

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2019

**MICHAL
RAJTORA**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Riziko zneužití toxických průmyslových chemických látek

Risk of Abuse of Toxic Industrial Chemicals

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva
Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Vedoucí práce: prof. Ing. Vladimír Pitschmann, CSc.

Bc. Michal Rajtora

Kladno, květen 2019



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rajtora** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **434350**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Ochrana obyvatelstva**
Studijní obor: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Riziko zneužití toxických průmyslových chemických látek

Název diplomové práce anglicky:

Risk of Abuse of Toxic Industrial Chemicals

Pokyny pro vypracování:

Předmětem práce bude problematika toxických průmyslových látek, u kterých lze předpokládat riziko zneužití ve formě chemických zbraní, a nejsou explicitně uvedeny v Úmluvě o zákazu chemických zbraní. V teoretické části bude popsána problematika chemických zbraní včetně jejich historie, využívání nebezpečných látek v průmyslu a rovněž problematika potenciálních rizik s tím spjatých. V praktické části budou uvedeny konkrétní průmyslové toxické látky, u kterých hrozí zneužití jako chemických zbraní vzhledem k jejich vlastnostem a dostupnosti. Na vybrané látce pak bude laboratorně ověřena možnost detekce detekčními prostředky, které svojí povahou odpovídají prostředkům používaným jednotkami integrovaného záchranného systému na místě zásahu. Dále bude práce navazovat na činnost účelové skupiny NATO ITF-25, a to v tom smyslu, že bude obsahovat nové multikriteriální metody pro hodnocení rizik, které mohou jednotlivé průmyslové toxické látky představovat v hlediska chemického terorismu. Výstupem práce bude ověření možnosti detekce vybrané látky a vytvoření nové metody využitelné pro řízení rizik v rámci prevence chemického terorismu.

Seznam doporučené literatury:

- [1] PATOČKA, Jiří, Vojenská toxikologie, ed. 1., Praha: Grada, 2004, ISBN 80-247-0608-3
- [2] PITSCHMANN, Vladimír, Chemická válka ve věku atomu a DNA: kapitoly z dějin chemických, toxinových a zápalných zbraní: období od roku 1945 do roku 2015, ed. 1., Praha: Naše vojsko, 2016, ISBN 978-80-206-1632-6
- [3] SKŘEHOT, Petr, Prevence nehod a havárií. 1. díl nebezpečné látky a materiály, ed. 1., Praha: PINK PIG, 2009, ISBN 978-80-86973-70-8

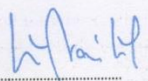
Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

prof. Ing. Vladimír Pitschmann, CSc.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **06.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2020**


prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr.h.c.
podpis vedoucí(ho) katedry


prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Riziko zneužití toxických průmyslových chemických látek vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně dne 15.5. 2019

.....
podpis

Poděkování

Tímto bych rád chtěl poděkovat panu prof. Ing. Vladimíru Pitschmannovi, CSc. za vedení této práce, za cenné rady a věcné postřehy a v neposlední řadě i za trpělivost, kterou se mnou měl. Dále bych chtěl poděkovat panu inženýru Martinu Lobotkovi za klíčovou pomoc s provedením experimentů a za cenné rady. Děkuji společnostem Oritest spol. s.r.o. a Tejas, s.r.o. za umožnění provedení experimentů a veškerou pomoc a podporu s tím spojenou.

Abstrakt

Tato práce se věnuje problematice potenciálního zneužití toxických průmyslových látek pro účely chemického terorismu. Tyto látky mají charakter látek dvojího užití, přičemž mohou tvořit dostupnější alternativu ke konvenčním chemickým zbraním, které již v rámci chemického terorismu použity byly. Teoretická část proto shrnuje základní poznatky o historii chemické války, o chemickém terorismu a o důležitých vlastnostech chemických látek z pohledu jejich užití jako chemických zbraní. Dále se teoretická část zabývá činností a závěry mezinárodního účelového uskupení ITF-25 v rámci zkoumání toxických průmyslových látek, které bylo hlavní inspirací pro vznik této práce.

V rámci praktické části je nastíněn možný postup v kontextu této problematiky pomocí vytvoření multikriteriální metody pro hodnocení chemických látek z hlediska chemického terorismu a experimentálního ověření možnosti detekce vybraných látek. Metoda slouží pro předběžné hodnocení látek, které hodnotí jejich vlastnosti a dostupnost s ohledem na potenciální zneužití. Vzhledem k hodnoceným kritériím umožňuje tato metoda nalézt potenciálně zneužitelné látky i mezi méně užívanými chemikáliemi, kterým není běžně věnována velká pozornost. Na základě výsledků tohoto hodnocení je pak možné stanovit další postup, zejména podrobnější zkoumání těchto látek. V rámci experimentálního ověření bylo zkoumáno, zdali je možné rozšířit schopnosti detekce standardních detekčních trubiček o vybrané méně časté nebezpečné látky za využití falešně pozitivních výsledků různých typů detekčních trubiček. V rámci provedeného experimentu bylo zjištěno, že tento improvizovaný způsob detekce je možný, v rámci testovaných látek takto lze detekovat 2-(butylamino)ethanethiol (sloužil jako náhrada methylmerkaptanu). V budoucnu by se po provedení dalších výzkumů na více látkách a detekčních prostředcích, než které mohly být provedeny v rámci této práce, mohlo jednat o relativně levný způsob, jak rozšířit schopnosti detekce pro řadové zasahující jednotky za využití stávajících zavedených prostředků.

Klíčová slova

Toxické průmyslové látky; nebezpečné látky; chemický terorismus; ITF-25; detekční trubičky; detekční prostředky; detekce chemických látek; hodnocení chemických látek.

Abstract

The Diploma thesis addresses an issue of potential misuse of toxic industrial substances for the purposes of chemical terrorism. These substances belong among substances of dual use, whilst they may represent a more available alternative to conventional chemical weapons already employed in the chemical terrorism. The theoretical section thus summarises basic facts on the history of chemical warfare, on chemical terrorism, and on important properties of chemical substances in terms of their use as chemical weapons. The theoretical part furthermore deals with activities and conclusions of International Task Force 25 (ITF-25) in the study of toxic industrial chemicals that were the main inspiration for the thesis.

The practical section outlines possible course of action concerning this field by creating multicriteria method to assess chemical substances in terms of chemical terrorism and experimental verification of detection properties of selected substances. This method is used for preliminary evaluation of substances by assessing their properties and availability with regard to their potential misuse. As for the criteria assessed, this method allows to detect potentially exploitable substances even among less used chemicals that are not routinely addressed. The results of this assessment help to determine new procedure, namely more detailed examination of these substances. As a part of the experimental verification, it was examined, whether it is possible to extend properties of standardized detection tubes by selected, less common hazardous substances when using false positive results of various types of detection tubes. The performed experiment showed that this improvised way of detection is feasible, allowing to detect 2-butylamino ethanethiol (which served as substitution to methyl mercaptan). In the future, upon further research on more substances and more means of detection than could be examined for the purposes of the thesis, it may be relatively inexpensive way to extend the detection properties for intervening units while using current devices.

Keywords

Toxic Industrial Chemicals; dangerous substances; chemical terrorism; ITF-25; detection tubes; detection means; detection of chemical substances; evaluation of chemical substances.

Obsah

1	Úvod	13
2	Současný stav	15
2.1	Stručná historie chemických zbraní a chemické války	15
2.1.1	Raná historie	15
2.1.2	Vznik moderní chemické války.....	17
2.1.3	Situace mezi světovými válkami.....	20
2.1.4	Objevení nervově paralytických látek.....	21
2.1.5	Vývoj během počátku studené války	22
2.1.6	Úmluva o zákazu biologických a toxinových zbraní.....	24
2.1.7	Vývoj během druhé poloviny studené války	25
2.1.8	90. léta až současnost	26
2.2	Úmluva o zákazu chemických zbraní.....	27
2.3	Důležité vlastnosti toxických chemických látek	30
2.3.1	Fyzikální vlastnosti	30
2.3.2	Chemické vlastnosti	31
2.3.3	Toxikologické vlastnosti.....	32
2.4	Používání nebezpečných látek v průmyslu a prevence závažných havárií 35	
2.5	Chemický terorismus	36
2.5.1	Průmyslové toxické látky v chemickém terorismu	38
2.5.2	Možné formy chemického teroristického útoku s využitím toxických průmyslových látek (TPL)	39
2.5.3	Útoky na chemické továrny a zařízení.....	41
2.6	Chemický průzkum a metody detekce chemických látek.....	42

2.7	International Task Force-25 (ITF-25)	45
3	Cíl práce a hypotézy	47
4	Metodika	49
4.1	Experimentální ověření možností detekce vybraných látek	49
4.1.1	Podmínky a průběh experimentu	50
4.1.2	Použité detekční prostředky	51
4.2	Vytvoření metody pro analýzu a hodnocení chemických látek	52
4.2.1	Metoda hodnocení podle ITF-25	53
5	Výsledky	55
5.1	Experimentální ověření možností detekce vybraných toxických látek ...	55
5.1.1	Detekce hydrazinu	55
5.1.2	Detekce sirouhlíku	61
5.1.3	Detekce 2-(butylamino)ethanthiolu	70
5.1.4	Výsledky testování detekčních papírku PP-3 na sirouhlík, ethanol a 2-(butylamino)ethanthiol	73
5.2	Metoda pro hodnocení zneužitelnosti TPL z hlediska chemického terorismu	75
5.2.1	Koncepce zdrojové robustnosti	77
5.2.2	Hodnocení toxicity látky	78
5.2.3	Hodnocení skupenství	79
5.2.4	Hodnocení dostupnosti	80
5.2.5	Hodnocení smyslové detekce	81
5.2.6	Hodnocení možností detekce detekčními prostředky	82
5.2.7	Výpočet indexu zneužitelnosti	83
5.3	Potenciálně zneužitelné látky – vzorové hodnocení vybraných látek	84

6	Diskuze.....	86
6.1	Výsledky experimentálního ověření možností detekce a vyhodnocení hypotéz.....	87
6.2	Závěry z experimentálního ověření možností detekce vybraných chemických látek.....	89
6.2.1	Detekční karty.....	90
6.3	Porovnání metod pro hodnocení chemických látek.....	90
6.4	Hlavní hrozby při zneužití toxických průmyslových látek a možná opatření.....	92
7	Závěr.....	96
8	Seznam použitých zkratk.....	98
9	Seznam použité literatury.....	100
10	Seznam použitých obrázků.....	110
11	Seznamu použitých tabulek.....	112
12	Seznam Příloh.....	113

1 ÚVOD

Rozvoj chemie přináší nové možnosti, v rámci toho, co je možné a co se stává rentabilním. To umožňuje rozvoj moderních materiálů, které rovněž posouvají hranici možného pro celé lidstvo, od slitin používaných pro lety do vesmíru, přes trupy dopravních letadel z uhlíkových kompozitů, až po různé výrobky a oblečení z plastů a umělých hmot. Není však neobvyklé, že některé z těchto nových technologií pro svojí realizaci potřebují chemické látky, které jsou pro člověka svými vlastnostmi nebezpečné. Vznikají tak potenciální rizika, se kterými je nezbytné se potýkat, pokud chce společnost nadále využívat výhody, které tyto technologie přináší. Zejména toxické chemické látky představují významné riziko kvůli možnosti potenciálního úniku, přičemž většina chemických a průmyslových objektů využívajících tyto látky se nachází v blízkosti obydlených oblastí. V kontextu chemického terorismu vzniká další riziko, a to takové, že by tyto látky mohly být úmyslně zneužity ke spáchání teroristického aktu. Inspirací k jejich užití mohou být rozsáhlé chemické havárie z minulosti s velkým počtem obětí, jakou byla třeba havárie v indickém Bhópalu v roce 1984. Vůči konvenčním chemickým zbraním mohou navíc mít výhodu lepší dostupnosti, ať už z pohledu legálního pořízení (např. skrze účelově založenou firmu), tak i z možného ilegálního získání dané látky (např. černý trh, krádež). Případnou nižší efektivitu může vynahradit dostupné množství dané látky. Proto se tato práce zabývá problematikou potenciálního zneužití toxických průmyslových látek v rámci chemického terorismu.

V rámci teoretické části se tato práce stručně věnuje historii chemické války, důležitým vlastnostem toxických chemických látek, důležitým aspektům chemického terorismu a používání nebezpečných látek v průmyslu a rizikům spojených s případným zneužitím. V praktické části práce je pak nastíněn možný postup v rámci problematiky zneužití toxických průmyslových chemických látek pro chemický terorismus, konkrétně je provedeno experimentální ověření možností detekce a je rovněž zpracována multikriteriální metoda pro předběžné hodnocení

zneužitelnosti látek z hlediska chemického terorismu. V rámci diskuze jsou pak shrnuty závěry z praktické části a zmíněna další možná opatření v rámci této problematiky.

2 SOUČASNÝ STAV

2.1 Stručná historie chemických zbraní a chemické války

Války a násilí provází lidský druh v podstatě po celou dobu jeho existence. Současně s jeho vývojem se proto rozvíjely nástroje, které k tomu používal, aby získal výhodu nad svojí konkurencí. Zcela očekávatelně s objevením jedovatých vlastností některých rostlin a živočichů došlo k jejich využití proti nepřátelům na bitevním poli i mimo něj. Odhaduje se, že myšlenka použít jed ve spojení s oštěpem či šípem se objevila nejpozději ve střední době kamenné. Inspirací mu k tomu bylo s největší pravděpodobností jeho okolí, díky kterému byl svědkem působení jedů nebo případně jiných toxických látek (například toxické plyny v okolí sopek). Kromě využívání přírodních jedů si člověk časem osvojil postup, jak vytvořit toxické látky umělým způsobem a následně je použít pro válečné účely. Typickým úkazem toho je používání ohně ve starověku, kdy vlivem spalování vhodných látek docházelo ke vzniku toxických zplodin. V praxi to mohlo být užito například tak, že takový oheň byl zapálen pod hradbami, u vchodu do jeskyně či jiných uzavřených prostor, do kterých se kouř pak dostal vlivem proudění vzduchu a větru a následně otrávil (nebo alespoň přiotrávil) lidi vyskytující se v těchto místech. (1)

2.1.1 Raná historie

Chemické zbraně ve smyslu, jak jsou chápány v současnosti, mají počátek v 19. století, kdy rozvoj chemie a jejího chápání umožňoval syntézu nových látek a vlivem průmyslové revoluce byla nyní možná i jejich výroba ve velkém množství. Už během napoleonských válek se v Anglii objevila myšlenka plnit granáty kyanovodíkem. Z přibližně stejné doby pochází, z dnešního pohledu úsměvná, myšlenka generála pruské pěchoty Fridricha Wilhelma Bülowa, aby bajonet na puškách nahradil štětec namočený do kyanovodíku, což vzhledem k vysoké výparnosti kyanovodíku je více nebezpečné pro vojáka obsluhující takovou pušku než pro případného protivníka. Mezi další látky, které byly zvažovány pro použití

jakožto chemických zbraní patřil chlorkyan, arzenovodík nebo fosforodík (fosfan). V Krymské válce (1853-1856) zvažovali Britové použití oxidu siřičitého při oblehání Sevastopolu. Konkrétně k tomu mělo být využito pět set tun síry a dva tisíce tun koku na úseku dlouhém přibližně 5-7 km, kdy by při hoření vznikl oxid siřičitý, jehož smrtelná koncentrace by dosahovala až do deseti kilometrů. Plán nakonec uskutečněn nebyl (pravděpodobně pro nevýhodné postavení britských jednotek), ale zveřejněn byl v roce 1908, tedy až 53 let po válce. (1)

Zajímavým příkladem, ilustrujícím jednak metody raného chemického boje a dále pak i bezohledné a kruté chování koloniálních mocností ve svých koloniích, je dobývání Alžíru francouzskou armádou (probíhalo od roku 1830), kdy kromě masakrů a plenění bylo použito vysoce toxického dýmu (s oxidem uhelnatým vzniklým vlivem nedokonalého spalování) vůči tamnímu obyvatelstvu. Nejznámější událostí bylo zmasakrování arabského kabylského kmene Ouled-Rhia, který se ukrýval v jeskyních Nemchie. Při tomto incidentu bylo usmrceno 760 osob, přežilo jen asi 40 lidí. Podobně jako u dalších masakrů spáchaných během tohoto konfliktu se strůjce nedočkal odpovědnosti za tento čin, a naopak měl vynikající vojenskou kariéru. Působení oxidu uhelnatého na hemoglobin bylo objasněno až o dvanáct let později Ermstem Hoppe-Seylerem. Mezi další známé použití oxidu uhelnatého jakožto chemické zbraně ve větším měřítku lze zařadit jeho použití Německem jako popravčího plynu za druhé světové války, kdy vyčleněné nákladní vozy měly zavedeny výfuky do nákladového prostoru a tvořili tak pojízdné plynové komory. (1)

Myšlenka použít chlór jako náplň dělostřeleckého granátu se objevila již během americké občanské války, avšak k použití chlóru, resp. chemických granátů v masovém měřítku došlo teprve během první světové války. Objev chlóru a rozvoj metod jeho průmyslové výroby byl klíčový nejen z hlediska chemického boje (je mimo jiné důležitou součástí dalších bojových chemických látek), ale především i v civilním odvětví na poli textilního a papírenského průmyslu. Rovněž se osvědčil

pro své dezinfekční účely, zejména při úpravě pitné vody, což znatelně snížilo šíření vodou šířících se onemocnění, například cholery.

2.1.2 Vznik moderní chemické války

Za počátek moderní chemické války, tak jak ji chápeme dnes, lze s jistotou označit první světovou válku. Charakter války se nedlouho po jejím vypuknutí změnil v momentě, kdy se postup fronty v podstatě zastavil, a situace se proměnila na válku zákopovou, kdy obě strany od sebe často dělily jen desítky až stovky metrů. Díky výkonnému dělostřelectvu, moderním opakovacím puškám, systémům prvků zábran mezi zákopy a především kulometům, způsobovaly boje v tomto prostředí enormní ztráty na lidských životech, přičemž dobyté území bylo mnohdy jen v řádech stovek metrů nebo i méně. Konflikt se tak v podstatě změnil na opotřebovací válku, ve které může být vítězem pouze ten, kdo dokáže způsobovat nepříteli ztráty na životech i materiálu a zároveň nahrazovat své vlastní ztráty rychlejším tempem než protivník. Vzhledem k tomu, že takový způsob války není přijatelný pro ani jednu ze stran, snažily se proto obě strany přijít na způsob, jak tuto patovou situaci zvrátit ve svůj prospěch. Vznikly tak mimo jiné zbraně a zbraňové systémy, které se stále používají ve své moderní podobě a plní nezastupitelnou úlohu (například tanky, vojenské letectvo). Patová situace zákopového bojiště byla také situací, kdy došlo k použití chemických zbraní ve větším měřítku, konkrétně chlóru u belgického města Ypres 22. dubna 1915. Údaje o ztrátách se v závislosti na zdroji rozcházejí, nicméně odhaduje se, že útokem bylo otráveno přibližně 7 000 vojáků a zemřelo okolo 3 000. (2) Jiné zdroje dokonce uvádí ztráty 15 000 osob, z toho 5 000 mrtvých. (3)

Jako následek krvavých konfliktů 19. století (především Krymská válka) došlo k Haagským konferencím, na kterých se formulovaly pravidla boje a války, aby se zabránilo zbytečnému utrpení. V rámci řádu pozemní války (přijátého na druhé Haagské konferenci) bylo zakázáno použití jedu nebo otrávených zbraní a použití zbraní, střel nebo látek, které přináší zbytečné utrpení. To vedlo k tomu, že

ani jedna ze stran do německého útoku u Ypres nepoužila chemickou látku s cílem využít její letální potenciál, ačkoliv tyto látky byly velice dobře známé. Použití chemických látek se naopak soustředilo na dráždivé látky šířené pomocí střel a dělostřeleckých granátů, přičemž dosažené koncentrace obvykle byly dostatečné pro vyřazení protivníka z boje, ale ne tak vysoké, aby jej usmrtily. Pro první útok chlórem byl zvolen odlišný způsob použití, který vedl k výrazně vyšší koncentraci a většímu pokrytí bojiště. Zvolená metoda spočívala v uvolnění látky z tlakových lahví umístěných v zákopech, odkud vítr unášel jedovatý mrak k zákopům nepřítele, které zaplňoval a vytvořil tam letální koncentraci. Jedním z hlavních důsledků použití této metody bylo vytvoření specializovaných jednotek na chemický boj a vznik výzkumných institucí v tomto oboru. Je zajímavé, že v rámci německého Ústavu císaře Viléma pro fyzikální chemii a elektrochemii bylo zkoumáno a otestováno na polygonu přes 700 látek jakožto potenciálních chemických zbraní. I přes tento masivní výzkum je faktem, že značná část bojových chemických látek používaných ve velkém měřítku během první světové války byla objevena a zkoumána již v 19. století, respektive i na konci století 18. Významným důsledkem prvního chemického útoku chlórem bylo rovněž také to, že se ve velké míře začaly používat ochranné prostředky, především v podobě ochranných roušek a později i ochranných masek. (1)

Jedním z důvodů, proč byl vybrán právě chlór, byla jeho dostupnost díky rozvinutému německému chemickému průmyslu. V následném období války byla volba bojové chemické látky ovlivněna kromě dostupností i jejími vlastnostmi z pohledu šíření, toxikologických účinků a schopností pronikat filtry masek nepřítele. Kromě již zmíněných látek dráždivých a látek dusivých (chlór, fosgen nebo například difosgen) se od roku 1917 ve velké míře používaly i látky zpuchýřující, jejichž nejznámějším zástupcem je yperit (pojmenovaný podle města Ypres, kde byl poprvé nasazen). S používáním yperitu se také rozšířil způsob šíření látky pomocí dělostřeleckých granátů. Dál se experimentovalo s látkami všeobecně

jedovatými, jako je například již zmíněný kyanovodík, nebo také s dráždivými aerosoly ze skupiny arsanů. (1)

Důležitým aspektem použití chemických zbraní byl jejich psychologický efekt na vojáky na frontách, kdy psychická zátěž, stres a strach, to vše umocněné dlouhodobým nošením ochranné masky, vedlo ke snížení jejich bojeschopnosti. Závažnější formou psychologický následků byl rozvoj psychických problémů, které měly nejen zásadní dopad na bojeschopnost jednotlivce a jeho celkové fungování na bojišti, ale především i na jeho život po válce. Podobně jako tomu je i u novodobých veteránů, tak i v minulosti hrůzy války, zejména té chemické, vedly ke vzniku posttraumatického stresového syndromu (PTSS). Velký dopad na lidskou psychiku mělo kromě chemické války také masivní používání kulometů a především moderního dělostřelectva, kterému bývá přičítáno nejvíce obětí (PTSS se označovalo jako „shell shock“). Problematice traumat z války se věnovali spisovatelé z tzv. „ztracená generace“, například Erich Maria Remarque (autor mimo jiné románu „Na západní frontě klid“ a dalších děl) či Ernest Hemingway. (2)

Úhrnné statistiky uvádí úmrtí způsobené použitím chemických zbraní přibližně okolo 7 %, což se může zdát jako relativně nízká hodnota, ale je nezbytné vzít v úvahu, že toho bylo dosaženo méně toxickými látkami, než se používají v současnosti. (4) Dále velký význam mělo rozšíření ochranných prostředků během konfliktu, zdokonalily se postupy na ochranu před těmito látkami a vznikly specializované jednotky na vypořádání se s touto hrozbou. I přes to se už jen z matematicko-logistického pohledu chemické zbraně ukázaly jako efektivnější nástroj na zabíjení než konvenční trhavin, kdy jedna tuna výbušnin vyřadila z boje pět vojáků, chemické bojové látky deset až dvanáct a v případě yperitu se mohlo jednat až o více než 36 vojáků. Navíc velkou výhodou byl přímý účinek na živou sílu s menšími materiálními škodami ve srovnání s klasickými trhavinami, i když nabízí se myšlenka, že v případě některých látek může zamoření prostředí anulovat tuto výhodu vzhledem k náročnosti plošné dekontaminace. (2)

2.1.3 Situace mezi světovými válkami

Jedním z bodů řešených v rámci Versailleských dohod bylo vypořádání se s německým chemickým průmyslem, který představoval značné potenciální riziko pro další války. Problém spočíval v tom, že i když Německo dodrží mírové smlouvy, které mu zakazují výrobu a použití chemických zbraní, schopnosti a kapacity jeho chemického průmyslu stačí na výrobu dostatečného množství látek až po vypuknutí války a není proto nutné látky vyrábět předem a skladovat je. Stačilo by, aby se chemické závody přeorientovaly z civilní výroby na výrobu vojenskou, či dokonce v některých případech by stačilo použít samotné meziprodukty jako chemické zbraně nebo prekurzory pro jejich výrobu. Zástupci těchto látek jsou například thiodiglykol, fosgen či amoniak, na které se pro výrobu barev a hnojiv zákaz nevztahoval. Z tohoto hlediska pak byla nejvýznamnější oblast Porýní, kde se nejen vyskytovaly významné strojírenské podniky, ale především ty chemické a také to byl jeden z důvodů, proč byla tato oblast demilitarizována. Dalším důvodem, proč vítězné mocnosti postupovaly takto proti německému chemickému průmyslu, byla jeho výkonost, kdy i po válce byl výkonnější než jednotlivé státy dohody. Snahy omezit německý výzkum chemických zbraní měly nakonec jen částečný úspěch, protože ačkoliv se znemožnil klasický výzkum na území Německa, byly nakonec nalezeny cesty, jak to obejít. (2)

Jedním ze způsobů byl vývoj legálních „civilních“ prostředků (a způsobů jejich použití), jakými byly například insekticidy a jiné prostředky proti škůdcům. Takto vznikl mimo jiné nechvalně známý Cyklon B, později používaný ve vyhlazovacích táborech. Zároveň mírové použití toxických látek byla i záminkou pro vývoj a zdokonalování ochranných prostředků, přičemž od roku 1926 to bylo díky výjimce na pasivní protivzdušnou obranu naprosto legální. Další způsob, jak se Německu podařilo pokračovat ve výzkumu chemických zbraní, byla vojenská spolupráce se Sovětským svazem během dvacátých a na počátku třicátých let, díky které Německo získalo přístup k polygonům mimo dohled západních mocností a mohlo tam poměrně nerušeně pokračovat ve vývoji. (2)

Jednou z nejvýznamnějších reakcí na chemický boj během první světové války je iniciativa Společnosti národů vedoucí k vytvoření Ženevského protokolu v roce 1925, který zakazuje použití chemických a bakteriologických zbraní. Jedná se o jeden z prvních skutečných kroků k omezení používání bojových chemických látek. Nicméně nezakazuje jejich vývoj, výrobu ani skladování a o jeho účelu by se dalo říci, že byl spíše diplomaticko-politického charakteru, kdy vytvářel určitou právní oporu pro postižení uživatele chemických zbraní. Jako jedno z největších porušení Ženevského protokolu lze vnímat použití chemických zbraní Itálií v Etiopii v letech 1935 a 1936. Itálie (tehdy pod diktaturou B. Mussoliniho) provedla invazi do Etiopie s cílem získat vliv na strategickém území v blízkosti klíčových námořních obchodních cest. Reakce Společnosti národů v podobě sankcí byla neefektivní a konflikt nezastavila. Jednou z klíčových zbraní, která zajistila výsledek války v Mussoliniho prospěch, byly chemické zbraně, především letecky používaný yperit. Jeho nasazení se postupem času zdokonalilo z jednoduchého (a málo efektivního) shazování barelů s látkou z letadel na dokonalejší metody s mnohem lepšími výsledky. Takovými metodami byly například postřik prováděný při průletech v nízké výšce nebo shazování pum, které vybuchovali ještě před dopadem ve výšce přibližně dvě stě metrů nad zemí. Tyto způsoby použití vedly k zasažení velkého území a vytvoření vhodných podmínek pro šíření a toxické působení bojových chemických látek, zejména pak yperitu, který se takto mohl snášet jako aerosol a drobné kapky na kůži obětí. (2)

2.1.4 Objevení nervově paralytických látek

Oproti očekáváním nebyly chemické zbraně až na některé výjimky prakticky použity během druhé světové války. Těmito výjimkami bylo zejména použití zápalných látek během bombardování a zneužití některých látek pro účely genocidy a pro pokusy na civilním obyvatelstvu Německem a Japonskem, zejména na okupovaných územích. V případě Japonců byly chemické zbraně použity při expanzi do Číny, probíhající od roku 1937 (šest let po obsazení Mandžuska). Použití těchto

zbraní proti britským a americkým jednotkám bylo minimální, pravděpodobně ze strachu z odvety, které by Američané či Britové byli vzhledem k velikosti svých arzenálů schopni. (2)

Zlomovým bodem pro budoucí vývoj způsobů vedení chemické války bylo objevení nervově paralytických látek na bázi organických sloučenin fosforu. První látkou tohoto typu byl v roce 1937 objevený tabun (později označovaný též jako GA), který byl původně vyvíjen týmem pod vedením Gerharda Schradera v Německu jako potenciální insekticid, který ale našel pro svoji vysokou toxicitu pro savce a teplokrevné živočichy jiné uplatnění. Dalšími takto objevenými látkami byl sarin (GB), soman (GD) a cyklosarin (GF). Tato kategorie látek bývá označována také pojmem „bojové chemické látky druhé generace“ a představuje výrazný pokrok vůči dříve používaným látkám, jakými byly yperit nebo fosgen. Hlavní rozdíl spočívá již v samotné toxicitě těchto látek, kdy již velice nízké koncentrace mají fatální následky. Další klíčovou vlastností těchto látek byla jejich obtížná detekce daná jednak počáteční absencí vhodných detekčních prostředků a dále především absencí zápachu či podráždění smyslů. Velký dopad na jejich účinnost má rovněž jejich schopnost pronikat do organismu kůží, což výrazně komplikuje ochranu před těmito látkami. Všechny uvedené vlastnosti vedou k vysoké efektivitě v porovnání s látkami používanými během první světové války a kladou vysoké nároky na ochranu v celém komplexu. Pro svoji účinnost se tyto látky staly hlavním předmětem zájmu poválečného vývoje chemického zbrojení. (5) (6)

2.1.5 Vývoj během počátku studené války

Se změnou globální politické situace po druhé světové válce a příchodem studené války nastává soupeření v různých oblastech s cílem získat převahu na diplomatické, ekonomické a především na úrovni vojenské. Kromě konvenčního zbrojení, zejména v podobě vývoje a masivní produkce stále dokonalejších obrněných vozidel a rekordy pokořujících letounů, se tyto snahy upínaly ke zbraním hromadného ničení (ZHN), tj. ke zbraním chemickým, biologickým a jaderným.

Situace je umocněna hektickým ukořisťováním technologií a odborníků z různých oblastí vojenského průmyslu, přičemž ani jedna strana si nebyla jista, jestli ta druhá strana nezískala ještě něco lepšího. Ukázkovým příkladem byl oboustranný „lov“ vědců a inženýrů, kteří se pak podíleli například na projektech mezikontinentálních raket (jakožto nosičů jaderných hlavic) i na dobývání kosmu. (6)

I když asi byl nejvíce patrný závod ve zbrojení pro svoji nápadnost na poli jaderných zbraní, odehrával se rovněž i v ostatních druzích ZHN. V případě biologických zbraní bohužel přinesly nezanedbatelný posun poznatky z japonských experimentů v Číně (probíhajících během japonské okupace za druhé světové války), zejména experimentů prováděných jednotkou 731. U chemických zbraní byl hlavním hybatelem objev nervově paralytických látek a jejich ukořisťení při porážce Německa. Obě strany železné opony získaly přístup k dostatečnému množství vzorků a informací, aby mohly začít svůj vlastní výzkum, který vedl k zavedení účinnějších antidot, ale i účinnějších chemických zbraní. Novinkou byly nervově paralytické látky řady V, původně vyvinuté Brity, zejména pak do výzbroje zavedená látka VX (nebo její sovětská varianta R-33). Tyto látky se vyznačují ještě vyšší toxicitou, než mají látky řady G (tabun, sarin atd.). Vznikla tak situace, kdy ani jedna strana si nemohla dovolit rezignovat na vlastní chemický zbrojní program (útočný i obranný) s ohledem na riziko následné zdrcující převahy protistrany. Naopak díky „nevyhnutelnosti“ chemické války se na ni obě strany aktivně připravují a vytváří plány pod záminkou odvety v případě použití bojových chemických látek protivníkem. Chemické zbraně se stávají pro účely plánování legitimním prostředkem vedení války. (5) (6)

Kromě nervově paralytických látek vznikají i nové dráždivé látky, které jsou nesmrtící a jsou tak využitelné pro potlačování demonstrací v podstatě bez nějakého výrazného rizika otravy. Mezi nejznámější takto používané látky patří látky CS, CN (chloracetofenon) nebo kapsaicin a jeho syntetická analoga. Předmětem zájmu byly také zneschopňující látky, které neletálním způsobem vyřadí zasažené osoby z boje. Pravděpodobně nejznámější látkou této kategorie je diethylamid kyseliny lysergové,

známější pod zkratkou LSD, který byl široce testován jak pro vojenské využití, tak i pro potřeby tajných služeb (do vojenské výzbroje však byla nakonec zavedena psychoaktivní látka BZ). Kromě psychoaktivních látek byly jako zneschopňující látky zkoumány různé preparáty vhodné k fyzickému zneschopnění svých obětí, například navozením nekontrolovaného třesu. Další významnou kategorií látek, které našly vojenské uplatnění, jsou herbicidy, především defolianty, které výrazně zlepšují přehlednost jinak zarostlého terénu. Konfliktem, v němž se tyto látky ve velkém měřítku uplatnily, byla válka Vietnamu, kde plošné používání defoliantů (Agent Orange a další) sice splnilo primární účel zpřehlednění hraničních oblastí, ale zároveň to vedlo i k enormním škodám na životním prostředí, a především na zdraví místních obyvatel. Tyto závažné následky způsobené samotnými herbicidy byly ještě umocněny nezáměrnou přítomností dioxinu v některých herbicidech, zejména v případě Agent Orange. Mezi hlavní nebezpečné vlastnosti dioxinu patří vysoká toxicita a závažné karcinogenní, teratogenní, imunogenní a neurotoxické účinky, které dohromady se značnou stabilitou v terénu vedou k tomu, že ještě v současné době je nejen možné dioxin v zasažených místech naměřit, ale jeho účinky na místní obyvatelstvo přetrvávají. (5)

2.1.6 Úmluva o zákazu biologických a toxinových zbraní

V roce 1972 dochází k dalšímu milníku na poli snahy na omezení a likvidaci zbraní hromadného ničení, a to konkrétně v podobě Úmluvy o zákazu biologických a toxinových zbraní (BTWC; Biological and Toxin Weapons Convention), která navazuje na Ženevské protokoly z roku 1925 a zakazuje vývoj, výrobu a hromadění bakteriologických (biologických) a toxinových zbraní a řeší jejich likvidaci. Bohužel vzhledem k absenci účinných kontrolních mechanismů není některými signatáři plně dodržována, o čemž vypovídají havárie zařízení podezřelých z vývoje biologických zbraní. (6) Příkladem je nehoda, kdy v roce 1979 unikly ze sovětské výzkumné laboratoře spory antraxu a jen vlivem příznivého větru nezasáhly město Sverdlovsk. Nicméně i tak byly desítky obětí. (7)

2.1.7 Vývoj během druhé poloviny studené války

Během 70. a 80. let se do výzbroje dostává nový typ chemických zbraní, který má za cíl omezit nedostatky konvenčních chemických zbraní. Jsou to takzvané binární zbraně, které pracují tím způsobem, že výsledná bojová chemická látka vzniká ze dvou méně toxických (a tedy bezpečnějších) látek až při použití chemické munice. Jedná se o dělostřelecké granáty a letecké pumy vybavené komorami pro oba prekurzory, které spolu reagují při výstřelu z houfnice nebo svržení z letadla. Mezi hlavní výhody této munice patří vyšší bezpečnost při manipulaci a skladování a také delší životnost. Hlavní technickou nevýhodou oproti konvenční jednosložkové municí je menší účinnost daná menším obsahem účinné látky v důsledku nižší výtěžnosti reakce a tím i nižší koeficient převodu do bojového stavu. Na jednu stranu tyto prostředky představují způsob, jak bezpečně nakládat s takovouto municí s výrazně menším rizikem úniku chemické náplně (což umožňuje snadnější manipulaci), na druhou stranu je to logisticky méně efektivní varianta ve srovnání s unitární chemickou municí. Další směr vývoje na obou stranách železné opony byl orientován na nové nervově paralytické látky, které by překonávaly látky série G i V. Řada nepotvrzených informací naznačuje, že v Sovětském svazu byla vyvinuta série látek známých pod názvem Novičok, které se do známosti široké veřejnosti dostaly v souvislosti s otravou bývalého ruského agenta Sergeje Skripala. Zdá se, oproti klasickým látkám G a V může být léčba otrav látkami Novičok velice komplikovaná (předpokládá se nižší účinnost známých antidot) a potíže mohou nastat i při jejich analýze. (5)

Ačkoliv nervově paralytické látky díky své účinnosti a efektivitě nahradily yperit (a další zpuchýřující látky) jako hlavní bojovou chemickou látku, dochází během studené války k určité renesanci látek první generace v podobě chemických programů méně vyspělých států. Po zvládnutí výroby yperitu se tyto programy běžně přeorientovaly na látky nervově paralytické, konkrétně na sarin a tabun. Pro tyto země představovaly chemické zbraně určitou náhradu za zbraně jaderné. Typickým příkladem jsou země na Středním východě, které v reakci na Izrael

zahájily vlastní chemické programy (Sýrie, Irák, Írán). Chemické zbraně měly pro tyto země charakter strategických zbraní, jejichž hlavním cílem bylo odradit protivníka od chemického útoku. Ve své podstatě tak plnily roli, kterou pro supervelmoci Spojené státy a Sovětský svaz představovaly zbraně jaderné. Zajímavé je to, že ve stejné době docházelo ke dvěma protichůdným trendům, co se významu chemických zbraní týče. Zatímco pro supervelmoci měly chemické zbraně taktický význam a pracovalo se na jejich širší integraci do plánů, jakožto legitimního válečného prostředku, pro země méně vyvinuté to byl především strategický nástroj. Při systematickém použití proti nedostatečně vybavenému a vycvičenému protivníkovi (a jeho civilnímu obyvatelstvu) lze vzhledem k enormnímu počtu obětí přiřadit chemickým zbraním strategickou roli, která může v extrémním případě snést srovnání (účinkem na živou sílu) s nasazením menší jaderné hlavice. (5)

Tento vývoj lze částečně pozorovat ve válce v Perském zálivu v 80. letech. Během této války používal Irák proti Íránu chemické zbraně, zpočátku dráždivou látku CS, později především yperit a nervově paralytické látky ze série G. Nejprve je používal v defenzívě, ale poměrně rychle je zapojil i do operací ofenzivních, přičemž cílem jejich použití nebyli jen iránské vojáky, ale i civilisté, často z řad iráckých Kurdů. Tento konflikt demonstroval, jaké škody mohou pokročilé chemické zbraně způsobit, pokud jsou použity moderním letectvem a výkonnými taktickými raketovými systémy vůči civilnímu obyvatelstvu, které nemá přístup k potřebné zdravotní péči a ochraně. (5) (6)

2.1.8 90. léta až současnost

Mezi nejvýznamnější příklady použití chemických zbraní po konci studené války patří teroristické aktivity sekty Óm Šinrikjó v první polovině 90. let (podrobněji rozebíráno v kapitole 2.5) a syrská občanská válka (2011–dosud). Z použití chemických zbraní (i proti civilnímu obyvatelstvu) během této občanské války je podezírána syrská vláda, ale také opozice. Vzhledem k nepřehlednosti situace, značnému množství desinformací a nejednotnosti stálých členů Rady

bezpečnosti OSN se stává zevrubné a nezpochybnitelné vyšetřování jednotlivých chemických útoků prakticky nemožné. (5) (6)

2.2 Úmluva o zákazu chemických zbraní

Po skončení studené války dochází konečně k širší shodě na postupu vůči chemickým zbraním a v roce 1992 vzniká Úmluva o zákazu chemických zbraní (CWC; Chemical Weapon Convention), která tak přímo navazuje na Ženevský protokol (1925) a Úmluvu o zákazu biologických a toxinových zbraní (1972). Tato mezinárodní dohoda představuje významný mezník v rámci chemického odzbrojení z několika důvodů. Kromě samotného zákazu vedení chemické války prosazuje chemické odzbrojení, nešíření chemických zbraní (zatímco Ženevský protokol zakazoval pouze použití těchto zbraní) a podporuje mezinárodní spolupráci. Dále oproti předchozím úmluvám je v rámci této Úmluvy vytvořen kontrolní orgán dohlížející na její dodržování.

Hlavní myšlenkou této úmluvy není omezení užívání chemie, ale naopak její rozvoj pro mírové účely, protože mnohé látky používané jako chemické zbraně mají i své mírové použití. Pro kontrolu implementace a plnění Úmluvy vznikla Organizace pro zákaz chemických zbraní (OPCW; Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons) se sídlem v Haagu. V současné době (květen 2019) patří mezi členy této organizace 193 států, které dohromady tvoří 98 % světové populace, přičemž 96 % zásob chemických zásob členských států bylo ověřitelně zlikvidováno. Členy nejsou Egypt, Severní Korea, Jižní Súdán a Izrael, který Úmluvu podepsal, ale ještě neratifikoval. (8) (9)

Aby bylo možné dosáhnout chemického odzbrojení a rozvoje mírového užití chemie, stojí Úmluva na čtyřech hlavních pilířích, kterými jsou: (8)

- Zničení chemických zbraní
- Kontrola nešíření
- Pomoc a ochrana
- Mezinárodní spolupráce

Zničením je chápáno úplné a nevratné zničení chemických zbraní v souladu s jejich vymezením v rámci Úmluvy, přičemž způsoby a termíny likvidace jsou také stanoveny Úmluvou. Chemické zbraně jsou definovány v článku II odstavci 1 jako (10):

„a) toxické látky a jejich prekurzory s výjimkou těch, které jsou určeny pro účely nezakázané touto Úmluvou, pokud druh a množství odpovídají těmto účelům

b) munice a prostředky zvláště navržené k usmrcení nebo způsobení jiné újmy na zdraví, toxickým působením toxických chemických látek uvedených v písmenu a), které by se uvolnily v důsledku použití této munice a prostředků

c) libovolné vybavení zvláště navržené k použití v přímé souvislosti s použitím munice a prostředků uvedených v písmenu b)“ (10)

Právě toto vymezení chemických zbraní je jedním z nejdůležitějších aspektů, který odlišuje tuto Úmluvu od svých předchůdců. Klíčovým prvkem jejich definice je tzv. kritérium všeobecného účelu, které vede k tomu, že nejsou zakázány přímo látky, ale některé účely, ke kterým mohou být využity. Jinými slovy mírové užití toxických látek je možné pro účely Úmluvou nezakázané. Dále je podstatné, že za chemickou zbraň není považována pouze samotná toxická látka, ale i munice a prostředky (a příslušné vybavení) potřebné pro její použití a v přeneseném významu tedy převod do bojového stavu. Díky takto pojatému vymezení chemických zbraní je Úmluva připravená na budoucí látky, které nemusejí být přímo explicitně uvedeny či doplněny dodatkem. (11)

Kontrola nešíření je zajištěna skrze značné množství činností počínaje implementací samotné Úmluvy, která zahrnuje tvorbu patřičné legislativy (včetně prováděcích předpisů), přes mezinárodní inspekce a každoroční podávání deklarácí OPCW, až po osvětu a rozšiřování povědomí o Úmluvě. Výkonem těchto činností je v České republice zajištěn Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Samotná Úmluva je v rámci legislativy České republiky implementována v zákoně č. 19/1997 Sb. a vyhlášce k tomuto zákonu č. 208/2008 Sb. (8) (10) (12)

Pomoc a ochrana spočívá nejen v pomoci při napadení členských států chemickými zbraněmi, ale rovněž i v přípravě na takovou eventualitu ve formě organizace výcviku a vzdělávání na úrovni národní i mezinárodní pod záštitou OPCW, například formou konferencí a setkání. S tím přímo souvisí i **mezinárodní spolupráce**. (8) (10)

Samotná Úmluva se skládá z 24 článků a tří příloh, přičemž preambule znovu uznává zásady a cíle vyplývající z Ženevského protokolu z roku 1925 a Úmluvy o zákazu biologických a toxinových zbraní z roku 1972. První dva články Úmluvy o zákazu chemických zbraní se zabývají všeobecnými závazky pro smluvní státy a rovněž definují a vymezují kritéria jednotlivých pojmů. Ostatní články se věnují konkrétním povinnostem, postupům a ustanovením souvisejícím se závazky členských států a OPCW. Součástí Úmluvy jsou tři přílohy, kdy první (o chemických látkách) obsahuje seznamy chemických látek podléhajících kontrolním opatřením. Druhá příloha stanovuje postupy kontrolní činnosti a třetí slouží jako shrnutí všech ustanovení v rámci ochrany důvěrných dat a informací. (8) (10)

Chemické látky uvedené v příloze č. 1 se dělí do třech seznamů, které se dále dělí do dvou skupin A a B (A jsou samotné toxické látky a B jejich prekurzory). Látky ze **Seznamu 1** představují vysoké riziko a byly koncipovány jako chemické zbraně nebo jejich prekurzory, přičemž jsou vysoce toxické a mají minimální uplatnění pro mírové použití v souladu s Úmluvou. Látky ze **Seznamu 2** představují významné riziko z důvodu, že by mohly být potenciální chemické zbraně nebo mohou být použity jako prekurzory pro finální stupeň výroby látek ze seznamu 1 nebo toxických látek ze seznamu 2. Tyto látky jsou používány v menších množstvích pro povolené účely, například pro výrobu insekticidů nebo zpomalovačů hoření. Chemické látky ze **Seznamu 3** představují riziko z důvodu, že v minulosti byly použity jako bojová chemická látka a dále také proto, že mohou být použity k výrobě prekurzorů chemických látek ze seznamu 1 a 2. Látky ze seznamu 3 mají široké komerční uplatnění a jsou běžně používány ve velkých množstvích. (10) (11)

2.3 Důležité vlastnosti toxických chemických látek

Pro posouzení chemických látek z hlediska jejich schopnosti ohrozit lidský život a zdraví je potřeba se zaměřit na dvě základní oblasti vlastností. První oblastí jsou vlastnosti fyzikální a chemické, které charakterizují chování látky jednak v prostředí svého výskytu, jednak ve vztahu vůči ostatním látkám. Druhou oblastí jsou pak vlastnosti ve vztahu vůči živým organismům. Kromě samotné toxicity mají tyto parametry přímý i nepřímý vliv na šíření látek, způsob jejich použití i jejich stálost v prostředí.

2.3.1 Fyzikální vlastnosti

Tyto vlastnosti charakterizují chování chemické látky v rámci prostředí, a tedy jsou jedním z hlavních ukazatelů při výběru bojové chemické látky (dále jen BCHL). Mezi klíčové fyzikální vlastnosti každé bojové chemické látky patří především její **bod tuhnutí a bod varu**, podle nichž lze předvídat například stálost v terénu, případně těkavost (maximální koncentraci par). Dalším zásadním parametrem je **tlak nasycených par**, který vyjadřuje míru plynné fáze dané látky při konkrétní teplotě (s teplotou tento tlak stoupá). Na základě znalosti hodnoty tlaku par je pak možné přímo určit **maximální koncentraci par (C_{\max})**, kterou látka může dosáhnout v uzavřeném prostoru za konkrétní teploty (s rostoucí teplotou významně roste). Chování par v atmosféře je dále závislé na jejich **relativní hustotě (hutnotě)**, která vyjadřuje poměr mezi hustotou těchto par a okolního prostředí, tedy vzduchu. Relativní hustotu par dané látky lze vypočítat s využitím níže uvedeného vzorce, kde M_r je molekulová hmotnost látky a hodnota 28,9 je střední molekulová hmotnost vzduchu (3):

$$\delta = \frac{M_r}{28,9}$$

Hutnota znamená, kolikrát je látka těžší nebo lehčí než vzduch a zdali se látka bude držet u země nebo naopak bude stoupat výš. Pokud je vyšší než jedna, je látka

těžší než vzduch a bude mít tendenci se spíše držet u země, což je nezbytné pro vytvoření dostatečné koncentrace látky a jejího efektivního použití. (3)

Důležitou vlastností je také **rozpustnost** dané látky, zejména ve vodě. Tím je ovlivněn nejen její dopad na životní prostředí (kontaminace vodních zdrojů), ale také je tím přímo ovlivněn čas, po který si látka uchová účinnou koncentraci v prostředí. Mezi další významné fyzikální vlastnosti patří **hustota, povrchové napětí a viskozita**, které ovlivňují zejména tvorbu aerosolu. (3)

2.3.2 Chemické vlastnosti

Chemické vlastnosti látky jsou podstatné zejména ve vztahu vůči látkám běžně se vyskytujícím v prostředí a při reakcích s nimi. Jednou z nejdůležitějších chemických reakcí z hlediska účinnosti použití je rozkladná reakce s vodou, **hydrolýza**. Vzhledem k faktu, že voda se vyskytuje v prostředí v podstatě vždy (ať už ve formě kapaliny či jako vodní páry), má rychlost této reakce poměrně zásadní vliv na perzistenci látek v terénu. Při této reakci obvykle vznikají méně toxické látky (existují výjimky, např. lewisit) a voda se proto používá k dekontaminaci, často doplněná o další složky a směsi, které zefektivňují celý proces. Jedním z hlavních způsobů, jak urychlit hydrolýzu, je změnit pH, nicméně je třeba zvážit odolnost dekontaminovaného objektu vůči kyselému či alkalickému prostředí. Nebezpečná kombinace vlastností vzniká ve spojení pomalé hydrolýzy a vysoké rozpustnosti, protože snadno tak může dojít ke dlouhodobé kontaminaci vodních zdrojů (platí například pro sarin). Podobně významná vlastnost pro chemickou látku je její **oxidace** vzdušným kyslíkem. Pro efektivní použití a vysokou perzistenci je nezbytné, aby byla látka těmito pochody jen minimálně ovlivněna. (3)

Z hlediska použití látky je třeba počítat i s její **reaktivitou vůči obalovým materiálům**. Na jednu stranu je pro útočníka žádoucí, aby látka byla poměrně agresivní a snadno tak překonávala ochranné prostředky, na straně druhé to výrazně komplikuje její skladování. Často je nezbytné pro zachování optimálních vlastností látky přidat do směsi stabilizátory, použít co nejčistší produkt (zejména

bez vody) a použít speciálních povrchových úprav a konstrukčních řešení, které zamezí reakcím vůči obalovému materiálu a prodlouží tak životnost skladované plněné munice. (3)

Významnou vlastností bojové chemické látky je její **tepelná stálost**, která vyjadřuje odolnost látky vůči konkrétní teplotě. Klíčové je to z důvodu volba metody rozptylu (převodu do bojového stavu), kdy při použití pyrotechnických metod (ve smyslu dýmovnice či rozptýlení výbuchem) mohou být látky vystaveny vysokým teplotám, které by tak mohly při nevhodné kombinaci látka-prostředek znehodnotit významnou část náplně. Fosgen se začíná podstatně rozkládat při teplotě přes 300 °C, zatímco yperit již při 180 °C a tabun dokonce již při 120 °C. (3)

2.3.3 Toxikologické vlastnosti

Fyzikální a chemické vlastnosti mají pak přímý vliv na vlastnosti biologické, tedy jak daná látka bude reagovat s živým organismem a jeho metabolismem. V případě, že její efekt na daný organismus je nepříznivý, označuje se tato vlastnost jako **toxická**. Jako jedna z nejpoužívanějších definic jedu se používá Paracelsova, podle níž je jedem ve své podstatě každá látka a záleží pouze na dávce, aby se projevil její toxické účinky. Nejpraktičtějším způsobem, jak lze vyjádřit akutní toxicitu, je určení hodnoty střední smrtné dávky (**LD₅₀**; Lethal Dose), která vyjadřuje dávku způsobující úmrtí u poloviny zasažené populace. Hodnota se obvykle udává v mg/kg a díky tomuto vyjádření je tak možné přímo porovnávat toxicitu různých látek mezi sebou. Nicméně pro jakékoliv porovnání je nezbytné zohlednit i okolnosti, za jakých došlo k vystavení organismu působení toxické látky (**expoziční**), zejména dobu působení. Jako jeden z hlavních nástrojů pro ověřování míry toxicity slouží pokusy na zvířatech (případně nehody a havárie), s přihlédnutím k tomu, že citlivost jednotlivých druhů na konkrétní látku se liší, někdy až výrazně. (13) (14)

Jak již bylo zmíněno, důležitým toxikologickým parametrem je doba expozice (doba působení látky o určité koncentraci). Jednorázové působení (**akutní otrava**) vysoké koncentrace toxické látky může mít odlišný průběh než dlouhodobé

působení (**chronická otrava**) nízké koncentrace, ačkoliv celková dávka by byla stejná. Při delším působení nižší koncentrace má organismus šanci uplatnit své reparační mechanismy a zároveň i látku odbourávat. U některých látek jsou jejich účinky **kumulativní**, kdy se i malé expozice sčítají a jejich účinek bude porovnatelný s akutní otravou. (13) (15)

Dalším důležitým faktorem přímo ovlivňujícím průběh a rychlost interakce je způsob, jakým se cizí látka (xenobiotikum) dostane do organismu, tj. jakou **bránou vstupu**. Čím dříve se látka dostane do krevního řečiště, tím se může dříve rozšířit po organismu a začít působit. Nejrychleji proto látky obvykle působí (seřazeno podle rychlosti) při injekčním podání, inhalaci, vstřebáním oční sliznicí, gastrointestinálním traktem a kůží. Na rychlost vstřebání konkrétních látek mají kromě brány vstupu vliv i chemické vlastnosti látek, přesněji řečeno jejich afinita k jiným látkám, především vodě (**hydrofilní**) a tukům (**lipofilní**). (13) (15)

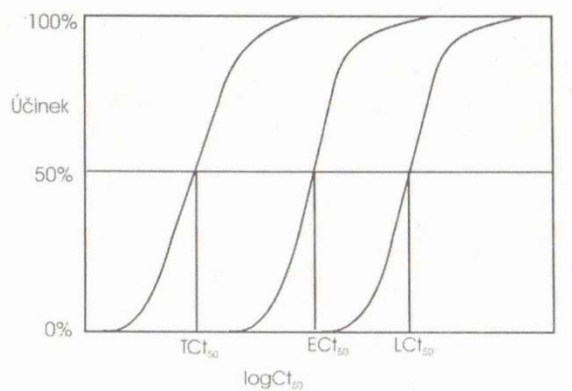
Kromě rychlosti lze toxický účinek látky vyjádřit kvalitativně, tedy jak přímo působí na organismus. Z tohoto pohledu je možné účinky dělit na (13):

- Nespecifické – poškozují základní životní funkce
- Specifické – poškozují konkrétní orgány
- Systémové – poškozují orgány a systémy orgánů
- Alergizující – vyvolávají přecitlivělost
- Karcinogenní – způsobující rakovinné bujení

Kromě výše zmíněného parametru LD_{50} se pro popsání toxicity látek (zejména v kontextu bojových chemických látek) používají i parametry:

- Střední prahová koncentrace TCt_{50} – střední koncentrace, kdy se objeví první příznaky u poloviny zasažené populace
- Střední efektivní koncentrace ECt_{50} – střední koncentrace, kdy se u poloviny zasažené populace projeví hlavní příznaky, v rámci BCHL tedy zneschopnění a vyřazení z boje

- Střední smrtící koncentrace LCt_{50} – střední koncentrace, která způsobuje úmrtí u poloviny zasažené populace
- Střední zneschopňující koncentrace ICt_{50} – používá se zejména v kontextu zneschopňujících látek



Obrázek 1 Grafické znázornění základních úrovní účinku otravných látek (3)

Úrovně jednotlivých koncentrací napovídají o charakteru použití látky vzhledem k obecně vhodným vlastnostem. Například pro látky, které slouží na rozhánění nepokojů, je klíčové, aby látka měla co největší možný rozdíl mezi ECt_{50} a LCt_{50} a byla tedy bezpečně použitelná bez obav, že by mohlo dojít k úmrtí. Naopak u bojových chemických látek je žádoucí, aby byl co nejmenší rozdíl mezi TCt_{50} a ECt_{50} (respektive LCt_{50}), protože pak látka bude odhalena v podstatě až když bude plně účinkovat. Takovou látkou by teoreticky mohla být například látka na ilustračním obrázku (Obrázek 1), u které se částečně překrývá úroveň koncentrace ECt a LCt a z toho tedy vyplývá, že látka začíná být letální již při koncentracích, při kterých se projevují hlavní příznaky u většiny populace. Samozřejmě u všech těchto hodnot je důležité, aby byly uvedeny všechny podstatné a relevantní informace (např. způsob otravy, brána vstupu, míra zátěže), které by mohly mít dopad na posouzení intoxikace jedince i na celkové posouzení toxicity a možných následků zasažení danou látkou. (3)

2.4 Používání nebezpečných látek v průmyslu a prevence závažných havárií

Na jednu stranu rozvoj chemie výrazně posouvá v průmyslu hranici, co je možné nebo lépe řečeno co se vyplatí, na druhou stranu jsou k tomu poměrně často potřebné látky, které jsou pro člověka nebezpečné. Hranice toho, co je pro člověka přijatelné riziko, se postupem času mění, často v důsledku významných chemických havárií, které svými následky měly přímý vliv na veřejné mínění i na přijetí legislativních opatření. První velkou havárií, která měla takový dopad, byla havárie v severoitalském Sevesu v roce 1976, kdy došlo k úniku okolo dvou kilogramů dioxinu z blízké továrny na pesticidy. Došlo k zamoření rozsáhlého území (které muselo být nákladně dekontaminováno), úhynu velkého počtu zvířat a postižení přibližně 200 osob, přičemž firma únik dioxinu přiznala až po 17 dnech. Tyto události daly za vznik směrnici SEVESO (1982), která byla poté aktualizována (mimo jiné v reakci na havárii v Bhópálu) v podobě SEVESO II (1996). V současné době je platná směrnice SEVESO III (2012), která reaguje na jiné směrnice a nařízení EU v rámci pravidel o nakládání s chemickými látkami, především CLP a REACH. Směrnici SEVESEO III podléhá přes 12 000 chemických a průmyslových objektů v EU. (16)

V legislativě České republiky je směrnice SEVESO III implementována zákonem č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií, a jeho prováděcí vyhlášky. Klíčovým bodem tohoto zákona je třídění podniků používajících nebezpečné látky do třech kategorií podle množství těchto látek, a to na podniky kategorie A, kategorie B a nezařazené. Z tohoto zařazení pak přímo vyplývají povinnosti pro provozovatele daného objektu ve smyslu jak úrovně vlastního zabezpečení a bezpečnosti, tak i podílení se na krizovém a havarijním plánování především v podobě poskytování potřebných podkladů a informací a vytváření vlastní dokumentace (v případě objektu kategorie B mimo jiné i vnitřní havarijní plán). Pro objekty kategorie B jsou příslušnými krajskými úřady stanoveny tzv. zóny

havarijního plánování, ve kterých jsou uplatňovány požadavky havarijního plánování formou vnějšího havarijního plánu. (17)

Největšími riziky, která plynou z užívání nebezpečných látek, jsou jednak havárie objektu s těmito látkami, dále pak havárie při transportu těchto látek a v neposlední řadě jiné mimořádné události, které mohou mít dopad na objekty s těmito látkami (např. povodně či požár) či na dopravní prostředky při jejich přepravě (hromadné nehody atd.). Všechny tyto události mohou způsobit únik dané látky, který může ohrozit jak obyvatele v okolí, tak i životní prostředí. Mezi nejčastěji používané průmyslové chemické látky, které jsou předmětem havarijního plánování, patří zejména (18) (19):

- **Chlór** – využívá se k chemické úpravě pitné vody (úpravny vody, koupaliště, bazény) a v chemickém průmyslu
- **Amoniak** – využívá se jako chladící médium na zimních stadionech a skladech potravin
- **Pohonné hmoty a ropné produkty** – petrochemický průmysl, sklady
- **Fosgen** – dříve používán jako BCHL, v současnosti využíván v chemickém průmyslu

2.5 Chemický terorismus

Ačkoliv terorismus je jev moderní společnosti dosti známý, neexistuje pro něj univerzální definice a může být v některých případech složité stanovit, kdy nějaký čin už je terorismus a jiný ještě ne. Z tohoto důvodu se terorismus definuje v kontextu, v jakém je tento termín zrovna používán. Ve většině definic bývá terorismus popsán jako použití násilí k dosažení politických cílů vyvoláním strachu ve společnosti (a případně vytváření nátlaku na vládu či jiné orgány). (20)

Formy terorismu lze dělit mimo jiné na základě zvolených metod, které předurčují charakter a následky takového teroristického činu. Společným znakem většiny teroristických činů je zaměření se na tzv. měkké cíle, kde se vyskytuje velké množství lidí, kteří jsou jen velice málo chráněni, a je tedy snadné způsobit velký

počet obětí. V přímé souvislosti s tím jsou voleny nástroje, které umožní v co nejkratším čase způsobit co největší počet obětí, lze je snadno ukrýt a jsou relativně snadno dostupné (legálně i ilegálně). Mezi nejčastěji používané zbraně při teroristických činech v USA, západní Evropě, Austrálii, Kanadě a Novém Zélandě mezi lety 2002 a 2016 patřily výbušniny, zápalné prostředky, střelné zbraně a vozidla. Z pohledu rozsahu obětí byly při těchto útocích neúčinnější střelné zbraně, ačkoliv byly použity jen u 9 % útoků (výbušniny byly použity v 49 % případů). (21)

Nicméně, v rámci terorismu již našel uplatnění i ničivý potenciál chemických zbraní. Ukázkovým příkladem chemického terorismu jsou činy japonské sekty Óm Šinrikjó z let 1994 a 1995, při kterých byl využit (kromě jiného) sarin. Ve městě Matsumoto (300 000 obyvatel, 322 km od Tokia) byl 27. července 1994 proveden útok za pomoci sarinu, jehož cílem bylo zavraždit tři soudce, kteří rozhodovali ve sporu, do kterého byla sekta zapojena. Tento čin byl uskutečněn pomocí upraveného chladicího nákladního vozu, z něhož byl sarin vypouštěn po větru do obydlené oblasti, ve které soudci bydleli. Výsledkem bylo 5 mrtvých a 500 zasažených osob vyžadujících transport do nemocnice. Nejznámějším činem byl útok v tokijském metru 20. března 1995, kdy v pěti vlakových soupravách byl umístěn igelitový sáček se sarinem, který byl pomocí naostřeného deštníku perforován a sarin se vypařoval do ovzduší. Při útoku 12 lidí zemřelo a dalších 3800 bylo zraněno, z toho téměř u 1000 z nich byla nezbytná hospitalizace. Situaci výrazně komplikovala absentující dekontaminace a také značná míra paniky. (22)

Odhaduje se, že v roce 1995 měl tento náboženský kult okolo 20 000 až 40 000 členů a k dispozici jmění ve výši 1,5 miliardy dolarů. Kromě podnikání (a darů) přímo spjatých s náboženstvím kultu patřily mimo jiné k jeho příjmům zisky z velkého množství různých společností (včetně jedné zabývající se výrobou PC) a nelegálních aktivit, např. z výroby drog a spolupráce s japonskou mafií (Yakuza). Díky tomu měl kult dostatek prostředků na získání potřebných surovin a zařízení pro výrobu sarinu. Plánovaná kapacita jeho výrobního zařízení Satyam 7 činila řádově tisíce kilogramů sarinu ročně. (22)

Kromě chemických zbraní vzbuzovaly zájem sekty i zbraně biologické a toxiny, zejména botulotoxin, antrax a virus ebola. Kult se s různou mírou úspěšnosti snažil získat odborníky, především ze zemí bývalého Sovětského svazu. Ačkoliv se kult pokusil získat kmen eboly a dokonce použil botulotoxin (1990 a 1993) a antrax (1993), nepřinesly tyto snahy očekávaný efekt. To byl pravděpodobně důvod pozdějšího zaměření na chemické zbraně. (22)

Případ sekty Óm Šinrikjó je jasným důkazem, že chemický terorismus je reálná hrozba, se kterou je nezbytné počítat a aktivně ji potírat. Ačkoliv je výroba chemických zbraní náročnější (a také výrazně nebezpečnější) než zajištění obvyklejších prostředků teroru (např. trhaviny, střelné zbraně), přinášejí tyto nekonvenční zbraně „výhody“, kterých nelze docílit jiným způsobem. Mezi přednosti chemických zbraní patří jejich neobvyklý účinek a především strach a panika ve společnosti, kterou jejich nasazení vyvolá.

2.5.1 Průmyslové toxické látky v chemickém terorismu

Vzhledem k náročnosti výroby, která je důsledkem nejen samotné nebezpečnosti produktu, ale zejména obtížné dostupnosti prekurzorů, je odůvodněné se domnívat, že předmětem zájmu teroristických organizací by se mohly stát „dostupnější“ toxické látky, které mají využití v průmyslu, a přitom by mohly být za určitých okolností zneužity k teroristickým aktům. Z tohoto pohledu by mohly být zneužity s největší pravděpodobností látky přímo používané pro jejich toxický účinek, tedy například vybrané agrochemické přípravky, fumiganty nebo rodenticidy. Další potenciálně ohroženou skupinou látek jsou látky používané při výrobě plastů a zpomalovačů hoření. Ačkoliv jsou to látky výrazně méně efektivní ve srovnání s konvenčními chemickými zbraněmi, disponují unikátními vlastnostmi, které mohou vykompenzovat jejich efektivitu. Mezi tyto vlastnosti patří zejména:

- Možnost legálního opatření za využití účelově založené firmy, například vytvoření deratizační společnosti, u které stačí jen fingovat řádný provoz do doby, než se nahromadí dostatek toxické látky.
- Legální nákup umožňuje získat řádově větší množství látky (v podstatě až tuny), než by se pravděpodobně podařilo získat při syntéze konvenční BCHL, u které pravděpodobně bude problém s čistotou produktu. To umožňuje učinit teroristický akt rozsáhlejším a kompenzovat nižší účinnost průmyslových látek jejich množstvím.
- Nákup těchto látek je méně nápadný, zejména pokud jsou často používané v průmyslu.
- V některých případech může dojít k značnému zpoždění adekvátní účinné léčby vlivem obtížné detekce a neobvyklému klinickému obrazu.
- Vzhledem k množství potenciálně použitelných látek je komplikované se na tuto hrozbu připravovat.

2.5.2 Možné formy chemického teroristického útoku s využitím toxických průmyslových látek (TPL)

Před tvorbou metody na hodnocení zneužitelnosti toxických průmyslových látek (dále jen jako TPL), zpracované v rámci praktické části této práce, je nejprve nezbytné vymezit kontext, v jakém je chápáno jejich potenciální použití a jaké okolnosti se toho týkají.

Možné způsoby použití TPL k uskutečnění teroristického útoku lze rozdělit do tří základních forem. První formou je, že aktér látku získá předem a použije na zamýšleném místě, obvykle v uzavřeném prostoru s velkou koncentrací osob. Příkladem takového činu jsou sarinové útoky v tokijském metru. Výhodami tohoto způsobu útoku jsou zejména možnost výběru cíle a načasování útoku, nevýhodou naopak nutnost opatřit si danou látku, což je relativně pracné a zároveň to zvyšuje riziko předčasného odhalení a překažení plánu.

Druhá forma potenciálního útoku je útok na převoz toxických průmyslových chemických látek s cílem vyvolat jejich únik do okolí. Vzhledem k množství, které takto může být převáženo (zejména po železnici), mohou být následky značné, především při vhodně zvoleném místě útoku. Nicméně k provedení takového činu jsou nezbytné informace nejen o čase, ale také o trase, po které transport bude probíhat, přičemž opatření těchto klíčových informací může být dosti komplikované a riskantní. Výhodou pro útočníky je, že se nemusí látky vůbec zmocnit a je tedy snazší utajit přípravy. (23)

Třetí formou útoku je využití průmyslového objektu, ve kterém se vyskytují toxické průmyslové látky. Inspirací k takovému činu mohou být velké chemické havárie, jakou byl například únik methyloxykarbonylu z továrny společnosti Union Carbide v Bhopalu v Indii, který si vyžádal životy tisíců až desetitisíců lidí z okolí továrny a závažné poškození zdraví u dalších desetitisíců. Podle americké agentury pro ochranu životního prostředí (EPA) se v roce 1996 v USA nacházelo 123 zařízení, která by v rámci nejhoršího možného scénáře mohla ohrozit přes milion lidí. Podle údajů z roku 2005 se v USA nacházelo okolo 600 továren, které by potenciálně mohly v rámci nejhoršího možného scénáře ovlivnit 100 000 až 1 000 000 lidí, a 2000 objektů, které by mohly ohrozit 10 000 až 100 000 lidí. Z těchto čísel je patrný smrtící potenciál těchto objektů, na druhou stranu uskutečnění takového činu vyžaduje značné materiální i informační zabezpečení, aby bylo možné překonat fyzické zabezpečení, vyřadit a obejít bezpečnostní mechanismy a zaútočit na nejslabší místo, které způsobí největší následky. V praxi to znamená, že je nezbytné získat pomoc zevnitř cílového objektu, ať už v podobě účelově dočasně zaměstnané osoby nebo přesvědčením osoby v objektu již pracující. (23) (24) To ve spojitosti s nároky na nezbytný materiál v podobě zbraní a výbušnin pravděpodobně odrazuje od tohoto scénáře, protože výsledek je daleko více nejistý než v případě aktivního střelce nebo nastražené výbušniny při využití stejného množství materiálu.

2.5.3 Útoky na chemické továrny a zařízení

Na základě analýzy již proběhlých útoků na chemické podniky bylo ve studii Kosalové zjištěno několik poznatků a trendů. Hlavní motivy činů lze rozdělit do těchto kategorií (příčemž činy vykazovaly jeden nebo i více motivů): (24)

- Protest nebo reakce na jednu významnou událost – například reakce na havárii v Bhópalu v podobě explozí (a také i výhružek) nástražných výbušných zařízení v pobočkách Union Carbide
- Narušení vládního systému a ekonomiky státu – útok na infrastrukturu a zařízení klíčové pro stát, obvykle v důsledku konfliktu v rámci vnitřní politické situace
- Protest vůči zahraniční politice Spojených států – zejména v souvislosti s válkou ve Vietnamu a masivního používání herbicidů
- Ekologické motivy

Žádný útok nebyl zamýšlen ani nevedl k události s velkým počtem raněných. Nejčastějším pachatelem těchto útoků byly sekulární, levicově orientované skupiny a organizace pokrývající spektrum ideologií od komunismu, přes socialismus až po radikální environmentalismus. Do druhé nejčastější skupiny spadají nacionalistické a separatistické organizace. Radikální islamisté a extrémní pravice se na útocích podíleli jen menšinově. Až na výjimky byly útoky vykonány vnitrostátními skupinami, u kterých byla jako hlavní motivace reakce na vybranou domácí událost nebo snaha ovlivnit domácí politickou scénu narušením ekonomické stability státu v mezinárodním kontextu. Útoky na chemické továrny tak zatím sloužily jako jeden z nástrojů v rámci vnitrostátních sporů a dále pak v mezinárodním kontextu jako symbol jiného státu a jeho politiky, vůči kterému se lze vymezit pomocí terorismu. Studie na základě dostupných dat nenalezla případ, kdy by byla továrna s toxickými látkami využita jako zbraň pro způsobení masivních ztrát na lidských životech. (24)

Na základě dostupných dat se tedy jeví pravděpodobné, že statický průmyslový objekt s toxickými chemickými látkami nebude v budoucnu použit k teroristickému útoku s cílem způsobit masivní ztráty na lidských životech. Vyloučit to samozřejmě nelze a bylo by špatně s touto eventualitou nepočítat, nicméně už dle oportunistické povahy útoku je to spíš problém fyzické ochrany a zabezpečení samotného objektu než zneužitelnosti dané toxické látky. Dále rozvíjená metoda pro hodnocení zneužitelnosti chemikálií v rámci terorismu se proto zaměří na formy útoku, které vyžadují opatřit si chemické látky předem. Nicméně s určitými omezeními budou její výsledky uplatnitelné i na scénáře zahrnující statické průmyslové objekty.

2.6 Chemický průzkum a metody detekce chemických látek

Pro efektivní řešení situací s přítomností nebezpečných látek (nebo jen s podezřením na jejich přítomnost), je nezbytné provést chemický průzkum, který zajistí údaje o uniklé látce, jejím množství, naměřených koncentracích, jejím šíření a vytvoří podklady pro odhad dalšího vývoje. Na základě těchto dat je možné činit opatření za účelem minimalizace dopadu události, zejména na lidské zdraví a životy. Význam včasné a kvalitně provedeného průzkumu je klíčový zejména u BCHL, které jsou velice nebezpečné již od nízkých koncentrací a jejich detekce může proto být obtížná. V rámci chemického průzkumu se provádí: (25)

- Detekce, při které se zjišťuje, zdali je látka přítomna
- Charakterizace, která poskytuje bližší informace, zdali látka patří do určité skupiny látek
- Identifikace neboli přesné určení látky
- Stanovení, kdy se zjišťuje množství látky ve zkoumaném vzorku či prostředí

Metody detekce, na jejichž základě detekční přístroje pracují, lze rozdělit dle principu funkce na chemické, fyzikální a fyzikálně-chemické. Chemické metody

využívají chemické reakce, které se měřená látka účastní a obvykle způsobí barevnou změnu (typické například u detekčních trubiček a detekčních papírků). Fyzikální metody využívají fyzikální vlastnosti látky, například absorpci specifických vlnových délek v rámci různých spekter (nejčastěji UV a infračervené). Fyzikálně-chemické metody využívají chemických a fyzikálních vlastností látek, především v podobě reakce iontů dané látky na elektrické pole (např. hmotnostní spektrometrie, měření pohyblivosti iontů) nebo využití hořlavosti a katalytické oxidace vybraných látek, kdy se měří změna odporu čidla způsobená změnou teploty v důsledku přítomnosti testované látky. (25)

Detekční prostředky lze pak dělit na základě způsobu vyhodnocení výsledků. Pomyslnou základní úroveň detekčních prostředků tvoří tzv. jednoduché prostředky, které jsou ve většině případů založeny na změně barvy prostředku vlivem reakce detekované látky. Nejčastěji se jedná o detekční trubičky, které jsou tvořeny skleněnou trubicí s indikační náplní, které jsou před použitím na obou koncích odlomením otevřeny a následně je skrze ně nasáván vzduch. V případě, že vzduch obsahuje testovanou látku, dojde k reakci s indikační náplní (čínidlem naneseným na sorbentu) doprovázené barevnou změnou. Některé trubičky mají čínidla umístěna ve zvláštní skleněné ampulce uvnitř trubičky, kterou je nezbytné před vyhodnocením rozbít. Součástí detekčních sad s těmito trubičkami je nasávací zařízení, které skrze trubičky prosaje požadované množství vzduchu o správné rychlosti průtoku, přičemž toto zařízení může být jak ve formě jednoduchého balónku, tak i v podobě elektrického přístroje, který umožňuje testovat několik trubiček najednou, zahřívat je na provozní teplotu a vyhodnocovat i například vzorky zemin. Vyhodnocení trubiček (v závislosti na výrobcí a určení trubiček) je možné jak vizuálně, tak i pomocí přístrojů, které mají větší rozlišovací schopnosti jednotlivých barevných odstínů než člověk. Výhodou této metody je její jednoduchost, díky čemuž je vhodná pro jednoduchá, rychlá a orientační měření. (25)

Další kategorií detekčních prostředků jsou univerzální detektory, které využívají fyzikální a fyzikálně-chemické metody detekce. Mezi základní skupiny univerzálních detektorů patří především: katarometry, polovodičová metaloxová čidla, fotoionizační detektory a plamenoionizační detektor. Na rozdíl od jednoduchých prostředků poskytují tyto přístroje poměrně přesné údaje o přítomnosti látky v ovzduší, nicméně jejich použití je pro stanovení koncentrace problematické, protože tyto přístroje nejsou schopny rozlišit, jakou látku konkrétně měří a výsledek může být kombinací různých látek, ať už nebezpečných či nikoliv. Stanovení těmito detektory je tak omezeno na situaci, kdy můžeme bezpečně předpokládat, že zkoumaná látka významně převažuje. (25)

V rámci mobilních přístrojů patří mezi nejschopnější detektory tzv. analyzátoři. Vůči předchozím přístrojům umožňují sledovat koncentraci vybrané látky i v případě, že se v prostředí nacházejí látky další. Zařízení se dělí na dvě kategorie, na analyzátoři selektivní a multikomponentní. Selektivní přístroje pracují nejčastěji na principu elektrochemických čidel, polovodičových čidel, infračervených a UV analyzátorů, optoelektronických a fotoakustických analyzátorů a jsou kalibrovány pouze na jednu či několik vybraných látek. Takové přístroje mají využití zejména v průmyslu, kde lze přítomnost některých látek předpokládat a schopnost detekce a identifikace neznámé látky nemá takový význam. Multikomponentní analyzátoři kombinují několik detekčních metod, což jim dává schopnost nejen stanovit koncentraci látek v prostředí, ale i jednotlivé látky identifikovat. Mezi nejčastěji používané detekční metody patří především spektrometrie pohyblivosti iontů, analyzátor na principu detekčního pole, plynová chromatografie a infračervené plynové analyzátoři. Výhodou těchto zařízení jsou přesné a rychle získané údaje, nicméně většímu rozšíření brání jednak jejich velká cena a dále pak složitost zařízení a relativní složitost obsluhy (v porovnání s jednoduššími prostředky). (25)

Poslední kategorií přenosných detekčních prostředků jsou přenosné chemické laboratoře, které nejčastěji mají podobu kufru obsahujícího nástroje,

nádoby a chemické látky. Složení výbavy těchto laboratoří se přímo odvíjí od požadovaných schopností a úkolů, které má plnit. Z toho plyne jedna z jejich předností, kterou je značná míra přizpůsobitelnosti. Zároveň stabilnější prostředí laboratoře (buď mobilní) umožňuje větší přesnost u některých chemických metod, než jaké dosahují standardní jednoduché prostředky. Na druhou stranu nevýhodou vůči předchozím prostředkům je časová náročnost použití a nemožnost použití během pohybu. Vyšší stupeň pak tvoří mobilní laboratoře v podobě kontejneru, přívěsu či nástavby, čímž je umožněno využití větších a náročnějších přístrojů a technik. Nicméně zde už se naráží na problém, jestli není někdy jednodušší v takovém případě přepravit vzorek do stacionární laboratoře než dopravovat laboratoř k místu zásahu. (25)

2.7 International Task Force-25 (ITF-25)

V souvislosti s událostmi z války v Bosně byla vytvořena mezinárodní skupina spojující odborníky Spojených států, Kanady a Spojeného království, jejímž cílem bylo zhodnocení hrozby, jakou představují toxické průmyslové látky v řadě situací, zejména v kontextu války, ozbrojených konfliktů a mírových misí. Vzhledem k velkému množství toxických látek používaných v průmyslu a jejich častému výskytu bylo shledáno jako velmi pravděpodobné, že se jednotky CANUKUS (označení používané v závěrečné zprávě pro země skupiny ITF-25) setkají s těmito látkami, ať už v rámci úmyslného použití či nehody. (26)

Způsob a výsledky zkoumání TPL (v ITF-25 pod zkratkou TIC) je podrobněji rozebráno v kapitole 4.2.1 *Metoda hodnocení podle ITF-25*. Dalším zájmem zkoumání ITF-25 byl Hazard Management (v kontextu TPL), kdy se zkoumala efektivnost vybavení, prostředků a postupů při potýkání se s touto hrozbou. Bylo shledáno, že běžně používané ochranné prostředky jsou nedostatečné vůči látkám a koncentracím, které lze očekávat v blízkosti havárie stacionárního zařízení (např. zásobník zkapalněného plynu). Vzhledem k tomu, že i průmyslové filtry pro ochranné masky poskytují ochranu jen proti nízkým koncentracím TPL, je jediným

spolehlivým řešením pro tyto situace použití dýchacích přístrojů, což je ovšem nemožné v masovém měřítku (ve smyslu jako standardní výstroje jednotek). Jako problematická se rovněž ukázala detekce některých TPL, která je možná za pomoci specializovaných chemických jednotek disponujících použitelnými analyzátory (zejména na principu hmotnostní spektrometrie a plynové chromatografie) nebo za pomoci komerčně dostupných průmyslových detekčních systémů. (26)

Na základě výsledků zkoumání skupiny ITF-25 mezi hlavní doporučení a závěry patří (26):

- Zjištění odolnosti dýchacích ochranných prostředků vůči vybraným TPL z kategorie „High“ (podle Hazard Index)
- Zjištění, které zavedené detekční prostředky lze upravit pro detekci TPL z kategorie „High“
- Zavedené prostředky by měly být použité pouze pro evakuaci prostoru zasaženého TPL, protože nebyly navrženy a testovány proti vysoké koncentraci těchto látek
- Memorandum o porozumění s asociací chemických výrobců (Chemical Manufacturers Association), na jehož základě je zajištěna nepřetržitá informační podpora pro nouzové situace
- Nezbytnost vzdělávání velitelů a vojáků o hrozbách TPL a vytvoření potřebných příruček a manuálů

3 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY

Hlavním cílem této práce je přispět k řešení problematiky potenciálního zneužití toxických průmyslových chemických látek, zejména pro účely chemického terorismu. Existuje mnoho průmyslových látek, které mají řadu vlastností umožňujících jejich zneužití jako chemických zbraní, a přitom může být jednodušší si je opatřit než skutečnou konvenční bojovou chemickou látku.

Jedním z hlavních problémů v rámci tohoto tématu je skutečnost, že v průmyslu používaných látek je značné množství (zejména ve srovnání s BCHL) a jen u malé části registrovaných chemických látek byly blíže zkoumány jejich toxické účinky. Tento nepoměr dokládá počet látek v CAS registru (přibližně 149 miliónů látek) a počet látek registrovaných v rámci REACH (22 tisíc látek). (27) (28) Samozřejmě tento nepoměr je do jisté míry přirozený a vyplývá z komerčního využívání jednotlivých látek, přičemž logicky největší prioritu pro hodnocení mají látky s vyšší produkcí. Dále vzniká problém s detekcí, kdy kvůli samotnému množství průmyslových látek jsou možnosti detekce omezené pouze na ty nejběžnější nebezpečné látky.

V rámci praktické části proto bude navržen možný postup, jak hodnotit potenciální zneužitelnost chemické látky na základě vybraných kritérií a následně bude provedeno experimentální ověření možností detekce pomocí běžných detekčních prostředků, které jsou ve výbavě jednotek, které by případně mohly reagovat na chemický terorismus s použitím látek tohoto typu. Jde tedy o návrh řešení problematiky zneužitelnosti TPL, kdy nejprve budou pomocí metody pro hodnocení zneužitelnosti průmyslových chemických látek jednotlivé látky ohodnoceny a vybrané látky (představující potenciální hrozbu) budou dále testovány s cílem zjistit, zdali jsou zasahující jednotky schopny je detekovat. Jinými slovy jde tedy o hledání potenciálních hrozeb a ověřování vlastní připravenosti na ně, respektive schopnosti reagovat na ně a potýkat se s nimi.

Hlavním cílem experimentálního ověření je získání poznatku, zda je možné vybranými detekčními trubičkami detekovat vybrané chemické látky, i když k tomu tyto trubičky nejsou určeny. Tedy předmětem zkoumání je, zdali látka vyvolá na některé z trubiček falešně pozitivní výsledek. Falešně pozitivní výsledek na několika různých typech trubiček může být využit jako improvizované řešení pro detekci některých látek za pomoci jednoduchých detekčních prostředků v případě, že není k dispozici detekční prostředek specifický pro danou látku.

Hypotéza č. 1: *Hydrazin způsobí na vybraných detekčních trubičkách falešně pozitivní či jinou nestandardní reakci.*

Hypotéza č. 2: *Sírouhlík způsobí na vybraných detekčních trubičkách falešně pozitivní či jinou nestandardní reakci.*

Hypotéza č. 3: *2-(butylamino)ethanthiol způsobí na vybraných detekčních trubičkách falešně pozitivní či jinou nestandardní reakci.*

Hypotéza č. 4: *Vybrané chemické látky způsobí falešně pozitivní či jinou nestandardní reakci na detekční papírkách typu PP-3.*

Hlavním cílem metody pro hodnocení zneužitelnosti chemických látek je vytvořit nástroj pro předběžné hodnocení látek a poskytnout základ pro jejich prioritizaci pro další podrobnější výzkum.

4 METODIKA

V rámci kapitoly 5.1 *Experimentální ověření možností detekce vybraných toxických látek* bylo provedeno ověření možností metodou experimentu, kdy byly testovány vybrané látky a vybrané detekční prostředky. Smyslem tohoto experimentu bylo zjistit, zdali je možné tyto látky detekovat za pomoci falešně pozitivní či nestandardní reakce různých trubiček, které přitom ale nejsou k detekci této látky určeny.

V druhé části kapitole 5.2 *Metoda pro hodnocení zneužitelnosti TPL z hlediska chemického terorismu* byla vytvořena metoda pro hodnocení TPL z hlediska potenciálního zneužití jako chemické zbraně pro terorismus. Tato metoda je analogií obdobné metody, kterou využila pracovní skupina NATO ITF-25, a tedy z ní přímo vychází a aktualizuje kritéria hodnocení, aby byla relevantní pro potenciální teroristické zneužití. Smyslem této metody je vytvořit nástroj na rychlé předběžné hodnocení látek, který lze bez větších úprav uplatnit i v podmínkách jiného státu.

4.1 Experimentální ověření možností detekce vybraných látek

Chemické látky podrobené experimentům v kapitole 5.1 *Experimentální ověření možností detekce vybraných toxických látek* byly vybrány na základě několika kritérií. Základním kritériem bylo, aby se jednalo o látku, která má potenciál být zneužita jako chemická zbraň, případně se jedná o látku chemicky blízkou látce s takovým potenciálem. Pro předběžný výběr byl použit seznam látek s vysokým indexem nebezpečnosti na základě zkoumání skupiny ITF-25 a také výsledky z databáze nebezpečných látek WebWISER (služba zajištěná Národní knihovnou medicíny Spojených států, US. National Library of Medicine, dostupná na adrese <https://wiser.nlm.nih.gov/>) s důrazem na toxické vlastnosti a vlastností ovlivňující šíření látky v prostředí. Dalším kritériem, které zúžilo výběr látek, byla bezpečnostní omezení, která neumožňovala testovat vysoce těkavé a toxické látky v laboratoři společnosti Oritest, která byla pro experimenty poskytnuta. Proto byly vybrány

kapalné látky s nižší těkavostí, případně látky o nižší koncentraci. Třetím kritériem byl vzájemný přínos jak pro tuto práci, tak i pro společnost Oritest. Výsledky provedených experimentů ověřily i selektivnost jejich detekčních trubiček. Na základě těchto kritérií byly vybrány následující látky:

- 1M roztok hydrazinu v tetrahydrofuranu (Sigma-Aldrich)
- Sirouhlík (99,9%, Sigma-Aldrich)
- 2-(Butylamino)ethanthiol (97%, Sigma-Aldrich)

4.1.1 Podmínky a průběh experimentu

Jako detekční prostředek byly pro účely experimentu vybrány detekční trubičky ze sortimentu společnosti Oritest, určené k detekci bojových chemických látek a toxických průmyslových látek. Jako nasávací zařízení k trubičkám bylo použito zařízení Universal 86, které na jeden zdvih nasaje 100 ± 5 ml vzduchu. Nasávací zařízení je na obrázku níže (Obrázek 2), spolu se zařízením na přípravu trubiček. Při použití detekčních trubiček byly dodrženy postupy stanovené výrobcem v návodu.



Obrázek 2 Vpravo nasávací zařízení Universal 86, vlevo balení roztoku 1M hydrazinu v tetrahydrofuranu, vzadu zařízení sloužící k přípravě trubiček (na odlamování konců trubiček a rozbíjení ampulek s činidly) (zdroj: autor)

Jednotlivé typy trubiček byly nejprve testovány v prostředí nasycených par vyskytujících se nad hladinou kapaliny v originálním balení, tedy v prostředí, které

má teoreticky nejvyšší možnou koncentraci za daných podmínek. Trubičky, které projevily reakci na danou látku, byly následně testovány na nižší koncentrace látky. V případě sirouhlíku se jednalo o koncentrace 100mg/m³ a 10 mg/m³, v případě 2-(butylamino)ethanthiolu 200 mg/m³ a 100 mg/m³. Pro srovnání byly provedeny pokusy na detekčních papírkách PP-3 s použitím sirouhlíku, ethanolu a 2-(butylamino)ethanthiolu.

Při vyhodnocení výsledků byl kontrolován nejen správný výsledek podle návodu, ale i případné jiné nestandardní výsledky, např. jiné zbarvení. Vyhodnocení probíhalo vizuálně (pouhým okem), dokumentační fotografie byly pořízeny digitálním fotoaparátem za přirozeného osvětlení.

4.1.2 Použité detekční prostředky

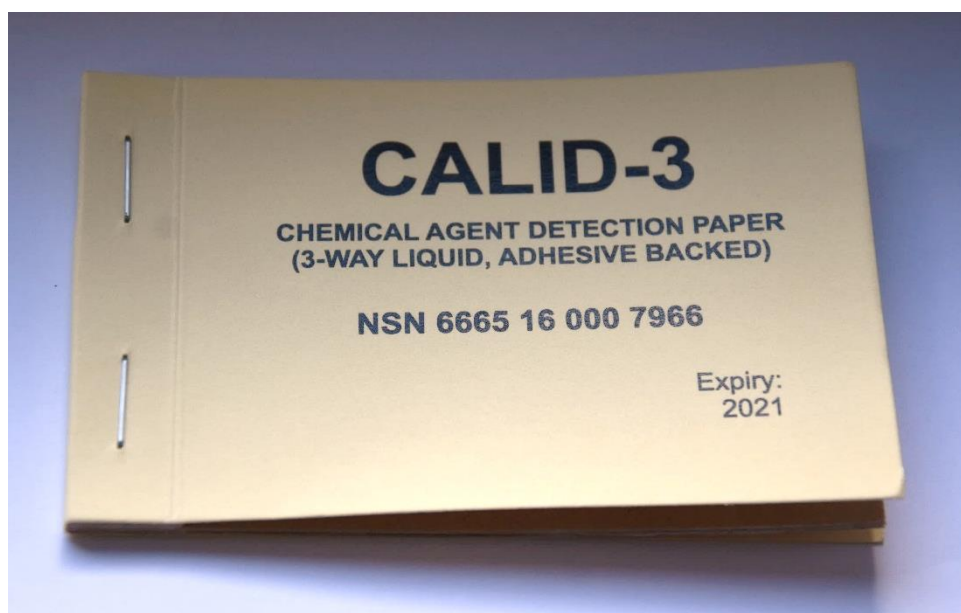
V níže uvedené tabulce 1 jsou popsány trubičky použité k testům. Bližší významy zkratk u detekovaných látek jsou uvedeny v seznamu zkratk.

Tabulka 1 Použité detekční trubičky z výroby společnosti Oritest (Praha), jejich označení a vlastnosti (29)

Typ	Detekovaná látka	Princip reakce, činidla	Značení	Citlivost (mg/m ³)
DT-003	Cl ₂	Bromid draselný, fluorescein	DT-003 Cl ₂	3
DT-005	SO ₂	Ellmanovo činidlo	DT-005 SO ₂	5
DT-006	H ₂ S	Octan mědnatý	DT-006 H ₂ S	10
DT-007	CS ₂	Octan mědnatý, piperazin	DT-007 CS ₂	10
DT-008	NH ₃	Bromokresolová zeleň	DT-008 NH ₃	20
DT-005X	SO ₂ , H ₂ S, CS ₂	Octan mědnatý, Ellmanovo činidlo	DT-005X S	5-10
DT-12	CG, DP, CK, AC	4-(p-nitrobenzyl)pyridin 4-benzylpyridin, dimedon, Kyselina pikrová	2 zelené pruhy	5
DT-13.1	HD, HN	4-(p-nitrobenzyl)pyridin	1 žlutý pruh	1
DT15	HD	Mg ²⁺ , ethyl-Michlerův keton	2 žluté pruhy	3
DT16	HN	Dragendorffovo činidlo	3 žluté pruhy	1

K ověření detekce byly rovněž použity detekční papírky PP-3 od společnosti Oritest, konkrétně v jejich exportní verzi (Obrázek 3) s návodem v anglickém jazyce. Tyto papírky jsou určeny pro detekci BCHL, konkrétně nervově paralytických látek

kategorie G (např. sarin) a kategorie V (např. VX) a zpuchýřujících látek (H, yperit). Tyto papírky jsou navrženy jako nalepovací, což umožňuje je přilepit na výstroj či techniku a tvoří tak jednoduchý a levný způsob pro první varování výskytu BChL. Detekce je možná pouze pro látky v kapalně podobě. (30)



Obrázek 3 Detekční papírky PP-3 ve verzi pro export vyrobené společností Oritest (zdroj: autor)

4.2 Vytvoření metody pro analýzu a hodnocení chemických látek

Smyslem této nové metody je reagovat na stále rychleji se rozrůstající nabídku chemikálií a poskytnout nástroj pro jejich předběžnou analýzu a hodnocení na základě nejdostupnějších údajů, které jsou uvedeny v bezpečnostních listech a online databázích (např. chemspider.com nebo toxnet.nlm.nih.gov). Za tímto účelem bude metoda koncipovaná do zdrojové robustnosti, aby si byla schopná v rámci určitých mezí poradit s neúplnými údaji, kdy některý klíčový údaj nebude dostatečně přesný, bude chybět úplně nebo bude nevhodně vyjádřen. Tento problém se projevil při zpracování praktické části, kdy v bezpečnostních listech některých testovaných látek chyběly údaje o podstatných vlastnostech, například tlaku par nebo bodu varu. Vzhledem k tomu, že jde o nástroj pro předběžnou analýzu, na jejímž základě bude prováděn další výzkum (přesnější a podrobnější), je důležitější

mít relativně přesný výsledek, než nemalou část látek ze zkoumání vyřadit z důvodu nekompletních dat. Hlavním předpokládaným zdrojem dat pro tuto metodu jsou bezpečnostní listy sledovaných látek a případně i on-line chemické databáze (například chemspider.com, toxnet.nlm.nih.gov/ apod.)

Jako hlavní inspirace pro tvorbu metody slouží metoda použitá v rámci ITF-25 pro stanovení Hazard Indexu. Vzhledem k tomu, že metoda vytvořená při řešení diplomové práce na tuto metodu navazuje a používá její princip (a některá kritéria a parametry), je její fungování vysvětleno v následující podkapitole.

4.2.1 Metoda hodnocení podle ITF-25

V rámci zkoumání TPL byla vytvořena dvě základní kritéria pro jejich definování, a to jako látky s LC_{t50} menší než $100\,000\text{ mg}\cdot\text{min}/\text{m}^3$ a roční produkcí přes třicet tun v jednom zařízení. Kritérium toxicity splnilo 1164 látek, přičemž do užšího výběru byly zařazeny látky plynné nebo se znatelným tlakem par při $20\text{ }^\circ\text{C}$, případně byly uvedeny v příručce ministerstva dopravy Spojených států pro řešení nouzových situací (U.S. Department of Transportation Emergency Response Guide). Uplatněním kritéria produkce se celkový počet látek snížil na 98. Pro zhodnocení těchto látek byl vytvořen Hazard Index (index nebezpečnosti, dále uváděno jako HI), jehož výpočet je vysvětlen níže. (26)

Tabulka 2 Tabulka ze závěrečné zprávy ITF-25 s kritérii a parametry pro hodnocení HI TPL (26)

**TABLE 2:
HAZARD INDEX PARAMETERS**

Distribution**		No. of Producers (NP)		Toxicity (IDLH in ppm)		State (VP in torr)	
Continents ≥ 5	5	$NP \geq 100$	5	$IDLH < 1$	5	Gas	5
Continents = 4	4	$50 \leq NP \leq 99$	4	$1 \leq IDLH \leq 10$	4	Liquid: $VP \leq 400$	4
Continents = 3	3	$25 \leq NP \leq 49$	3	$11 \leq IDLH \leq 100$	3	Liquid: $100 \leq VP < 400$	3
Continents = 2	2	$5 \leq NP \leq 24$	2	$101 \leq IDLH \leq 500$	2	Liquid: $10 \leq VP < 100$	2
Continents = 1	1	$NP < 5$	1	$IDLH > 500$	1	Liquid: $vp < 10$	1

** number of continents on which production occurs

Samotné hodnocení proběhlo tak, že každá zkoumaná látka byla ohodnocena v rámci každé kategorie uvedené v tabulce výše (Tabulka 2) a čísla byla následně dosazena do vzorce uvedeného níže.

$$HI = f(\text{toxicity}) \times (\text{state}) \times (\text{distribution}) \times (\text{producers})$$

Teoretická maximální hodnota HI je 5^4 , tedy 625. Na základě HI byly látky rozděleny do tří kategorií podle nebezpečnosti (26):

- High Hazard – naznačuje toxickou průmyslovou látku, která je vyráběna, skladována a přepravována ve velkých množstvích, je vysoce toxická a snadno se vypařuje
- Medium Hazard – naznačuje látku, která má vysoké hodnocení v některých parametrech, ale nízké v jiných
- Low Hazard – celkové nízké hodnocení naznačuje, že látka této kategorie nebude pravděpodobně představovat hrozbu, pokud tomu nebude naopak vlivem specifických operačních faktorů

Látky s HI 81 a vyšší byly klasifikovány jako látky kategorie nebezpečnosti „High“ a celkem se jednalo o 21 látek. Látky s HI mezi 80 a 36 získaly hodnocení „Medium“ a celkem jich bylo 41. Látky s HI pod 36 spadají do kategorie „Low“ (celkem 36 látek). (26) Kompletní seznam látek se nachází v Seznamu příloh.

5 VÝSLEDKY

V praktické části bude navržen možný přístup k problematice zneužití TPL k páchání chemického terorismu, konkrétně v podobě vytvoření metody pro hodnocení zneužitelnosti TPL z hlediska chemického terorismu a provedení experimentálního ověření možností detekce vybraných látek. Dále v podkapitole 5.3 *Potenciálně zneužitelné látky – vzorové hodnocení vybraných látek* jsou zmíněny některé chemické látky, u kterých potenciálně hrozí jejich zneužití pro chemický terorismus a byly proto hodnoceny novou metodou, vytvořenou při řešení diplomové práce. Další potenciálně zneužitelné látky jsou uvedeny v Seznamu Příloh ve formě tabulky (Příloha 1) obsahující hodnocení látek podle ITF-25.

5.1 Experimentální ověření možností detekce vybraných toxických látek

K nasávání vzduchu bylo použito zařízení Universal 86 (zdvih 100 ml, s odchylkou +5 ml), přičemž byl jím skrze detekční trubičky nasán objem vzduchu stanovený v návodu jednotlivých typů trubiček. Teplota pracovního prostředí, použitých látek i detekčních trubiček odpovídala laboratorní teplotě.

5.1.1 Detekce hydrazinu

Cílem pokusů bylo ověřit selektivitu použitých trubiček vůči hydrazinu, případně zjistit, jestli není možná detekce hydrazinu na základě falešně pozitivních výsledků či nestandardních reakcí použitých detekčních trubiček.

Stručná charakteristika hydrazinu a tetrahydrofuranu

Hydrazin je bezbarvá dýmavá kapalina se zápachem podobným amoniaku. Do organismu mu jako brána vstupu slouží dýchací cesty, sliznice i kůže. V kapalné podobě má žíravé účinky a je tedy schopen poleptat kůži a sliznice. Při otravě může dojít k poškození plic, jater, ledvin a centrální nervové soustavy. Je vysoce hořlavý, používá se jako raketové palivo, které společně s oxidem dusičitým tvoří tzv.

hypergolickou směs (kombinace okysličovadla a paliva se samovolně zapálí). Hydrazin má karcinogenní účinky. (31) (32) (33)

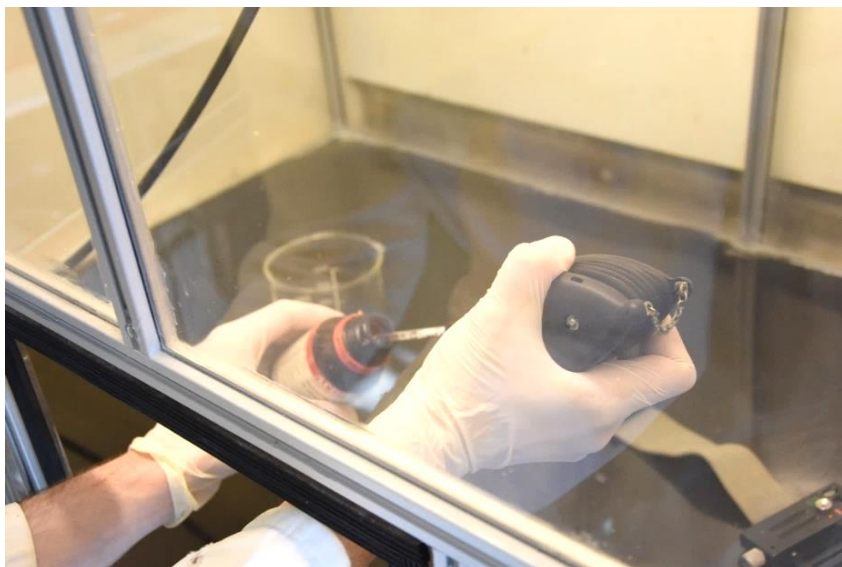
V tabulce níže (Tabulka 3) jsou uvedeny vlastnosti hydrazinu i rozpouštědla tetrahydrofuranu, ve kterém byl testovaný hydrazin rozpuštěn.

Tabulka 3 Důležité vlastnosti hydrazinu a tetrahydrofuranu (31) (32) (33) (34) (35)

	Hydrazin	Tetrahydrofuran
Molární hmotnost	32,045 g/mol	72,11 g/mol
Bod tání	1,4 °C	-108,4 °C
Bod varu	113 °C	66 °C
Bod vzplanutí	52 °C	-14,4 °C
Tenze par	1 kPa (30 °C)	17,6 kPa (20 °C)
Meze výbušnosti	2,9 % až 98 % (obj.)	1,8 % až 11,8 % (obj.)
Hustota	1.011 g/ml (20 °C)	0,88926 g/ml (25 °C)
IDLH	50 ppm (= 65,5 mg/m ³)	2000 ppm (= 5900 mg/m ³)
NPK-P	0,1 mg/m ³	300 mg/m ³

Podmínky experimentu, pracovní postup a použité chemikálie

Pro realizaci ověření selektivity a potenciální detekce byl použit roztok 1M hydrazinu v tetrahydrofuranu (Sigma-Aldrich, USA). První fází experimentu bylo prvotním ověření, zdali vybrané detekční trubičky vůbec reagují na hydrazin v prostředí par uvnitř lahvičky originálního balení, kde se nacházela nejvyšší koncentrace za daných okolností. Tento postup je zachycen na obrázku 4. V případě pozitivní reakce bylo zamýšleno dané trubičky dále testovat s cílem ověřit možnosti detekce při různých koncentracích, nicméně vzhledem k dosaženým výsledkům již nebyl hydrazin dále testován.



Obrázek 4 Testování detekční trubičky vůči parám hydrazinu (zdroj: autor)

Testování detekčních trubiček DT-003 na páry hydrazinu

Trubička DT-003 (určená k detekci chlóru) byla po otevření nasazena do zařízení Universal 86, se kterým bylo následně provedeno 10 zdvihů (to je 1 litr vzduchu s párami hydrazinu).

Po porovnání s etalonem nebyla zjištěna změna zabarvení, a tudíž byl výsledek vyhodnocen jako **negativní**. V případě pozitivní reakce by žlutá indikační vrstva změnila barvu na červenou (platí pro detekci chlóru).

Testování detekčních trubiček DT-13.1 na páry hydrazinu

Trubička DT-13.1 (určená k detekci sirného a dusíkatého yperitu, mez detekce 1 mg/m³) byla po otevření nasazena do zařízení Universal 86, se kterým bylo provedeno 30 zdvihů (ekvivalent objemu 3 l) a byl tak přes trubičku nasát vzduch s parami hydrazinu. Poté byla uvnitř trubičky rozbita ampulka a detekční roztok byl setřepán na indikační vrstvu. Nakonec bylo provedeno porovnání s etalonem.



Obrázek 5 DT-13.1: nahoře nepoužitá trubička, dole negativní výsledek na hydrazin (zdroj: autor)

Po porovnání s etalonem nebyla na indikační vrstvě (Obrázek 5) zjištěna změna zbarvení způsobená chemickou reakcí, a tudíž byl výsledek vyhodnocen jako **negativní**. Mírná změna zbarvení je způsobena vsáknutím činidla do indikační vrstvy, nikoliv tedy chemickou reakcí. Pokud by výsledek byl pozitivní, došlo by ke vzniku modrého zbarvení (platí pro yperit).

Testování detekčních trubiček DT-16 na páry hydrazinu

Trubička DT-16 (určená k detekci dusíkatého yperitu, mez detekce 1 mg/m³ pro HN-3) byla po otevření nasazena do zařízení Universal 86, se kterým bylo provedeno 30 zdvihů (ekvivalent objemu 3 l) a byl tak přes trubičku nasát vzduch s parami hydrazinu. Následně byla uvnitř trubičky rozbita ampulka a detekční roztok byl setřepán na indikační vrstvu. Následně bylo provedeno porovnání s etalonem.



Obrázek 6 DT-16: nahoře nepoužitá trubička, dole negativní trubička vystavení hydrazinu vpravo (zdroj: autor)

Po porovnání s etalonem nebyla na použité trubičce (viz Obrázek 6) zjištěna změna zbarvení značící proběhlou reakci, a tudíž byl výsledek vyhodnocen jako **negativní**. Změna zbarvení do žluta je způsobena vsáknutím činidla z ampulky do indikační vrstvy, nikoliv chemickou reakcí. Pokud by výsledek byl pozitivní, došlo by ke zbarvení indikační vrstvy ze žluté do oranžova (platí pro dusíkatý yperit). Pro srovnání byla pořízena tzv. slepá trubička (viz Obrázek 7), kterou byl nasátý nekontaminovaný vzduch a je na ni patrné, že na trubičce testované na hydrazin skutečně nedošlo k reakci.



Obrázek 7 DT-16: nahoře negativní trubička na hydrazin, dole tzv. slepá trubička (zdroj: autor)

Testování detekčních trubiček DT-005 na páry hydrazinu

Trubička DT-005 (určená k detekci oxidu siřičitého, mez detekce 5 mg/m^3) byla po otevření nasazena do zařízení Universal 86, se kterým bylo následně provedeno 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu) a byl tak přes trubičku nasát vzduch s párami hydrazinu. Po prosátí vzduchu bylo provedeno porovnání s etalonem.

Po porovnání s etalonem nebyla zjištěna změna zbarvení, a tudíž byl výsledek vyhodnocen jako **negativní**. Pozitivní výsledek by se projevoval zbarvením z bílé do žluta (platí pro oxid siřičitý).

Testování detekčních trubiček DT-006 na páry hydrazinu

Trubička DT-006 (určená k detekci sulfanu, mez detekce 5 mg/m^3) byla po otevření nasazena do zařízení Universal 86, se kterým bylo následně provedeno 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu) a byl tak přes trubičku nasát vzduch s párami hydrazinu. Po prosátí vzduchu bylo provedeno porovnání s etalonem.

Po porovnání s etalonem bylo potvrzeno, že nedošlo ke změně barvy a výsledek byl vyhodnocen jako **negativní**. O pozitivní výsledek by se jednalo, pokud by se indikační vrstva zbarvila z modré do hněda (platí pro sulfan).

Testování detekčních trubiček DT-15 na páry hydrazinu

Trubička DT-15 (určená k detekci sirného yperitu, mez detekce 3 mg/m^3) byla po otevření nasazena do zařízení Universal 86, se kterým bylo následně provedeno

30 zdvihů (ekvivalent objemu 3 l vzduchu) a byl tak přes trubičku nasát vzduch s párami hydrazinu. Po prosátí vzduchu bylo provedeno porovnání s etalonem.

Po porovnání s etalonem bylo potvrzeno, že nedošlo ke změně zbarvení a výsledek byl vyhodnocen jako **negativní**. O pozitivní výsledek by se jednalo, pokud by se indikační vrstva zbarvila ze žluté do oranžové až červené (platí pro sirný yperit).

Testování detekčních trubiček DT-005X na páry hydrazinu

Trubička DT-005X je kombinovaná trubička určená k detekci sirných sloučenin (sulfan, oxid siřičitý a sirouhlík), přičemž mez detekce činí 10 mg/m³ pro H₂S a CS₂ a 5 mg/m³ pro SO₂. Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86, se kterým bylo následně provedeno 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu) a byl tak přes trubičku nasát vzduch s párami hydrazinu. Poté byla uvnitř trubičky rozbita ampulka a detekční roztok byl setřepán na indikační vrstvu. Nakonec bylo provedeno porovnání s etalony pro obě vrstvy.

Po porovnání s etalony pro obě indikační vrstvy bylo potvrzeno, že nedošlo ke změně zbarvení, a tudíž výsledek je **negativní**. O pozitivní výsledek by se jednalo, pokud by se modrá vrstva zbarvila do hnědé až černé (platí pro sulfan) nebo bílá vrstva do žluté (platí pro oxid siřičitý), oranžové anebo až do červené (pro sirné látky obecně).

Souhrnné výsledky testování hydrazinu

Vzhledem k negativním výsledkům všech použitých trubiček na páry hydrazinu se již dále nepokračovalo v plánovaném testování různých koncentrací. Souhrnné výsledky uvádí tabulka 4.

Tabulka 4 Souhrnné výsledky testování nasycených par hydrazinu

Typ trubičky	Určení	Reakce na páry hydrazinu
DT-003	Cl ₂	Negativní
DT-13.1	Sírný a dusíkatý yperit	Negativní
DT-16	Dusíkatý yperit	Negativní
DT-005	SO ₂	Negativní
DT-006	H ₂ S	Negativní
DT-15	Sírný yperit	Negativní
DT-005X	H ₂ S, CS ₂ , SO ₂	Negativní

5.1.2 Detekce sirouhlíku

Cílem následujících pokusů bylo jednak ověřit selektivitu použitých trubiček vůči hydrazinu a případně zjistit, jestli není možná detekce sirouhlíku na základě falešně pozitivních výsledků či nestandardních reakcí použitých detekčních trubiček.

Stručná charakteristika sirouhlíku

Sirouhlík je bezbarvá až lehce nažloutlá kapalina se slabým nasládlým pachem, podobající se éteru. Jedním z jeho hlavních použití je výroba celofánu. Jedná se o látku vysoce toxickou, schopnou způsobit jak akutní, tak chronickou otravu. Má narkotický účinek, dráždí kůži a sliznice (v kapalné podobě může i leptat) a může způsobovat poruchy centrální nervové soustavy. Kromě vdechování par je možné tuto látku vstřebat i kůží. Silně hořlavá látka, vytváří výbušné koncentrace, nebezpečí vznícení za běžných teplot. Důležité vlastnosti sirouhlíku jsou uvedeny v tabulce 5. (36) (37) (19)

Tabulka 5 Důležité vlastnosti sirouhlíku (37) (38)

	Sirouhlík (CS₂)
Molární hmotnost	76,14 g/mol
Bod tání	-112 °C
Bod varu	46 °C
Bod vzplanutí	-30 °C
Tenze par	40 kPa (20 °C)
Meze výbušnosti	1 % až 60 % (obj.)
Hustota	1,266 g/ml (25 °C)
IDLH	500 ppm (= 1557 mg/m ³)
NPK-P	20 mg/m ³

Pracovní postup a použité chemikálie

Pro realizaci ověření selektivity trubiček a potenciální detekce byl použit sirouhlík o čistotě 99,9 % (Sigma-Aldrich, USA). Prvotní fází experimentu bylo ověření, zdali vybrané detekční trubičky vůbec reagují na sirouhlík v prostředí nasycených par uvnitř lahvičky originálního balení. Pozitivně reagující typy detekčních trubiček byly dále testovány na koncentrace 100 mg/m³ a případně i 10 mg/m³.

Pro bezpečné vytvoření obou testovaných koncentrací sirouhlíku byla použita zkušební komora o objemu 0,5 m³, do které byl sirouhlík dávkován na hodinové sklíčko umístěné v komoře a odpařen. Pro koncentraci 100 mg/m³ bylo dávkováno 40 µl sirouhlíku, pro koncentraci 10 mg/m³ byl použit roztok sirouhlíku. Tento roztok byl připraven smícháním 1 ml sirouhlíku s 9 ml toluenu (99,9%, Sigma-Aldrich), přičemž do komory bylo dávkováno 40 µl. Cirkulace vzduchu uvnitř komory byla zajištěna ventilátorem.

Testování trubiček DT-007 na nasycené páry sirouhlíku

Trubička typu DT-007 je určena přímo pro detekci sirouhlíku a v tomto případě jde tedy spíše o demonstraci výrazného pozitivního výsledku. Mez detekce

pro sirouhlík je 20 mg/m^3 . Po otevření byla trubička zasunuta do nasávacího zařízení Universal 86 a odebrány nasycené páry sirouhlíku z lahvičky. Bylo provedeno 10 zdvihů (ekvivalentní objem je 1 l vzduchu), přičemž již při polovině prvního zdvihu došlo k výraznému zbarvení do hněda (Obrázek 8).



Obrázek 8 DT-007: nahoře nepoužitá trubička, dole pozitivní trubička exponovaná nasyceným parám sirouhlíku (zdroj: autor)

Z výsledků je zcela jasná **pozitivní** reakce, která je vlivem vysoké koncentrace tmavší, než předpokládá návod (popisuje pozitivní výsledek jako žlutou až hnědou).

Testování trubiček DT-005X na nasycené páry sirouhlíku

Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86 a provedením 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu) byly přes trubičku nasáty nasycené páry sirouhlíku. Následně byla uvnitř trubičky rozbita ampulka a roztok činidla byl setřepán na indikační vrstvu. Nakonec bylo provedeno porovnání s etalony pro obě vrstvy.



Obrázek 9 DT-005X: nahoře nepoužitá trubička, uprostřed použitá tzv. slepá (nevystavená testované látce) a dole pozitivní trubička vystavená sirouhlíku (zdroj: autor)

Po porovnání s etalony pro obě indikační vrstvy bylo potvrzeno, že na bílé vrstvě došlo u trubičky testované na sirouhlík (Obrázek 9) ke změně barvy do tmavě oranžové, téměř až hnědé, a tudíž **pozitivnímu výsledku**. Modrá indikační vrstva zůstala beze změny.

Testování detekčních trubiček DT-005 na nasycené páry sirouhlíku

Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86 a provedením 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu) byly přes trubičku nasáty nasycené páry sirouhlíku. Po prosátí vzduchu bylo provedeno porovnání s etalonem.

Po porovnání s etalonem nebyla zjištěna změna zbarvení, a tudíž byl výsledek vyhodnocen jako **negativní**. Pozitivní výsledek by se projevoval zbarvením z bílé do žluta (platí pro oxid siřičitý).

Testování trubiček DT-003 na nasycené páry sirouhlíku

Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86 a provedením 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu) byly přes trubičku nasáty nasycené páry sirouhlíku. Po prosátí vzduchu bylo provedeno porovnání s etalonem.

Po porovnání s etalonem nebyla zjištěna změna zbarvení, a tudíž byl výsledek vyhodnocen jako **negativní**. V případě pozitivní reakce by žlutá indikační vrstva změnila barvu na červenou (platí pro chlór).

Testování trubiček DT-006 na nasycené páry sirouhlíku

Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86 a provedením 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu) byly přes trubičku nasáty nasycené páry sirouhlíku. Po prosátí vzduchu bylo provedeno porovnání s etalonem.

Po porovnání s etalonem bylo potvrzeno, že nedošlo ke změně barvy a výsledek byl vyhodnocen jako **negativní**. O pozitivní výsledek by se jednalo, pokud by se indikační vrstva zbarvila z modré do hněda (platí pro sulfan).

Testování trubiček DT-13.1 na nasycené páry sirouhlíku

Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86 a provedením 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu) byly přes trubičku nasáty nasycené páry sirouhlíku. Následně byla uvnitř trubičky rozbita ampulka a roztok činidla byl setřepán na indikační vrstvu. Nakonec bylo provedeno porovnání s etalonem.



Obrázek 10 DT-13.1 nahoře nepoužitá trubička, dole negativní trubička vystavená sirouhlíku (zdroj: autor)

Po porovnání s etalonem nebyla zjištěna změna testované trubičky (Obrázek 10) změna zbarvení způsobená chemickou reakcí, a tudíž byl výsledek vyhodnocen jako **negativní**. Mírná změna zbarvení je způsobena vsáknutím činidla do indikační vrstvy, nikoliv tedy chemickou reakcí. Pokud by výsledek byl pozitivní, došlo by k modrému zbarvení (platí pro yperit).

Testování trubiček DT-15 na nasycené páry sirouhlíku

Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86 a provedením 30 zdvihů (ekvivalent objemu 3 l vzduchu) byly přes trubičku nasáty nasycené páry sirouhlíku. Po prosátí vzduchu bylo provedeno porovnání s etalonem.

Po porovnání s etalonem bylo potvrzeno, že nedošlo ke změně barvy a výsledek byl vyhodnocen jako **negativní**. O pozitivní výsledek by se jednalo, pokud by se indikační vrstva zbarvila ze žluté do oranžové až červené (platí pro sirný yperit).

Testování detekčních trubiček DT-16 na nasycené páry sirouhlíku

Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86 a provedením 30 zdvihů (ekvivalent objemu 3 l vzduchu) byly přes trubičku nasáty nasycené páry

sirouhlíku. Následně byla uvnitř trubičky rozbita ampulka a roztok činidla byl setřepán na indikační vrstvu. Nakonec bylo provedeno porovnání s etalonem.



Obrázek 11 DT-16: vlevo nepoužitá trubička, uprostřed negativní trubička vystavená nasyceným parám sirouhlíku, vpravo tzv. slepá (byl skrze ni prosát čistý vzduch) (zdroj: autor)

Po porovnání s etalonem nebyla zjištěna změna zabarvení indikační trubičky (viz Obrázek 11) značící proběhlou reakci, a tudíž byl výsledek vyhodnocen jako **negativní**. Změna zabarvení do žluta je způsobena vsáknutím činidla z ampulky do indikační vrstvy, nikoliv chemickou reakcí. Pokud by výsledek byl pozitivní, došlo by ke zbarvení indikační vrstvy ze žluté do oranžova (platí pro dusíkaté yperity). Pro srovnání byla pořízena tzv. slepá trubička, kterou byl nasátý nekontaminovaný vzduch a je na ni patrné, že na trubičce testované na sirouhlík nedošlo k reakci.

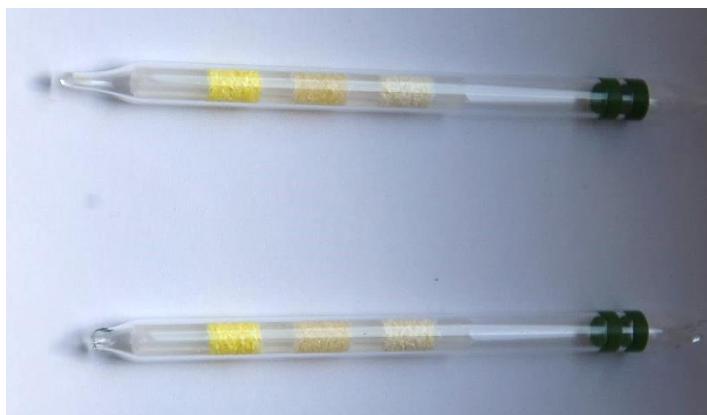
Testování trubiček DT-008 na nasycené páry sirouhlíku

Detekční trubička DT-008 je určena ke zjišťování amoniaku (citlivost 20 mg/m³). Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86 a provedením 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu) byly přes trubičku nasáty nasycené páry sirouhlíku. Po prosátí vzduchu bylo provedeno porovnání s etalonem.

Po porovnání s etalonem bylo potvrzeno, že nedošlo ke změně barvy, a tudíž je výsledek na detekci sirouhlíku **negativní**. V případě pozitivní reakce by se žlutá indikační vrstva zbarvila do zelené až modré barvy (platí pro amoniak).

Testování detekčních trubiček DT-12 na nasycené páry sirouhlíku

Detekční trubičky DT-12 jsou určeny k detekci fosgenu, difosgenu, chlorkyanu a kyanovodíku. Mez detekce pro všechny tyto látky je udávána jako 5 mg/m³. Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86 a provedením 30 zdvihů (ekvivalent objemu 3 l vzduchu) byly přes trubičku nasáty nasycené páry sirouhlíku. Po prosátí vzduchu bylo provedeno porovnání zbarvení jednotlivých vrstev s etalonem.



Obrázek 12 DT-12: nahoře nepoužitá trubička, dole negativní trubička vystavená nasyceným parám sirouhlíku (zdroj: autor)

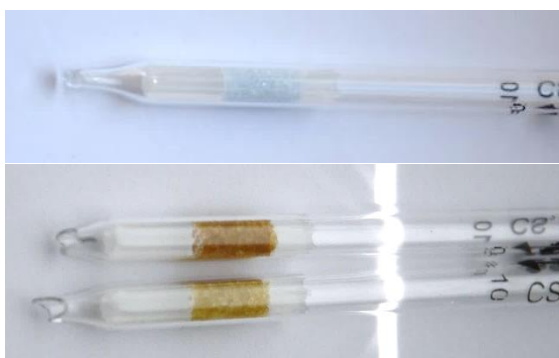
Po porovnání s příslušnými etalony nebyla zpozorována žádná změna zbarvení indikační vrstvy (viz Obrázek 12), a tudíž výsledek je tedy **negativní**. Pokud by výsledek byl pozitivní (alespoň na jedné vrstvě vůči jedné látce), tak by došlo ke zbarvení:

- spodní žluté indikační vrstvy do oranžova až hněda (reakce na kyanovodík)
- prostřední indikační vrstvy do růžova (reakce na chlorkyan)
- horní indikační vrstvy do červena (reakce na fosgen či difosgen)

Testování trubiček DT-007 na páry sirouhlíku o koncentraci 100 mg/m³ a 10 mg/m³

Trubička typu DT-007 je určena přímo pro detekci sirouhlíku a v tomto případě jde tedy spíše o ověření detekce při koncentracích sirouhlíku 100 mg/m³ a 10 mg/m³. Mez detekce trubičky pro sirouhlík je 20 mg/m³.

Po otevření na obou koncích byla trubička zasunuta do nasávacího zařízení Universal 86 a připojena pomocí pryžové hadičky ke vstupnímu ventilu zkušební komory. Po ověření správného připojení byl ventil otevřen a za pomoci nasávacího zařízení bylo provedeno 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu). Poté byl ventil uzavřen, trubička odpojena a vyhodnocena. Tento postup byl použit při testování obou koncentrací.



Obrázek 13 DT-007: nahoře nepoužitá trubička, uprostřed pozitivní trubička vystavená koncentraci 100 mg/m³, dole pozitivní trubička vystavená koncentraci 10 mg/m³ (zdroj: autor)

Po porovnání s etalonem je na testovaných trubičkách jasně znatelná **pozitivní** reakce na sirouhlík, přičemž podle očekávání je indikační vrstva trubičky vystavené vyšší koncentraci (100 mg/m³) tmavší, než v případě trubičky vystavené koncentraci nižší (10 mg/m³), což dokládá obrázek 13.

Testování trubiček DT-005X na páry sirouhlíku o koncentraci 100mg/m³

Trubička DT-005X je kombinovaná trubička určená k detekci sirných sloučenin (sulfan, oxid siřičitý a sirouhlík), přičemž mez detekce 10 mg/m³ pro H₂S a CS₂ a 5 mg/m³ pro SO₂.

Po otevření na obou koncích byla trubička zasunuta do nasávacího zařízení Universal 86 a připojena pomocí pryžové hadičky ke vstupnímu ventilu zkušební komory. Po ověření správného připojení byl ventil otevřen a za pomoci nasávacího zařízení bylo provedeno 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu). Poté byl ventil uzavřen a trubička odpojena. Po rozbití ampulky byl detekční roztok setřepán na nosič.



Obrázek 14 DT-005X: Nahoře nepoužitá trubička, uprostřed tzv. slepá trubička (byl skrze ni prosát jen čistý vzduch), dole negativní trubička vystavená 1l vzduchu s koncentrací sirouhlíku 100 mg/m³ (zdroj: autor)

Po porovnání testované trubičky (Obrázek 14) s etalony pro obě indikační vrstvy bylo potvrzeno, že nedošlo ke změně barvy, a tudíž výsledek je **negativní**. O pozitivní výsledek by se jednalo, pokud by se modrá vrstva zbarvila do hnědé až černé nebo bílá vrstva do žluté, oranžové anebo až do červené. Modrá indikační vrstva zůstala beze změny. Bílá indikační vrstva na slepé trubičce změnila barvu v důsledku vsáknutí detekčního činidla, nikoliv chemické reakce.

Souhrn výsledků testování sirouhlíku

V tabulce 6 jsou uvedeny výsledky testování detekčních trubiček na nasycené páry sirouhlíku a dvě úrovně koncentrací: 100 mg/m³ a 10 mg/m³. Bližší významy zkratk používaných v rámci určení detekčních trubiček jsou uvedeny v Seznamu zkratk.

Tabulka 6 Souhrnné výsledky pro testování detekčních trubiček na sirouhlík (zdroj: autor)

Typ	Určení	Reakce na nasycené páry CS ₂	CS ₂ 100mg/m ³	CS ₂ 10mg/m ³
DT-007	CS ₂	ANO, výrazná reakce již po 50 ml	ANO tmavě hnědá	ANO, světle hnědá
DT-005X	SO ₂ , H ₂ S, CS ₂	ANO	Bez reakce	Netestováno
DT-005	SO ₂	Bez reakce	Netestováno	Netestováno
DT-003	Cl ₂	Bez reakce	Netestováno	Netestováno
DT-006	H ₂ S	Bez reakce	Netestováno	Netestováno
DT-13.1	HD, HN	Bez reakce	Netestováno	Netestováno
DT-15	HD	Bez reakce	Netestováno	Netestováno
DT-16	HN	Bez reakce	Netestováno	Netestováno
DT-008	NH ₃	Bez reakce	Netestováno	Netestováno
DT-12	CG, DP, CK, AC	Bez reakce	Netestováno	Netestováno

5.1.3 Detekce 2-(butylamino)ethanthiolu

Cílem následujících pokusů bylo ověřit možnosti detekce 2-(butylamino)ethanthiolu za pomoci trubiček určených k detekci amoniaku (DT-008). Tato látka byla zvolena jako náhrada (simulant), protože je po chemické stránce blízká methylmerkaptanu (který potenciálně může být zneužit jako improvizovaná chemická zbraň). Díky chemické podobnosti lze předpokládat, že reakce detekčních prostředků na methylmerkaptan bude obdobná jako na látku testovanou.

Stručná charakteristika 2-(butylamino)ethanthiolu a methylmerkaptanu

2-(butylamino)ethanthiol je těkavá kapalina s výrazným zápachem. Ve srovnání s methylmerkaptanem je výrazně méně těkavá a nemá výrazné toxické účinky. Mezi hlavní toxické účinky patří podráždění očí, dýchacích cest a kůže, u které může vyvolat alergickou reakci. V tabulce 7 jsou uvedeny důležité vlastnosti obou látek. (39)

Methylmerkaptan (systematicky methanthiol) je bezbarvý plyn, jehož silný zápach je popisován jako po česneku nebo zkaženém zelí. Do organismu vstupuje dýchací soustavou, sliznicí a kůží, jeho toxický účinek se kromě bran vstupu projevuje též na centrální nervové soustavě a krvi. Vzhledem k tomu, že je převážně přepravován a skladován jako zkapalněný plyn, hrozí v případě úniku rovněž i vznik omrzlin od podchlazené látky. Jedná se o látku, která se může přirozeně vyskytovat v lidském organismu. Kromě výše zmíněných vlastností je methylmerkaptan vysoce nebezpečný pro svou extrémní hořlavost a schopnost tvořit výbušnou atmosféru. V průmyslu slouží jako prekurzor pro výrobu některých pesticidů a také se používá na výrobu některých druhů plastů. (40) (41)

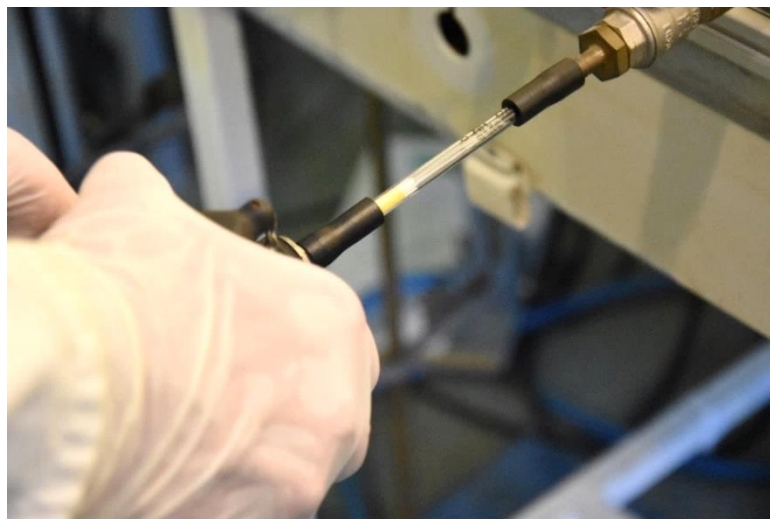
Tabulka 7 Důležité vlastnosti 2-(butylamino)ethanthiolu a methylmerkaptanu (39) (40) (41)

	2-(butylamino)ethanthiol	Methylmerkaptan
Molární hmotnost	133,26 g/mol	48,1 g/mol
Teplota tání	data neudána	-123 °C
Teplota varu	112 až 115 °C při 13 hPa	5,95 °C
Teplota vzplanutí	73 °C	-17,8 °C
Tenze par	data neudána	172 kPa (20 °C)
Meze výbušnosti	data neudána	3,9 % až 21,8 % (obj.)
Relativní hustota par	data neudána	1,66
Hustota	0,901 g/cm ³ (25 °C)	0.9 g/cm ³ (0 °C)
IDLH	data neudána	150 ppm (295,5 mg/m ³)
Zjistitelnost čichem	data neudána	0.002 ppm (0,00394 mg/m ³)
NPK (15 min)	Data neudána	0.5 ppm (1 mg/m ³)

Podmínky experimentu, pracovní postup a použité chemikálie

První fází experimentu bylo prvotní ověření, zdali detekční trubičky DT-008 vůbec reagují na 2-(butylamino)ethanthiol v prostředí nasycených par uvnitř lahvičky originálního balení. Dále bylo plánováno testovat trubičky na tři úrovně koncentrací 2-(butylamino)ethanthiolu, a to nejprve na 10 mg/m³ a následně i na 100 mg/m³ a 200 mg/m³, jako reálné se však ukázaly pouze pokusy s vyššími koncentracemi.

Pro bezpečné vytvoření obou testovaných koncentrací 2-(butylamino)ethanthiolu byla použita zkušební komora o objemu 0,5 m³, do které byla zkušební látka na hodinové sklíčko umístěné v komoře a odpařena. Pro koncentraci 100 mg/m³ a 200 mg/m³ bylo dávkováno 50 µl, resp. 100 µl 2-(butylamino)ethanthiolu. Cirkulace vzduchu uvnitř komory byla zajištěna ventilátorem. Pro urychlení odpařování bylo hodinové sklíčko přehřáto.



Obrázek 15 Na nasávacím zařízení Universal 86 nasazená trubička DT-008 připojená k testovací komoře (vpravo)
(zdroj: autor)

Testování trubiček DT-008 na nasycené páry 2-(butylamino)ethanthiolu

Po otevření byla trubička nasazena do zařízení Universal 86 a provedením 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu) byly přes trubičku nasáty nasycené páry sirouhlíku. Poté bylo provedeno porovnání s etalonem.



Obrázek 16 DT-008: nahoře nepoužitá trubička, dole pozitivní trubička na nasycené páry 2-(butylamino)ethanthiolu
(zdroj: autor)

Z výsledků (viz Obrázek 16) je jasně patrné, že trubičky DT-008 jsou schopny reagovat na 2-(butylamino)ethanthiol, došlo ke změně barvy indikační vrstvy (ze žluté do modrozelené) a výsledek detekce je tedy **pozitivní**.

Testování trubiček DT-008 na 2-(butylamino)ethanthiol o koncentraci 200 mg/m³ a 100 mg/m³

Po otevření na obou koncích byla trubička zasunuta do nasávacího zařízení Universal 86 a připojena pomocí pryžové hadičky ke vstupnímu ventilu zkušební komory (Obrázek 15). Po ověření správného připojení byl ventil otevřen a za pomoci

nasávacího zařízení bylo provedeno 10 zdvihů (ekvivalent objemu 1 l vzduchu). Poté byl ventil uzavřen, trubička odpojena a vyhodnocena. Tento postup byl použit při testování obou koncentrací.



Obrázek 17 DT-008: porovnání neotevřené detekční trubičky (na fotografii dole) s trubičkou vystavené koncentraci 200 mg/m³ (zdroj: autor)

Na trubičce exponované koncentrací 200 mg/m³ 2-(butylamino)ethanthiolu je patrný tenký proužek modrozeleného zbarvení na indikační vrstvě (Obrázek 17). Výsledek je tedy **pozitivní**.



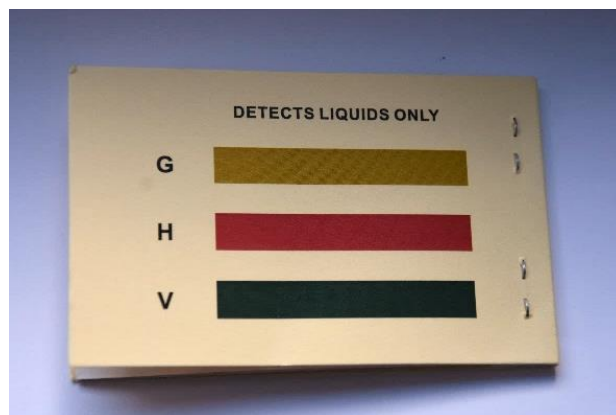
Obrázek 18 DT-008: porovnání neotevřené trubičky (na fotografii dole) a trubičky vystavené koncentraci 100 mg/m³ (zdroj: autor)

Na trubičce exponované koncentrací 100 mg/m³ 2-(butylamino)ethanthiolu je patrná slabá změna zbarvení indikační vrstvy do zelena (Obrázek 18). Výsledek je tedy **pozitivní**, ačkoliv je samotná změna náročná na zpozorování a pravděpodobně je to na hranici možné detekce při stávajících podmínkách.

5.1.4 Výsledky testování detekčních papírku PP-3 na sirouhlík, ethanol a 2-(butylamino)ethanthiol

Během experimentů s detekčními trubičkami byla rovněž ověřena možnost testovat některé z těchto látek za pomoci detekčních papírků PP-3 od společnosti Oritest. Tento prostředek byl testován na sirouhlík, ethanol a 2-

(butylamino)ethanthiol. Na obrázku 19 je zadní strana s etalony pro vyhodnocení výsledku.



Obrázek 19 PP-3: zadní strana bločku detekčních papírku s etalony pro vyhodnocení (zdroj: autor)



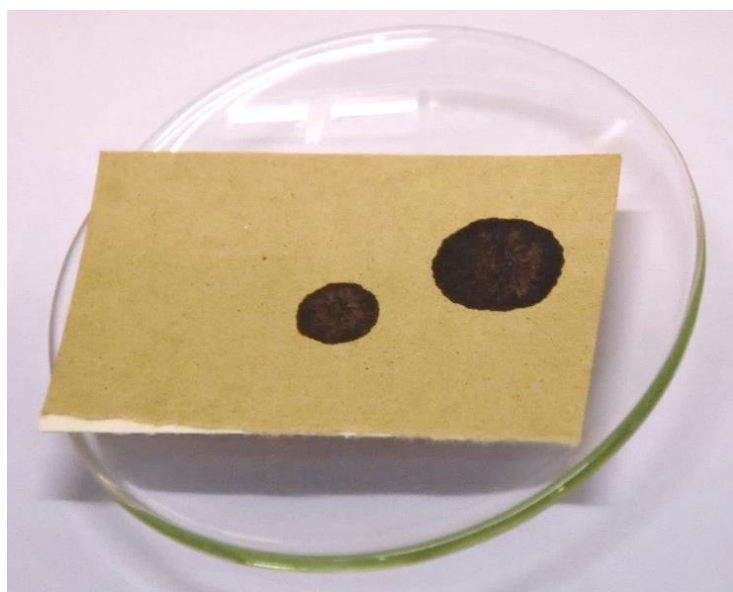
Obrázek 20 PP-3: reakce detekčního papírku na sirouhlík (zdroj: autor)

Detekční papírek PP-3 vykazoval po nakápnutí sirouhlíku **pozitivní** výsledek jako na látky typu H, tedy na zpuchýřující látky z řad yperitů (Obrázek 20).



Obrázek 21 PP-3: detekční papírek reagující na ethanol (96%) (zdroj: autor)

Detekční papírek PP-3 reagoval na nakápnutí ethanolu **pozitivním** výsledkem jako na nervově paralytické látky typu G, například sarin (Obrázek 21).



Obrázek 22 PP-3: detekční papírek s 2-(butylamino)ethanthiolem (zdroj: autor)

Detekční papírek na 2-(butylamino)ethanthiol reagoval **pozitivním** výsledkem jako pro nervově paralytické látky skupiny V (Obrázek 22).

5.2 Metoda pro hodnocení zneužitelnosti TPL z hlediska chemického terorismu

Vzhledem k vlastnostem některých TPL běžně používaných v průmyslu je odůvodněné se domnívat, že by mohly být zneužity jako dostupnější alternativa

k chemickým zbraním. Touto tezí se již zabývala mezinárodní skupina ITF-25, která na tento problém nahlížela z roviny vojenských i mírových operací. Výsledným zjištěním bylo, že díky četnosti průmyslových objektů využívajících chemické látky je vysoce pravděpodobné, že země podílející se na tomto výzkumu (Spojené státy, Kanada a Spojené království) budou s těmito látkami konfrontované, ať už v podobě úmyslného útoku nebo v případě havárie.

Následující podkapitola se bude věnovat v návaznosti na zkoumání ITF 25 tvorbě multikriteriální metody pro hodnocení látek z pohledu zneužitelnosti v rámci chemického terorismu. Za tímto účelem je nezbytné vymezit základní kritéria, podle kterých budou látky hodnoceny, a stanovit další okolnosti důležité pro objektivní porovnání. Na rozdíl od ITF-25 je zde nezbytné zohlednit jiná kritéria, která více odpovídají problematice terorismu. Mezi kritéria použitá v rámci hodnocení látek podle ITF-25, která nebyla relevantní, patří roční produkce látky a počet výrobců vyjádřený pomocí počtu kontinentů, na kterých je látka vyráběna. Tato kritéria vyhovují jednomu z hlavních pohledů na problematiku zneužití toxických průmyslových látek, a to pohledu vojenskostrategickému, kdy jedno z hlavních rizik spočívá v tom, že v případě asymetrického konfliktu se může slabší stát uchýlit k TPL jakožto alternativních chemických zbraní. Z hlediska terorismu je naopak podstatnější, zdali a jak složité je tyto látky si obstarat, než zdali se vyrábí v desítkách či tisících tunách ročně. Naopak, z původních kritérií zůstala zachována toxicita a hodnocení skupenství/tlaku par.

Mezi hodnocená kritéria patří:

- Toxicita
- Skupenství/tlak nasycených par
- Schopnost detekce smysly
- Možnosti detekce za pomoci detekčních prostředků
- Dostupnost

Hodnocení zkoumaných látek probíhá stejně jako v případě metody ITF-25 a to tak, že zkoumaná látka bude ohodnocena podle každého kritéria a následně se tyto hodnoty dosadí do vzorce, který je uveden v kapitole 5.2.7 *Výpočet indexu zneužitelnosti*. Výsledkem bude index zneužitelnosti, který představuje bezrozměrnou veličinu, která slouží pro vzájemné porovnání jednotlivých látek a umožňuje efektivnější plánování dalšího, podrobnějšího výzkumu.

5.2.1 Koncepce zdrojové robustnosti

Při hodnocení chemické látky je v rámci každého kritéria látka bodována na škále od jedné do pěti, vždy po celých číslech a pět je nejzávažnější hodnocení. Toto hodnocení je založeno na základě parametrů uvedených v rámci každé sledované kategorie. Za účelem zajištění robustnosti metody vůči nekompletním datům jsou v některých tabulkách pro každou hodnotu uvedeny dvě podmínky, přičemž pro dané hodnocení stačí splnit alespoň jednu z nich. Prioritu má první uvedená podmínka (dále platí sestupná priorita), druhá slouží jako alternativní pro případ, kdy uvedené údaje nestačí na zodpovězení primární podmínky. Jinými slovy, pokud není k dispozici exaktní číselný údaj, lze ho ve vymezených případech nahradit kvalitativním slovním popisem, například místo koncentrace, kdy látka je postřehnutelná čichem, je možno použít popis pachu jako „nepříjemný, pronikavý, rozpoznatelný již od malých koncentrací“ a další. Aby bylo patrné, že pro vyhodnocení chemické látky byla použita alternativní podmínka, je výsledný index zneužitelnosti označen hvězdičkou (např. 750*).

V případě, že nelze jedno kritérium vyhodnotit podle předepsaných parametrů z důvodu chybějících dat, je možné tuto kategorii vynechat a dosadit místo ní příslušnou hodnotu podle tabulky 8, kdy výsledná hodnota ostatních faktorů určí chybějící parametr. Nahrazení jedné hodnoty je možné za předpokladu, že pro předběžnou analýzu je lepší méně přesný výsledek než žádný, protože by látka musela být z hodnocení bez potřebných dat vyřazena. Tento postup lze uplatnit, pokud nejsou dostupné údaje pouze pro jedno kritérium. Výsledný index

zneužitelnosti se v tomto případě označí uvozovkami nahoře (např. 1350“), aby bylo upozorněno, že výsledek je založen na nekompletních datech a že je potřeba tyto data nalézt a index znovu spočítat.

Tabulka 8 Tabulka pro určení náhradního parametru hodnocení

Náhradní parametr	Násobek čtyř známých hodnocených kritérií
5	625 až 500
4	499 až 375
3	374 až 250
2	249 až 125
1	124 až 0

5.2.2 Hodnocení toxicity látky

Z důvodů dostupnosti toxikologických dat byla jako referenční hodnota zvolena koncentrace IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health; Koncentrace bezprostředně ohrožující život a zdraví). (42) Tuto hodnotu využívá i původní metoda skupiny ITF-25, ze které metoda pro hodnocení zneužitelnosti TPL vychází, a jednotlivé koncentrace jsou výsledkem shody mezinárodní odborné skupiny. Proto tyto konkrétní hodnoty budou převzaty i do metody vytvářené v této práci. Kromě toho je další výhodou IDLH hodnoty její rozšířenost díky tomu, že je definována americkým institutem pro bezpečnost a zdraví při práci (NIOSH) a pro značnou část chemických látek je tato hodnota stanovena na základě toxikologických výzkumů na zvířatech, popřípadě jsou odvozeny na základě jiných vlastností, například meze výbušnosti. Samotné hodnocení je uvedeno v tabulce 9.

Tabulka 9 Tabulka hodnocení toxicity (26)

Toxicita	IDLH (ppm)
5	IDLH < 1
4	1 < IDLH < 10
3	11 < IDLH < 100
2	101 < IDLH < 500
1	IDLH > 500

5.2.3 Hodnocení skupenství

Stejně jako v případě toxicity, bylo i v tomto případě ponecháno kritérium hodnotící skupenství a tlak nasycených par. Hlavními důvody pro toto rozhodnutí jsou, že se jedná o relevantní údaj, který dobře charakterizuje chování zkoumané látky, jedná se o dobře dostupný údaj bez potřeby bližšího zkoumání a samotné parametry, podle kterých je látka hodnocena, byly stanoveny mezinárodní odbornou skupinou v rámci ITF-25. Parametry hodnocení tohoto kritéria jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10 Tabulka pro hodnocení skupenství (26)

Skupenství	Hodnocené parametry (tlak par v kPa)
5	Plynné
4	Kapalina: tlak par $\geq 53,3$ kPa
3	Kapalina: $13,3 \leq$ tlak par $< 53,3$
2	Kapalina: $1,3 \leq$ tlak par $< 13,3$
1	Kapalina: tlak par $< 1,3$

5.2.4 Hodnocení dostupnosti

Jednou z klíčových vlastností potenciální improvizované chemické zbraně je její dostupnost pro případného útočníka. Z tohoto pohledu je nezbytné zvážit, jaká jsou omezení na prodej hodnocené látky a v jaké formě je dostupná. Primární podmínka řeší přímou komerční dostupnost látky v takovém stavu, v jakém je potřeba pro zamýšlené použití. Alternativní podmínka pokrývá možnost syntézy dané látky z látek lépe dostupných. Tabulka 11 obsahuje oba typy podmínek pro vyhodnocení tohoto kritéria.

Tabulka 11 Tabulka pro hodnocení komerční dostupnosti

Dostupnost	Hodnocené parametry
5	<ul style="list-style-type: none">• Látka je volně dostupná bez omezení• Látka je dostupná v koncentrované podobě
4	<ul style="list-style-type: none">• Látka je volně prodejná, ale eviduje se totožnost kupujícího• Látka je dostupná ve výrazně naředěné podobě (pro efektivní účinek nutné zkoncentrovat)
3	<ul style="list-style-type: none">• Látka je prodejná pouze osobám odborně způsobilým• Látku lze připravit z volně dostupných prekurzorů
2	<ul style="list-style-type: none">• Látka je prodejná pouze odborně způsobilým osobám a látky podléhají režimu zvláštního zacházení (podrobná evidence, kontroly příslušnými orgány atd.)• Látku lze připravit z prekurzorů, které vyžadují odbornou způsobilost pro pořízení
1	<ul style="list-style-type: none">• Látka je v podstatě zakázána, vyžaduje zvláštní povolení pro použití, které je možné jen v nezbytných případech• Látku lze připravit z prekurzorů, které vyžadují odbornou způsobilost a režim zvláštního zacházení

5.2.5 Hodnocení smyslové detekce

Při detekci látek pomocí smyslů je nejdůležitější zrak a čich. V případě zneužití chemické látky pro terorismus jsou vzhled a zápach jedny z prvních příznaků, které varují o vzniklé situaci a mohou tak výrazně snížit počet obětí. Pro některé látky platí, že jejich zápach je poznat dříve, než je látka zjištěna obvyklými detekčními prostředky. Například přítomnost methylmerkaptanu lze poznat již od koncentrace 0,0019 ppm, přičemž koncentrace nebezpečná pro život a zdraví (IDLH) je až 150 ppm. (43) Vztah mezi toxicitou látky a její pachem (a dalšími smysly registrovatelnými projevy) je proto zásadní pro posouzení její nebezpečnosti. V tabulce 12 jsou uvedeny jednotlivé parametry pro příslušné hodnocení. Koncentrace, při které lze látku v ovzduší rozpoznat, je v tabulce označena jako OTV (Odor Threshold Value; hodnota hranice zápachu).

Tabulka 12 Tabulka pro hodnocení smyslové detekce chemických látek

Smyslová detekce	Hodnocené parametry
5	<ul style="list-style-type: none">• $LC_{t50} < OTV$• Látka je bezbarvá a bez zápachu
4	<ul style="list-style-type: none">• $EC_{t50} < OTV$ nebo $IDLH < OTV$• Zápach či barva látky je poznat až při vysokých koncentracích, které mohou ohrozit život a zdraví (trvalé následky)
3	<ul style="list-style-type: none">• $AEGL\ 2\ (10\ min) < OTV$• Zápach či barva látky není smysly poznatelná při koncentracích, kdy hrozí podstatné zdravotní následky, případně je přímo ovlivněna schopnost útěku
2	<ul style="list-style-type: none">• $AEGL\ 1\ (10\ min) < OTV$• látka není patrná při koncentracích, kdy způsobuje podráždění, případně její účinky jsou přechodné
1	<ul style="list-style-type: none">• $NPK-P > OTV$• Pach látky je dostatečně výrazný i při dlouhodobě bezpečných koncentracích

5.2.6 Hodnocení možností detekce detekčními prostředky

Posledním kritériem, které je nezbytné zohlednit při hodnocení chemické látky, jsou možnosti její detekce v reálném prostředí jednotkami, které by byly vyslány k případnému incidentu s použitím dané látky jako improvizované chemické zbraně. Pro minimalizaci počtu případných obětí a celkový postup záchranných a likvidačních prací je důležité identifikovat, jaká látka byla použita, jaké hrozí nebezpečí a jaká opatření musí být přijata. Hlavním parametrem pro posouzení tohoto kritéria je určení, jaký typ jednotky by měl být schopen látku detekovat a identifikovat, ideálně i stanovit koncentrace v prostředí. Čím specializovanější a spádovější jednotka je nezbytná pro analýzu látky, tím více dochází k prodlení, než je zahájen nejlepší možný postup zásahu (do té doby lze postupovat jen podle metodiky pro zásah s výskytem neznámé nebezpečné látky) a léčba zraněných. Jednotlivé parametry pro hodnocení tohoto kritéria jsou uvedeny v tabulce 13.

Tabulka 13 Tabulka hodnocení možností detekce za pomoci detekčních prostředků

Instrumentální detekce	Hodnocené parametry
5	<ul style="list-style-type: none">• Látka je detekovatelná pouze za pomoci specializované stacionární laboratoře s působností pro celý stát či region (nutno dopravit vzorek)
4	<ul style="list-style-type: none">• Látka je detekovatelná pouze v mobilní laboratoři, popřípadě pomocí multikomponentního detektoru s rozšířenou knihovnou• Látka je detekovatelná pouze za pomoci detekčních prostředků specializovaných útvarů
3	<ul style="list-style-type: none">• Látku lze detekovat pouze pomocí multikomponentního analyzátoru• Látka je detekovatelná pouze za pomoci prostředků specializovaných jednotek
2	<ul style="list-style-type: none">• Pro látku existují detekční trubičky v sortimentu lokálního výrobce nebo v sortimentu některého z hlavních výrobců na trhu• Látka je detekovatelná za pomoci prostředků řadových zasahujících jednotek

Instrumentální detekce	Hodnocené parametry
1	<ul style="list-style-type: none"> • Látka je detekovatelná trubičkami pro nejběžnější nebezpečné látky • Látka je detekovatelná statickými průmyslovými detektory a detektory na detekci výbušné atmosféry a hořlavin v ovzduší

5.2.7 Výpočet indexu zneužitelnosti

Vzhledem k tomu, že tato metoda vychází a navazuje na metodu vytvořenou v rámci ITF-25, používá i metoda pro hodnocení zneužitelnosti TPL obdobný systém hodnocení látek a stejný způsob výpočtu výsledného indexu zneužitelnosti (IZ). Do vzorce níže se do jednotlivých závorek dosadí hodnocení, které látka získala v rámci jednotlivých kritérií a provede se výpočet (hodnoty se mezi sebou vynásobí). Maximální možná hodnota je 5⁵, tedy 3125.

$$IZ = f\{(toxicita) \times (skupenství) \times (dostupnost) \times (smyslová\ detekce) \times (instrumentální\ detekce)\}$$

Pro zajištění odolnosti metody vůči nedostatku dat, respektive tato data nejsou v potřebném porovnatelném formátu, je v rámci některých kritérií uvedena druhá, alternativní, podmínka, kterou lze pro dané hodnocení použít. V případě, že je nezbytné použít alternativní podmínku, je výsledný index označen znaménkem * (např. 625*). V případě, že jedno kritérium chybí úplně, lze ho nahradit náhradním parametrem, který je odvozen od hodnoty ostatních parametrů (přesněji jejich násobku). Pokud bylo v rámci výpočtu nezbytné použít tento postup, označí se výsledný index zneužitelnosti horními uvozovkami (například 625"). Tento lze použít pouze jako náhradu jednoho parametru. Pokud nejsou dostupné dva údaje, index nelze spočítat. Náhradní parametr lze kombinovat s alternativní podmínkou (např. 1300*"). Podrobněji jsou tyto postupy vysvětleny v kapitole 5.2.1 *Koncepce zdrojové robustnosti*.

5.3 Potenciálně zneužitelné látky – vzorové hodnocení vybraných látek

V rámci této kapitoly budou hodnoceny chemické látky, u kterých hrozí jejich potenciální zneužití pro chemický terorismus, a také vybrané látky za účelem srovnání hodnotící metody s ostatními metodami (porovnání je provedeno v rámci diskuze). Hodnocené látky zahrnují také látky ze seznamů 1 a 3 Úmluvy o zákazů chemických zbraní (sarin a fosgen) a látky ze seznamu ITF-25 (chlór a amoniak). Informace pro zhodnocení látek byly čerpány z databáze CAMEO Chemicals, dostupnost byla posouzena podle internetové nabídky společnosti Sigma-Aldrich a možnosti instrumentální detekce byly odvozeny od nabídky detekčních trubiček společnosti Oritest. (44) (45) (46) (47)

Tabulka 14 Vzorové vyhodnocení vybraných látek

Látka	Hodnocená kritéria					Index zneužitelnosti
	Toxicita	Skupenství	Dostupnost	Smysl. detekce	Inst. detekce	
Amoniak	2	5	4	1	1	40
Chlór	4	5	3	3	1	180
Fosgen	4	5	2	3	1	120
Fosfan	3	5	3	1	2	90
Hydrazin	3	1	3	2	2	36
Methyl merkaptan	2	5	3	1	3	90
Oxid dusičitý	3	4(5)	3	2	2	144(180)
Oxid siřičitý	3	5	4	1	2	120
Sarin	5	1	1	5	1	25
Sirouhlík	2	3	4	1	2	48
Sulfan	3	5	3	1	1	45

Na provedeném vzorovém hodnocení (Tabulka 14) je patrné, že samotná toxicita negarantuje vysoký potenciál látky pro užití v rámci chemického terorismu. Samozřejmě s vysokým hodnocením toxicity mají tendenci dosahovat vyššího

celkového hodnocení, nicméně k tomu je nezbytné i obdobné hodnocení alespoň u některých dalších kritérií. Například sarin má relativně nízké hodnocení, ačkoliv představuje velice efektivní konvenční BCHL, protože jednak je jeho dostupnost minimální (nemá jiné využití a je předmětem zvláštních kontrolních mechanismů) a jedná se o látku dobře známou, pro kterou jsou zavedeny efektivní detekční prostředky. Oproti tomu látky, jako například oxid dusičitý, methylmerkaptan či oxid siřičitý mají řádově nižší toxicitu, ale celkové hodnocení mají vyšší než sarin, protože mají lepší hodnocení napříč kritérii, zejména v rámci potenciální dostupnosti a skupenství, kdy tyto látky jsou přímo v plynném stavu (případně bod varu je blízko 20 °C). Tyto výsledky neznamenají, že by tyto TPL byly lepší chemickou zbraní než sarin, ale že na základě jejich vlastností a dostupnosti je zde větší riziko, že by je někdo z těchto důvodů použil.

6 DISKUZE

Na základě podrobně zpracované teoretické části byla koncipována praktická část, zejména pak byla vytvořena metoda pro hodnocení zneužitelnosti průmyslových chemických látek z hlediska chemického terorismu. Tato metoda přejímá známý princip hodnocení látek a upravuje kritéria, podle kterých jsou látky hodnoceny, aby byly relevantní při posuzování chemického terorismu. Jeden z parametrů metody byl experimentálně ověřen, a to detekce vybraných chemických látek.

Praktická část tak dohromady tvoří ucelený postup, jak se potýkat s hrozbou zneužití TPL (toxických průmyslových látek). Kombinuje předběžné hodnocení pomocí zvláště vytvořené metody a experimentální ověření možností detekce. To umožňuje vytipovat potenciálně zneužitelné látky (především ty méně časté, které by mohly ujit pozornosti) a následně prověřit, zda jsou zasahující jednotky schopné tyto látky detekovat.

Praktická část práce se nejprve věnuje experimentálnímu ověření možností detekce, jako návodu, jak pomocí falešně pozitivních reakcí různých detekčních prostředků rozšířit technické možnosti chemického průzkumu. Dále se praktická část zabývá předběžným hodnocením látek, které zohledňuje nejen jejich toxicitu, ale i jejich další vlastnosti, dostupnost a možnosti detekce. Metoda je koncipována tak, aby umožnila zpracovat data o látkách ve více podobách, to pro případ, že preferované vyjádření vlastností není dostupné. Problém s dostupností dat se projevil při zpracovávání kapitoly 5.1 *Experimentální ověření možností detekce vybraných toxických látek*, kdy v některých bezpečnostních listech chemických látek chyběly některé podstatné údaje o fyzikálních vlastnostech, především teplota varu nebo tlak nasycených par. Na základě hodnocení a experimentálního ověření je možné provádět další kroky, jako například zvýšení dohledu a inspekcí ohledně kontroly komerčního užívání této látky, omezení prodeje, pořízení nových

detekčních prostředků nebo popřípadě rozšíření knihoven multikomponentních detektorů.

6.1 Výsledky experimentálního ověření možností detekce a vyhodnocení hypotéz

V rámci experimentálního ověření možností detekce byly testovány hydrazin, sirouhlík a 2-(butylamino)ethanthiol, které reprezentují látky potenciálně zneužitelné pro chemický terorismus. Smyslem testů bylo ověřit, zdali některou z nich nelze zjišťovat detekčními trubičkami, které pro jejich detekci nejsou určeny, a tak rozšířit stávající možnosti prostředků chemického průzkumu.

Hypotéza č. 1: *Hydrazin způsobí na vybraných detekčních trubičkách falešně pozitivní či jinou nestandardní reakci.*

Na základě experimentálního ověření je hypotéza č. 1 **zamítnuta**, neboť hydrazin nezpůsobil falešně pozitivní reakci či nestandardní výsledek na použitých trubičkách. Je možné, že při použití koncentrovanějšího roztoku hydrazinu (než použitý 1 M roztok v tetrahydrofuranu) by už mohlo dojít k falešně pozitivní reakci. Při dalším podrobnějším zkoumání by rovněž bylo vhodné do testování zařadit mimo jiné i detekční trubičku (Hydrazin 0,25/a) od společnosti Draeger, která je přímo určená k detekci hydrazinu – má mez detekce 0,25 ppm a díky stupnici je možné přibližně stanovit koncentraci až do 3 ppm.

Hypotéza č. 2: *Sirouhlík způsobí na vybraných detekčních trubičkách falešně pozitivní či jinou nestandardní reakci.*

Na základě experimentálního ověření byla hypotéza č. 2 **zamítnuta**, při testování sirouhlíku nedošlo k falešně pozitivní či nestandardní reakci. K pozitivním reakcím došlo pouze v trubičkách, které byly přímo určeny na detekci sirouhlíku, a tudíž se nejednalo falešně pozitivní ani nestandardní výsledek, ale byla

tím naopak ověřena mez detekce těchto trubiček. Konkrétně se jednalo o trubičky DT - 007 (CS₂) a DT – 005X (H₂S, CS₂ a SO₂). První z trubiček podle očekávání bez problému reagovala na nasycené páry sirouhlíku a poměrně výrazně a jasně reagovala i na koncentrace 100 mg/m³ a 10 mg/m³. Je důvod domnívat se, že trubička umožňuje i detekci sirouhlíku v koncentracích nižších, než jsou stanoveny výrobcem. Trubičky DT-005X reagovaly spolehlivě při testování nasycených par sirouhlíku, nicméně při testování koncentrace 100 mg/m³ nedošlo k pozitivní reakci, ačkoliv výrobcem udávaná mez detekce je 10 mg/m³, tedy 10krát nižší. Test byl pro vyloučení vady trubičky opakován celkem na 4 trubičkách, které ale měly stejný výsledek. Problém byl konzultován s výrobcem a pravděpodobně se jedná o chybu v rámci výrobní šarže.

Hypotéza č. 3: *2-(butylamino)ethanthiol způsobí na vybraných detekčních trubičkách falešně pozitivní či jinou nestandardní reakci.*

Na základě experimentálního ověření byla hypotéza č. 3 **potvrzena**, na použitých trubičkách způsobil 2-(butylamino)ethanthiol pozitivní výsledek. To se projevilo na detekčních trubičkách DT-008(NH₃) a na trubičkách určených na sirné sloučeniny, které byly již testovány v rámci jiné diplomové práce (více popsáno níže). Při standardním postupu podle návodu byla jako nejnižší možná mez detekce 2-(butylamino)ethanthiolu pro trubičky DT-008 stanovena koncentrace 100 mg/m³, přičemž ale změna zabarvení indikační vrstvy byla velice malá, v polních podmínkách obtížně pozorovatelná. K dosažení lepšího výsledku by bylo zřejmě potřebné zvýšit počet zdvihů alespoň na dvojnásobek, tedy ekvivalent objemu 2 l vzduchu. Testování detekčních trubiček na 2-(butylamino)ethanthiolu bylo provedeno i v diplomové práci zkoumající malodoranty jako potenciální neletální chemické zbraně, v níž byly použity detekční trubičky DT-005 (SO₂) a DT-005X (H₂S, CS₂ a SO₂), které reagovaly pozitivně na 2-(butylamino)ethanthiol o koncentraci 100 mg/m³. Pro srovnání je níže vložena fotografie z experimentu ze zmíněné diplomové

práce (Obrázek 23). Reakce těchto dvou trubiček je ještě výraznější při dané koncentraci než v případě trubiček na amoniak. (48)



Obrázek 23 Snímek detekční trubičky DT-005 (horní) a detekční trubičky DT-005-X, obě exponované 2-butylaminoethanethiolu (koncentrace 100 mg.m⁻³, 10 zdvihů) (48)

Hypotéza č. 4: Vybrané chemické látky způsobí falešně pozitivní či jinou nestandardní reakci na detekčních papírkách typu PP-3.

Na základě experimentálního ověření je hypotéza č. 4 **potvrzena**, protože všechny vybrané látky (sirouhlík, ethanol i 2-(butylamino)ethanethiol) způsobily falešně pozitivní reakci. To je důsledek především nízké selektivity tohoto detekčního prostředku, zejména vůči koncentrovaným látkám. Praktické použití toho výsledku je tedy poměrně omezené a může sloužit spíše jen jako potvrzení výsledku v kombinaci s jinými detekčními prostředky a metodami, nikoliv samostatně.

6.2 Závěry z experimentálního ověření možností detekce vybraných chemických látek

Hlavním smyslem provedených experimentů bylo ověřit myšlenku detekce za pomoci falešně pozitivních a nestandardních výsledků detekčních prostředků, v tomto případě detekčních trubiček a detekčních papírků PP-3 od společnosti Oritest. Na základě pokusů lze prohlásit, že tato myšlenka improvizované detekce

je v rámci některých kombinací chemických látek a detekčních prostředků funkční a lze doporučit další podrobnější výzkum tímto směrem pro další potenciálně zneužitelné látky.

Výzkumy navazující na tuto práci by jednak měly probíhat na statisticky významnějších počtech trubiček, než bylo možné v rámci této práce, a s výrazně širším sortimentem trubiček (s důrazem na ty nejčastěji používané), ideálně od různých výrobců. Na základě těchto výzkumů by tak bylo možné levným způsobem významně rozšířit detekční schopnosti zejména pro řadové zasahující jednotky, které bývají vybavené zejména jednoduchými detekčními prostředky, jakou jsou právě detekční trubičky.

6.2.1 Detekční karty

V případě, že látku je možné detekovat na základě kombinace falešně pozitivních výsledků, hlavním výstupem z experimentálního ověření možnosti detekce by se stala tzv. detekční karta, která by shrnovala všechny podstatné informace ohledně improvizované detekce dané látky. Kromě seznamu všech trubiček, které reagují falešně pozitivním výsledkem (respektive i jiným nestandardním způsobem), by tato karta obsahovala instrukce ke každé trubičce, etalony pro srovnání a případně další důležité poznámky k uskutečnění měření.

6.3 Porovnání metod pro hodnocení chemických látek

Jako hlavní předloha pro metodu vytvořenou v této práci sloužila metoda použitá v rámci ITF-25. Hlavní rozdíl mezi těmito metodami je v tom, jakým způsobem nahlíží na možné zneužití TPL. ITF-25 uplatňuje vojensko-strategický pohled na problém, při němž se látky hodnotí mimo jiné podle roční produkce daných látek a také podle toho, kde všude na světě se látka vyrábí (na kolika kontinentech). V podstatě je TPL chápána jednak ve smyslu jejich zneužití jednou ze stran ve válečném konfliktu (jako improvizovaná chemická zbraň) a dále pak ve smyslu možné havárie vzniklé v důsledku bojů. Metoda pro hodnocení chemických

látek zpracovaná v rámci této práce uplatňuje odlišný pohled na hrozbu zneužití chemických látek, který více řeší taktickou úroveň chemického terorismu. Z tohoto důvodu byla kritéria roční produkce a počtu kontinentů nahrazena kritérii, které hodnotí dostupnost (pro jednotlivce a organizace, zejména ve smyslu komerční dostupnosti) a možnosti detekce (podle zápachu i pomocí detekčních prostředků). Jinými slovy je tato metoda více zaměřená na to, jak těžké je obstarání dané látky a také jak složité je látku odhalit a tím i nepřímý jaký by mohla mít dopad při použití.

Druhá metoda, se kterou může být metoda pro hodnocení zneužitelnosti chemických látek srovnávána, je použita v rámci *Příspěvků k hodnocení chemických látek k hodnocení rizik toxických chemických látek vyráběných v ČR*. (49) Tato metoda hodnotí toxicitu, dostupnost, vhodnost použití, historii použití, lokalitu a transport. Na rozdíl od ITF-25 a metody navržené v této práci se tato metoda zaměřuje na rizika plynoucí z výroby chemických látek a přímo nerozlišuje úmyslné zneužití nebo havárii. Hodnocení tedy probíhá jednak ve vztahu k chemickému závodu, kde se látka vyrábí, roční produkci, počtu obyvatel v okolí; dále se hodnotí vlastnosti látky, její potenciál a historie jejího použití. Oproti předchozím metodám nemají všechny kritéria stejnou maximální hodnotu, přičemž toxicita má maximální hodnotu 50, dostupnost 30 a ostatní 20. Rovněž způsob výpočtu výsledného hodnocení je odlišný, jednotlivá hodnocení kritérií se sčítají a dohromady dávají maximální hodnocení 160. (49)

Tabulka 15 Porovnání hodnocení vybraných látek v rámci jednotlivých metod (49) (50)

Porovnání jednotlivých metod	NATO ITF-25	Vyhodnocení nebezpečnosti podle (49)	Index zneužitelnosti
Amoniak	375	95	40
Chlór	500	120	180
Fosgen	240	101	120
Sarin	Nehodnoceno	93	25

V tabulce 15 jsou porovnány všechny tři metody se zástupci různých skupin látek. Jako zástupce látek ze Seznamu 1 Úmluvy o zákazu chemických zbraní (tedy látek představující významné riziko) slouží sarin. Látky ze seznamu 3 Úmluvy, tedy látky představující riziko, ale mající uplatnění v průmyslu, zastupuje fosgen. Jako zástupci běžných průmyslových látek slouží amoniak a chlór, přičemž obě spadají v rámci hodnocení ITF-25 do kategorie „High“, tedy představující největší riziko. Přestože každá metoda používá jiná kritéria pro hodnocení, jejich výsledky jsou relativně podobné. V rámci všech tří hodnocení byl jako nejnebezpečnější vyhodnocen chlór, rozdíl nastává u druhého a třetího místa. ITF-25 vyhodnotila amoniak jako druhou nejnebezpečnější látku, zejména díky jeho roční produkci a míře uplatnění, zatímco ostatní metody upřednostnily fosgen pro jeho toxicitu, vlastnosti a celkovou použitelnost jako efektivní chemické zbraně. Hodnocení sarinu je v rámci metod, které jej hodnotily, obdobné. Přestože má relativně nejlepší vlastnosti k tomu, aby byl použit jako chemická zbraň, představuje nejmenší riziko z hodnocených látek z důvodů nízké dostupnosti.

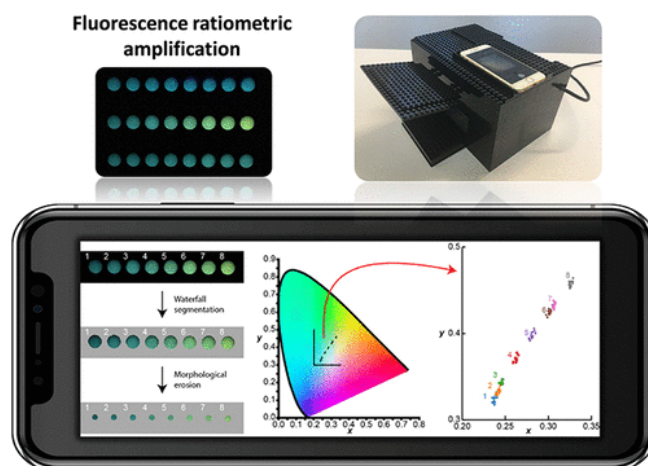
Mezi metodami by byl patrný větší rozdíl, pokud by byly testovány látky, které se produkují v relativně malém množství (například jen pro laboratorní účely), ale s optimálními vlastnostmi.

6.4 Hlavní hrozby při zneužití toxických průmyslových látek a možná opatření

Jedno z hlavních rizik, které toxické látky používané v průmyslu představují, je, že se často může jednat o látky tzv. dvojího užití: tyto látky mají své normální komerční užití, ale zároveň jejich vlastnosti umožňují jejich užití ke kriminální či teroristické aktivitě. Kvůli jejich komerčnímu využití není možné tyto látky přímo zakázat (často nemají adekvátní náhradu), nicméně pro své vlastnosti představují riziko, proto je nutné jejich užívání regulovat a pečlivě kontrolovat. Díky jejich dostupnosti, ve srovnání s konvenčními chemickými zbraněmi, se pro případného útočníka nabízí cesta, jak se k potřebné látce dostat legální cestou a nevzbudit příliš

pozornosti. Jeden ze způsobů může být například vytvoření účelově založené společnosti, která bude předstírat činnost, aby získala přístup k vybrané látce a zvládla ji nahromadit. Tento přístup například uplatnil Anders Breivik při teroristickém útoku v Oslu, kdy hlavní složku výbušniny získal jako hnojivo (až 6 tun) prostřednictvím účelově provozované farmy Breivik Geofarm. Podobná situace byla i v případě sekty Óm Šinrikjó, která pro výrobu sarinu vytvořila vlastní laboratoř Satyam 7 schopnou výroby v řádech několika tun látky ročně. (22) (51) (52)

Další problém s toxickými látkami spočívá v jejich samotném počtu. Pokud nebude k potenciálnímu teroristickému útoku zneužita široce užívaná látka, jakou je například chlór nebo čpavek, je dost dobře možné, že zasahující jednotky nebudou schopny látku detekovat, minimálně ne do příjezdu specializovaných chemických jednotek. Není samozřejmě reálné zavést do výzbroje řadových jednotek jednoduché detekční prostředky na každou nebezpečnou látku, která by potenciálně mohla být zneužita, a stejně tak není reálné masově zavést multikomponentní analyzátoři a jiné detektory kvůli jejich ceně a nárokům na obsluhu. Řešením této situace může být zavedení moderních detekčních prostředků, které byly vyvíjeny s důrazem na cenu a využití moderních technologií, které se s vývojem spotřebitelské techniky stávají dostupnější. Jednou z možných technologií využitelných pro takovéto detekční prostředky jsou tzv. kolorimetrická pole, která k detekci využívají různá detekční činidla a chemické reakce, přičemž výsledek se vyhodnocuje za pomoci digitálního fotoaparátu a počítače (případně pomocí mobilního telefonu) podle kombinací jednotlivých dílčích výsledků a reakcí. Výhodou této metody je, že je relativně levná a ve finální verzi může být i celkem jednoduchá na obsluhu. Další zajímavý směr vývoje v rámci levných detekčních prostředků představuje detektor schopný detekovat nervově paralytické látky typu G a V, který k tomu využívá mobilní telefon, ultrafialovou diodu a speciální temnou komoru sestavenou ze stavebnice Lego (Obrázek 24). (53) (54)



Obrázek 24 Detektor látek typu G a V, postavený ze stavebnice Lego, UV diody a mobilního telefonu (54)

Tato metoda je založena na spektrometrickém měření fluorescence (pod světlem UV diody v temné komoře), přičemž výsledek je zachycen na mobilní telefon, na kterém lze pak data ve speciální aplikaci i vyhodnotit. V případě, že by se podařilo rozšířit spektrum detekovaných látek, tak by se mohlo jednat o relativně dostupný prostředek, který by významně zvýšil schopnosti detekce různých chemických látek zasahujícími jednotkami. Vzhledem k očekávané nižší ceně by bylo možné těmito prostředky vybavit ideálně alespoň jednu jednotku požární ochrany v každé stanici HZS, čímž by se mohl výrazně zkrátit čas potřebný na prvotní identifikaci některých méně obvyklých nebezpečných látek, protože by nebylo nutné čekat na příjezd specializovaných jednotek s delšími dojezdovými časy. (54)

Vzhledem k charakteru chemických látek dvojího užití je komplikované vytvářet výraznější restrikce bez negativních dopadů na mírové použití těchto látek. Proto mezi hlavní směry snižování rizik plynoucích z užívání těchto látek patří autorizace přístupu k těmto látkám (ve smyslu pořízení), stanovení pravidel na jejich skladování, užívání a manipulaci s nimi a vytvoření systému na kontrolu těchto činností. V rámci bezpečnostní politiky ohledně látek dvojího užití lze v kontextu práce doporučit především prohlubování spolupráce a sdílení informací mezi subjekty, které s těmito látkami nakládají, dohlíží na nakládání s nimi, popřípadě se podílejí jiným podstatným způsobem. Určitým vzorem pro řešení problematiky zneužití TPL, jakožto látek dvojího užití, na státní a mezinárodní

úrovni představuje nařízení Evropského parlamentu a Rady Evropské unie č. 98/2013, které mimo jiné stanovuje povinnost hlásit podezřelé transakce, kdy potenciální zákazník není například schopen důvěryhodně vysvětlit použití dané látky či se jedná o neobvyklé množství, koncentraci či kombinaci s jinými látkami. Opatření tohoto typu mohou výrazně přispět k včasnému odhalení případného aktu chemického terorismu využívajícího TPL. (55)

7 ZÁVĚR

Hlavním předmětem diplomové práce byla problematika zneužití TPL pro chemický terorismus. V teoretické části je shrnuta historie chemické války, vznik a struktura Úmluvy o zákazu chemických zbraní. Pojednává také o mezinárodní skupině ITF-25, jejíž činnost a závěry sloužily jako hlavní inspirace pro vznik této práce. Dále jsou v teoretické části uvedeny důležité vlastnosti TPL, metody jejich detekce, využití v průmyslu, včetně s tím spojených rizik, a důležité aspekty chemického terorismu. V praktické části je navržen možný postup, jak pracovat s rizikem potenciálně zneužitelných chemických látek používaných v průmyslu. Za tímto účelem byla modifikována metoda pro předběžné zhodnocení zneužitelnosti chemických látek, která oproti jiným metodám klade větší důraz na možnosti detekce těchto látek, jejich dostupnost a vlastnosti významně ovlivňující jejich případné zneužití. Cílem bylo vytvoření metody hodnocení, která je relevantnější z pohledu chemického terorismu a může sloužit jako nástroj pro včasné vytipování rizikových látek. Na to navazuje experimentální ověření možností detekce vybraných látek s využitím jednoduchých detekčních prostředků, kterými již disponují zásahové jednotky.

Mezi hlavní přínosy práce patří vypracování metody, která může dále sloužit jako nástroj pro řešení rizik plynoucích ze zneužití TPL, přičemž se snaží uplatňovat odlišnou perspektivu na problematiku než metody předchozí. Hlavním přínosem experimentálního ověření možností detekce je ověření funkčnosti myšlenky improvizovaného řešení pro detekci méně obvyklých nebezpečných látek, které spočívá ve falešně pozitivní reakci detekčních prostředků, které pro tuto látku nejsou přímo určeny. To bylo prokázáno u 2-(butylamino)ethanthiol (sloužil jako náhrada za methylmerkaptan), na který pozitivně reagovalo několik typů trubiček, které byly určeny k detekci jiných látek. Je zřejmé, že je možné (po provedení dalších potřebných měření) efektivně rozšířit možnosti detekce rizikových látek jednoduchými detekčními prostředky. V praxi by to mohlo vypadat tak, že na

základě komplexnějšího testování by vznikly detekční karty s informacemi o tom, k jakým falešně pozitivním reakcím dochází a při jakých koncentracích. Tyto karty by mohly být součástí již zavedených sad detekčních prostředků.

Mezi hlavní cíle, které si tato práce dává, je upozornit na rizika, která mohou představovat TPL z hlediska chemického terorismu a navrhnout možný postup, jak se s tímto problémem potýkat. Ačkoliv v rámci vývoje konvenčních chemických zbraní v minulosti platil trend zvyšování toxicity BCHL (a současně kladení nároků na detekci a zjednodušování manipulace), tento trend nemusí platit u chemického terorismu. TPL mohou představovat látky dvojího užití, které pro případného útočníka mohou být zajímavou alternativou, především díky lepší dostupnosti, která může kompenzovat menší efektivitu. Vzhledem k množství látek takto potenciálně zneužitelných je obtížné se na ně cíleně připravovat, proto se tato práce zaměřila na vytvoření postupu, který by tuto přípravu (a případnou další preventivní činnost) zefektivnil. V rámci diskuze byly mimo jiné zmíněny paralely, které tato problematika sdílí s jinými způsoby zneužití chemických látek a možná opatření, jak se s tím vypořádat. Největším přínosem této práce by bylo, pokud by pomohla vyvolat diskusi na téma zneužitelnosti TPL pro chemický terorismus nebo alespoň inspirovala k dalšímu zkoumání problému.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AC – Kyanovodík (13)

AEGL 1 – Acute Exposure Guideline Levels – Koncentrace nebezpečné látky, která u běžné populace může způsobit podráždění nebo nepohodlí, účinky jsou dočasné a nemají oslabující charakter (42)

AEGL 2 – Acute Exposure Guideline Levels – Koncentrace nebezpečné látky, která u běžné populace může způsobit dlouhodobé, případně až nevratné, nepříznivé zdravotní účinky. Rovněž může dojít k omezení schopnosti úniku ze zasažené oblasti (42)

BCHL – Bojová chemická látka

CANUKUS – Termín pro vojenské jednotky Kanady (CAN), Spojeného Království (UK) a Spojených států amerických (US) používaný v závěrečné zprávě ITF – 25

CG – Fosgen (13)

CK – Chlorkyan (13)

CWC – Chemical Weapon Convention – Úmluva o zákazu chemických zbraní

DP – Difosgen (13)

IDLH – Immediately Dangerous to Life or Health – Okamžitě nebezpečné pro život a zdraví, označení pro určitou nebezpečnou úroveň koncentrace chemické látky

ITF-25 – International Task Force 25 – Mezinárodní účelové uskupení 25

IZ – Index zneužitelnosti

HD – Sírný yperit (13)

HN – Dusíkatý yperit (13)

L – Lewisit (13)

HI – Hazard Index – Index nebezpečnosti (26)

LD – Lethal Dose – Smrtelná dávka (42)

LCt – Lethal Concentrace – Smrtelná koncentrace (42)

NPK-P – Nejvyšší přípustná koncentrace chemických látek v pracovním ovzduší (42)

OTV – Odor Threshold Value – Hranice zápachu – Koncentrace, při které je už rozpoznatelný zápach chemické látky

PEL – Přípustné expoziční limity (42)

TIC – Toxic Industrial Chemical – Toxická průmyslová látka

TPL – Toxická průmyslová látka

ZHN – Zbraně hromadného ničení

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) PITSCHMANN, Vladimír, Emil HALÁMEK a Zbyněk KOBLIHA. *Boj ohněm, dýmem a jedy: nejstarší historie vojenského použití chemických a zápalných látek a vznik moderní chemické války*. Kounice: Military System Line, 2001. ISBN 80-902-6692-4.
- (2) PITSCHMANN, Vladimír. *Chemici v laboratoři a na bitevním poli: kapitoly z dějin chemických, toxinových a zápalných zbraní : období od roku 1914 do roku 1945*. Praha: Naše vojsko, 2012. ISBN 978-80-206-1298-4.
- (3) MATOUŠEK, Jiří a Petr LINHART. *CBRN: chemické zbraně*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. ISBN 80-866-3471-X.
- (4) GILCHRIST, Harry. *A Comparative Study of World War Casualties from Gas and Other Weapons*. Washington: USGPO, 1928.
- (5) PITSCHMANN, Vladimír. *Chemická válka ve věku atomu a DNA: kapitoly z dějin chemických, toxinových a zápalných zbraní : období od roku 1945 do roku 2015*. Praha: Naše vojsko, 2016. ISBN 978-80-206-1632-6.
- (6) EVERETS, Sarah. *A Brief History of Chemical War*. *Science History Institute* [online]. b.r. [cit. 2019-01-27]. Dostupné z: <https://www.sciencehistory.org/distillations/magazine/a-brief-history-of-chemical-war>

- (7) KUPFERSCHMIDT, Kai. Anthrax genome reveals secrets about a Soviet bioweapons accident. *Science* [online]. 2016 [cit. 2019-02-06]. DOI: 10.1126/science.aah7194. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <http://www.sciencemag.org/news/2016/08/anthrax-genome-reveals-secrets-about-soviet-bioweapons-accident>
- (8) KŘÍŽKOVÁ, Jaroslava a Tereza VITVAROVÁ. 20 let úmluvy o zákazu chemických zbraní. *Chemické listy* [online]. 2017, 111(4), 283-301 [cit. 2019-04-29]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/94/94>
- (9) Member States. *OPCW* [online]. Haag, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.opcw.org/about-us/member-states>
- (10) *Úmluva o zákazu vývoje, výroby, hromadění zásob a použití chemických zbraní a o jejich zničení* [online]. b.r. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/zakaz-zbrani/Umluva_CW.pdf
- (11) STŘEDA, Ladislav, Bedřich UCHYTIL a Tomáš STŘEDA. *Chemické látky Seznamu 2 a 3 podle Úmluvy o zákazu chemických zbraní*. První. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2006. ISBN 80-866-4052-3.
- (12) Zákaz chemických zbraní. *SÚJB* [online]. Praha, b.r. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/zakaz-chemickyh-zbrani/>
- (13) PATOČKA, Jiří. *Vojenská toxikologie*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0608-3.

- (14) BALOG, Karol a Ivana BARTLOVÁ. *Základy toxikologie*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1998. ISBN 80-861-1129-6.
- (15) PATOČKA, Jiří. *Základy toxikologie (Kapitoly I až III)*. *Toxicology: Prof. RNDr. Jiří Patočka, DrSc.* [online]. b.r. [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <http://www.toxicology.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=10>
- (16) Major accident hazards The Seveso Directive: Technological Disaster Risk Reduction. *European Commission: Environment* [online]. b.r. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/environment/seveso/index.htm>
- (17) Prevence závažných havárií. *HZS Hlavního města Prahy* [online]. Praha: Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2019 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/krizove-rizeni-a-cnp-prevence-zavaznych-havarii-prevence-zavaznych-havarii.aspx>
- (18) Nebezpečné chemické látky. *Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. b.r. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/docDetail.aspx?docid=21696875&doctype=ART&chum=2#Fosgen>
- (19) Nebezpečné chemické látky: Sirouhlík CS₂. *Hasičský záchranný sbor české republiky* [online]. Praha, 2012 [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/docDetail.aspx?docid=21696875&doctype=ART&chum=2#Sirouhlik>
- (20) JANOŠEC, Josef. *O terorismu: pro pracovníky bezpečnostního systému*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010.

Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-097-5.

- (21) TESSLER, Robert, Stephen MOONEY, Cordelie WITT, Kathleen O'CONNELL, Jessica JENNESS, Monica VAVILALA a Frederick RIVARA. Use of Firearms in Terrorist Attacks. *JAMA Internal Medicine* [online]. 2017, 177(12) [cit. 2019-02-24]. DOI: 10.1001/jamainternmed.2017.5723. ISSN 2168-6106. Dostupné z: <http://archinte.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jamainternmed.2017.5723>
- (22) OLSON, Kyle. Aum Shinrikyo: Once and Future Threat?. *Emerging Infectious Diseases* [online]. 1999, 5(4), 413-416 [cit. 2019-02-23]. DOI: 10.3201/eid0504.990409. ISSN 1080-6040. Dostupné z: https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/5/4/99-0409_article
- (23) BENNETT, Mindy. TICs, TIMs and Terrorists: Commodity chemicals take on a sinister role as potential terrorist tools. In: *TODAY ' S CHEMIST AT WORK* [online]. ACS Publications, 2003 [cit. 2019-04-17]. ISSN 1532-4494.
- (24) KOSAL, Margaret. *Terrorism Targeting Industrial Chemical Facilities: Strategic Motivations and the Implications for U.S. Security* [online]. 2007, 29(7), 719-751 [cit. 2019-03-24]. DOI: 10.1080/10576100600702006. ISSN 1057-610X. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10576100600702006>
- (25) PITSCHMANN, Vladimír. *Chemické zbraně a ochrana proti nim*. Praha: Manus, 2011. ISBN 978-80-86571-09-6.

- (26) *Memorandum of Understanding on Research, Development, Production and Procurement of Chemical and Biological Defensive Materiel: Final Report of International Task Force-25 Hazard from Toxic Industrial Chemicals*. 1996.
Dostupné také z: <http://wla.1-s.es/us-uk-ca-mou-itf25-1996.pdf>
- (27) CAS REGISTRY: The gold standard for chemical substance information. CAS [online]. Washington: American Chemical Society, b.r. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.cas.org/support/documentation/chemical-substances>
- (28) Registrované látky. *European Chemicals Agency* [online]. Helsinki, b.r. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/information-on-chemicals/registered-substances>
- (29) PITSCHMANN, Vladimír. *Analýza toxických látek detekčními trubičkami*. 2., upr. vyd. Drahelčice: Econt Consulting, 2005. ISBN 80-866-6403-1.
- (30) Detekční papírky PP-3. *Oritest* [online]. b.r. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.oritest.cz/produkty/detekcni-prostredky/detekcni-papirky-a-prouzky/pp-3/>
- (31) SIGMA-ALDRICH. *Bezpečnostní list: Hydrazine solution*. Praha, 2015.
Dostupné také z:
<https://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/PleaseWaitMSDSPage.do?language=&country=CZ&brand=ALDRICH&productNumber=433632&PageToGoToURL=https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/433632?lang=en®ion=CZ>

- (32) Hydrazine, Anhydrous. *Cameo Chemicals* [online]. USA: National Oceanic and Atmospheric Administration, b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/5019>
- (33) NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards: Hydrazine. *The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)* [online]. USA: CDC, b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0329.html>
- (34) NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards: Tetrahydrofuran. *The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)* [online]. USA: CDC, b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0602.html>
- (35) Tetrahydrofuran. *Cameo Chemicals* [online]. USA: National Oceanic and Atmospheric Administration, b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/1582>
- (36) LAY, Manchiu, Mitchell SAUERHOFF a Donald SAUNDERS. Carbon Disulfide. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* [online]. Weinheim: Wiley-VCH, 2000 [cit. 2019-04-25]. DOI: 10.1002/14356007.a05_185. Dostupné z: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/14356007.a05_185
- (37) SIGMA-ALDRICH. *Bezpečnostní list: Carbon disulfide, ACS reagent, ≥ 99.9%*. Praha, 2019. Dostupné také z: <https://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage.do?country=CZ&language=cs&productNumber=180173&brand=SIGALD&PageTo>

GoToURL=https%3A%2F%2Fwww.sigmaaldrich.com%2Fcatalog%2Fproduct%2Fsigald%2F180173%3Flang%3Den

- (38) Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH): Carbon disulfide. *CDC* [online]. CDC: The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/75150.html>
- (39) SIGMA-ALDRICH. *Bezpečnostní list: 2 - (Butylamino)ethanethiol*. Praha, 2019. Dostupné také z: <https://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage.do?country=CZ&language=cs&productNumber=B89507&brand=ALDRICH&PageToGoToURL=https%3A%2F%2Fwww.sigmaaldrich.com%2Fcatalog%2Fproduct%2Faldrich%2Fb89507%3Flang%3Den>
- (40) Methyl Mercaptan. *Cameo Chemicals* [online]. USA: National Oceanic and Atmospheric Administration, b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/3950>
- (41) NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards: Methyl mercaptan. *The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)* [online]. CDC, b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0425.html>
- (42) VÝZKUMNÝ ÚSTAV BEZPEČNOSTI PRÁCE. *Výkladový terminologický slovník některých pojmů používaných v analýze a hodnocení rizik pro účely zákona o prevenci závažných havárií* [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2016 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z:

<http://www.vubp.cz/images/soubory/prevence-zavaznych-havarii/metodiky/vykladovy-terminologicky-slovník-11-2016-final.pdf>

- (43) NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 15*. Washington, DC: The National Academies Press, 2013. ISBN 978-0-309-29122-4. DOI: 10.17226/18449. Dostupné také z: <https://doi.org/10.17226/18449>.
- (44) TICs DETECTION TUBES: Detection tubes for most common TICs. *Oritest* [online]. b.r. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.oritest.cz/wp-content/uploads/2018/06/Tubes-TIC-brochure-2018-3.pdf>
- (45) CWA DETECTION TUBES. *Oritest* [online]. b.r. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.oritest.cz/wp-content/uploads/2017/12/Tubes-CWA-brochure-2012.pdf>
- (46) *CAMEO Chemicals* [online]. USA: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/>
- (47) *Sigma-Aldrich* [online]. Merck KGaA, 2019 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/czech-republic.html>
- (48) SVOBODOVÁ, Kateřina. *Malodoranty jako potenciální složky neletálních chemických zbraní*. Kladno, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Vladimír Pitschmann.

- (49) BLÁHOVÁ, Markéta a Václav VOPÁLENSKÝ. Příspěvek k hodnocení rizik toxických chemických látek vyráběných v ČR. *CHEMAGAZÍN*. Pardubice: CHEMAGAZÍN, 2011, **21**(3), 12-14. ISSN 1210-7409.
- (50) Toxic Industrial Chemicals. *Journal of the Royal Army Medical Corps*. 2002, **148**(4), 371-381. DOI: 10.1136/jramc-148-04-06. ISSN 0035-8665. Dostupné také z: <http://jramc.bmj.com/lookup/doi/10.1136/jramc-148-04-06>
- (51) Anders Behring Breivik Biography. *Biography* [online]. b.r. [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.biography.com/crime-figure/anders-behring-breivik>
- (52) WALTERS, Douglas, Pauline HO a Jasper HARDESTY. Safety, security and dual-use chemicals. *Journal of Chemical Health and Safety*. 2015, **22**(5), 3-16. DOI: 10.1016/j.jchas.2014.12.001. ISSN 18715532. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1871553214001297>
- (53) KANGAS, Michael, Raychelle BURKS, Jordyn ATWATER, Rachel LUKOWICZ, Pat WILLIAMS a Andrea HOLMES. Colorimetric Sensor Arrays for the Detection and Identification of Chemical Weapons and Explosives. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2016, **47**(2), 138-153. DOI: 10.1080/10408347.2016.1233805. ISSN 1040-8347. Dostupné také z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408347.2016.1233805>
- (54) SUN, Xiaolong, Alexander BOULGAKOV, Leilani SMITH, Pedro METOLA, Edward MARCOTTE a Eric ANSLYN. Photography Coupled with Self-Propagating Chemical Cascades: Differentiation and Quantitation of G- and V-Nerve Agent Mimics via Chromaticity. *ACS Central Science*. 2018, **4**(7), 854-861. DOI: 10.1021/acscentsci.8b00193. ISSN

2374-7943. Dostupné také z:

<http://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscentsci.8b00193>

- (55) Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 98/2013: o uvádění prekurzorů výbušnin na trh a o jejich používání. In: *Úřední věstník Evropské unie*. b.r., ročník 2013, číslo 98. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0098>

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Grafické znázornění základních úrovní účinku otravných látek (3).....	34
Obrázek 2 Vpravo nasávací zařízení Universal 86, vlevo balení roztoku 1M hydrazinu v tetrahydrofuranu, vzadu zařízení sloužící k přípravě trubiček (na odlamování konců trubiček a rozbíjení ampulek s činidly) (zdroj: autor)	50
Obrázek 3 Detekční papírky PP-3 ve verzi pro export vyrobené společností Oritest (zdroj: autor)	52
Obrázek 4 Testování detekční trubičky vůči parám hydrazinu (zdroj: autor)	57
Obrázek 5 DT-13.1: nahoře nepoužitá trubička, dole negativní výsledek na hydrazin (zdroj: autor)	57
Obrázek 6 DT-16: nahoře nepoužitá trubička, dole negativní trubička vystavení hydrazinu vpravo (zdroj: autor)	58
Obrázek 7 DT-16: nahoře negativní trubička na hydrazin, dole tzv. slepá trubička (zdroj: autor)	59
Obrázek 8 DT-007: nahoře nepoužitá trubička, dole pozitivní trubička exponovaná nasyceným parám sirouhlíku (zdroj: autor)	63
Obrázek 9 DT-005X: nahoře nepoužitá trubička, uprostřed použitá tzv. slepá (nevystavená testované látce) a dole pozitivní trubička vystavená sirouhlíku (zdroj: autor)	63
Obrázek 10 DT-13.1 nahoře nepoužitá trubička, dole negativní trubička vystavená sirouhlíku (zdroj: autor).....	65
Obrázek 11 DT-16: vlevo nepoužitá trubička, uprostřed negativní trubička vystavená nasyceným parám sirouhlíku, vpravo tzv. slepá (byl skrze ni prosát čistý vzduch) (zdroj: autor)	66
Obrázek 12 DT-12: nahoře nepoužitá trubička, dole negativní trubička vystavená nasyceným parám sirouhlíku (zdroj: autor)	67

Obrázek 13 DT-007: nahoře nepoužitá trubička, uprostřed pozitivní trubička vystavená koncentraci 100 mg/m ³ , dole pozitivní trubička vystavená koncentraci 10 mg/m ³ (zdroj: autor)	68
Obrázek 14 DT-005X: Nahoře nepoužitá trubička, uprostřed tzv. slepá trubička (byl skrze ni prosát jen čistý vzduch), dole negativní trubička vystavená 1l vzduchu s koncentrací sirouhlíku 100 mg/m ³ (zdroj: autor).....	69
Obrázek 15 Na nasávacím zařízení Universal 86 nasazená trubička DT-008 připojená k testovací komoře (vpravo) (zdroj: autor).....	72
Obrázek 16 DT-008: nahoře nepoužitá trubička, dole pozitivní trubička na nasyčené páry 2-(butylamino)ethanethiolu (zdroj: autor).....	72
Obrázek 17 DT-008: porovnání neotevřené detekční trubičky (na fotografii dole) s trubičkou vystavené koncentraci 200 mg/m ³ (zdroj: autor).....	73
Obrázek 18 DT-008: porovnání neotevřené trubičky (na fotografii dole) a trubičky vystavené koncentraci 100 mg/m ³ (zdroj: autor)	73
Obrázek 19 PP-3: zadní strana bločku detekčních papírku s etalony pro vyhodnocení (zdroj: autor)	74
Obrázek 20 PP-3: reakce detekčního papírku na sirouhlík (zdroj: autor)	74
Obrázek 21 PP-3: detekční papírek reagující na ethanol (96%) (zdroj: autor)	75
Obrázek 22 PP-3: detekční papírek s 2-(butylamino)ethanthiolem (zdroj: autor) ...	75
Obrázek 23 Snímek detekční trubičky DT-005 (horní) a detekční trubičky DT-005-X, obě exponované 2-butylaminoethanthiolu (koncentrace 100 mg.m-3, 10 zdvihů) (48)	89
Obrázek 24 Detektor látek typu G a V, postavený ze stavebnice Lego, UV diody a mobilního telefonu (54)	94

11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 Použité detekční trubičky z výroby společnosti Oritest (Praha), jejich označení a vlastnosti (29)	51
Tabulka 2 Tabulka ze závěrečné zprávy ITF-25 s kritérii a parametry pro hodnocení HI TPL (26)	53
Tabulka 3 Důležité vlastnosti hydrazinu a tetrahydrofuranu (31) (32) (33) (34) (35)	56
Tabulka 4 Souhrnné výsledky testování nasycených par hydrazinu.....	61
Tabulka 5 Důležité vlastnosti sirouhlíku (37) (38).....	62
Tabulka 6 Souhrnné výsledky pro testování detekčních trubiček na sirouhlík (zdroj: autor).....	69
Tabulka 7 Důležité vlastnosti 2-(butylamino)ethanthiolu a methylmerkaptanu (39) (40) (41)	71
Tabulka 8 Tabulka pro určení náhradního parametru hodnocení.....	78
Tabulka 9 Tabulka hodnocení toxicity (26).....	79
Tabulka 10 Tabulka pro hodnocení skupenství (26)	79
Tabulka 11 Tabulka pro hodnocení komerční dostupnosti	80
Tabulka 12 Tabulka pro hodnocení smyslové detekce chemických látek	81
Tabulka 13 Tabulka hodnocení možností detekce za pomoci detekčních prostředků	82
Tabulka 14 Vzorové vyhodnocení vybraných látek.....	84
Tabulka 15 Porovnání hodnocení vybraných látek v rámci jednotlivých metod (49) (50)	91

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Tabulka nejvíce nebezpečných toxických průmyslových látky podle ITF-25 113

Příloha 1: Tabulka nejvíce nebezpečných toxických průmyslových látky podle ITF-25

TABLE 3: HAZARD INDEX RANKING

HIGH	MEDIUM	LOW
ammonia	acetone cyanohydrin	allyl isothiocyanate
arsine	acrolein	arsenic trichloride
boron trichloride	acrylonitrile	bromine
boron trifluoride	allyl alcohol	bromine chloride
carbon disulfide	allyl amine	bromine pentafluoride
chlorine	allyl chlorocarbonate	bromine trifluoride
diborane	boron tribromide	carbonyl fluoride
ethylene oxide	carbon monoxide	chlorine pentafluoride
fluorine	carbonyl sulfide	chlorine trifluoride
formaldehyde	chloroacetone	chloroacetaldehyde
hydrogen bromide	chloroacetonitrile	chloroacetyl chloride
hydrogen chloride	chlorosulfonic acid	cyanogen
hydrogen cyanide	crotonaldehyde	diphenylmethane-4'-diisocyanate
hydrogen fluoride	diketene	ethyl chloroformate
hydrogen sulfide	1,2-dimethyl hydrazine	ethyl chlorothioformate
nitric acid, fuming	dimethyl sulfate	ethylene imine
phosgene	ethylene dibromide	ethyl phosphonothioicdichloride
phosphorus trichloride	hydrogen selenide	ethyl phosphonous dichloride
sulfur dioxide	iron pentacarbonyl	hexachlorocyclopentadiene
sulfuric acid	methanesulfonyl chloride	hydrogen iodide
tungsten hexafluoride	methyl bromide	isobutyl chloroformate
	methyl chloroformate	isopropyl chloroformate
	methyl chlorosilane	isopropyl isocyanate
	methyl hydrazine	n-butyl chloroformate
	methyl isocyanate	nitric oxide
	methyl mercaptan	n-propyl chloroformate
	n-butyl isocyanate	parathion
	nitrogen dioxide	perchloromethyl mercaptan
	phosphine	sec-butyl chloroformate
	phosphorus oxychloride	sulfuryl fluoride
	phosphorus pentafluoride	tert-butyl isocyanate
	selenium hexafluoride	tetraethyl lead
	silicon tetrafluoride	tetraethyl pyrophosphate
	stibine	tetramethyl lead
	sulfur trioxide	toluene 2,4-diisocyanate
	sulfuryl chloride	toluene 2,6-diisocyanate
	tellurium hexafluoride	
	tert-octyl mercaptan	
	titanium tetrachloride	
	trichloroacetyl chloride	
	trifluoroacetyl chloride	