jádro munice odrazilo zpět a nedošlo k prostřelení lahve. Při průstřelech v podmínkách požáru docházelo k iniciaci unikající směsi plynu se vzduchem, kdy vzniklý *firejet* nedosahoval vzdálenosti větší než 10 m. Oproti tomu došlo-li k neřízené destrukci, vzniklý *fireball* měl v průměru 20 m a fragmenty lahví a hranolů z hranice létaly do mnohem větších vzdáleností. Nejen z tohoto hlediska se jeví prostřelení lahve jako velice efektivní, neboť dojde k poklesu tlaku, uvolnění látky a nehrozí tak nebezpečí výbuchu. Zároveň nemusí být lahve chlazeny ve vodní lázni po dobu 24

hodin, proto prostřelení lahve šetří síly i prostředky na eliminaci možného rizika. Získaná data z jednotlivých měření slouží jako podklad pro další výzkum v projektu za účelem zlepšení eliminace následků spojených s tlakovými lahvemi při požáru a definování samotného postupu a spolupráce mezi složkami HZS ČR a Policie ČR.

LITERATURA

- [1] PÍCHA, A. 2016. Nižší riziko, vyšší efektivita zásahu. [online] In: *Časopis 112*. Roč. XV, č. 2/2016. [cit. 2018-04-06] Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/casopis-112-rocnik-xv-cislo-2-2016.aspx?q=Y2hudW09NA%3d%3d>
- [2] Linde Gas a.s. [online]. The Linde Group 2018 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://www.linde-gas.cz/cs/index.html>
- [3] TOLAR, A., HRON, M., JEŽEK, P. 2011 [online] Z hořícího kamionu u Plzně létaly kusy tlakových lahví 100 metrů daleko. iDNES.cz [cit. 2018-04-06] Dostupné z: https://zpravy.idnes.cz/z-horiciho-kamionu-u-plzne-letaly-kusy-tlakovych-lahvi-100-metru-daleko-1-en-/krimi.aspx?c=A110502_080403_plzen-zpravy_hro
- [4] HERČÍK, L., GLEVITZKÝ, E., CHMEL, J. Acetylén v lahvích a svazcích. [online] Odborná spolupráce Dvořáková L., Řehák, M., Česká asociace technických plynů. [cit. 2018-04-06] Dostupné z: < <http://www.catp.cz/publikace/acetylen.zip> >
- [5] MINISTERSTVO VNITRA – GŘ HZS ČR. Požáry s přítomností tlakových lahví s acetylenem. [online] Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu, 30. 11. 2017. [cit. 2018-04-06] Dostupné z: < <http://www.hzscr.cz/soubor/p-ml33-r-tlakove-lahve-s-acetylenem-pdf.aspx> >
- [6] PROKOP, D., 2008 [online] V Ostravě hořel převrácený kamion s vodíkem. iDNES.cz [cit. 2018-04-06] Dostupné z: https://zpravy.idnes.cz/v-ostrave-horel-prevraceny-kamion-s-vodikem-fzn-/krimi.aspx?c=A080412_102421_krimi_dp
- [7] HÁMOVÁ, P., 2017 [online] V Lípě hořela dodávka s tlakovými lahvemi Liberecký deník [cit. 2018-04-06] Dostupné z: <https://liberecky.denik.cz/pozary/galerie-v-lipe-horela-dodavka-s-tlakovymi-lahvemi-20170616.html>
- [8] NEČASOVÁ, A. 2016 [online] V Kupařovicích vzplála stodola s tlakovými lahvemi. Hasiči zachraňovali prasata, Brněnský deník. [cit. 2018-04-06] Dostupné z: < <https://brnensky.denik.cz/pozary/v-kuparovicich-vzplala-stodola-se-slamou-a-tlakovymi-lahvemi-20161027.html> >
- [9] JIROUŠOVÁ, D., JAKOUBKOVÁ, P. 2017 [online] V Plané na Tachovsku došlo k explozi ve skladu technických plynů, byl vyhlášen zvláštní stupeň poplachu. Požáry.cz [cit. 2018-04-06] Dostupné z: < <https://www.pozary.cz/clanek/166413-v-plane-na-tachovsku-doslo-k-explozi-ve-skladu-technicky-plynu-byl-vyhlasen-zvlastni-stupen-poplachu/#1149?do=ping> >
- [10] Časopis CZECHINDUSTRY [online] Vysokotlaká nádoba pro skladování vodíku je z Vítkovic [cit. 2018-04-06] Dostupné z: http://files.casopisczechindustry.webnode.cz/200001643-02aaf03a5b/CI1703_23_Vysokotlaka%CC%81%20na%CC%81doba_VITKOVIC_E_CI_SABLONA.pdf