

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra zdravotnických oborů a ochrany
obyvatelstva

Disertační práce

srpen, 2024

Tomáš Kratina

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra zdravotnických oborů a ochrany
obyvatelstva

Možnosti ochrany metra před účinky vybraných chemických toxických látek

Disertační práce

Tomáš Kratina

Kladno, srpen, 2024

Doktorský studijní program: *Ochrana obyvatelstva*
Studijní obor: *Civilní nouzová připravenost*

Školitel: *prof. Ing. Vladimír Pitschmann, CSc.*

Czech Technical University in Prague
Faculty of Biomedical Engineering
Department of Health Sciences and Population Protection

Doctoral Thesis

August, 2024

Tomáš Kratina

Czech Technical University in Prague
Faculty of Biomedical Engineering
Department of Health Sciences and Population Protection

The Protection Options for Subways from Selected Toxic Chemicals

Doctoral Thesis

Tomáš Kratina

Kladno, august 2024

Ph.D. Programme: *Population protection*

Branch of study: *Civilian emergency preparedness*

Supervisor: *prof. Ing. Vladimír Pitschmann, CSc.*

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem „Možnosti ochrany metra před účinky vybraných chemických toxických 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), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne 2024

.....
Tomáš Kratina

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě patří poděkování mému školiteli panu prof. Ing. Vladimíru Pitschmannovi, CSc. za jeho četné rady, značnou trpělivost a čas, který mi věnoval. Zároveň velké poděkování patří panu Ing. Lukáši Matějovskému, Ph.D., z Vysoké školy chemicko-technologické, za jeho čas, energii a vervu, s nimiž se mnou pracoval na experimentální části zabývající se detekcí dráždivých látek. Panu MUDr. Michalu Matyáškoví a Mgr. Evě Matyáškové (oba Fakultní nemocnice v Motole) děkuji za možnost konzultace medicínských témat. V neposlední řadě pak mé matce Renatě Kratinové za podporu a celému kolektivu mých kolegů z Národní protidrogové centrály SKPV PČR, Oddělení koordinace, vzdělávání a strategie.

Abstrakt

Disertační práce je zaměřena na ochranu podzemních kolejových drah před účinky chemických toxických látek. Primární cíl práce spočívá v experimentálním vývoji nových jednoduchých kolorimetrických metod detekce dráždivých látek *o*-chlorbenzylidenmalononitrilu (látky CS) a vanilylamidu kyseliny pelargonové (PAVA). Další stanovené cíle spočívají v provedení analýzy stávajících organizačních opatření, jako netechnického zajištění ochrany podzemních drah. Cílem je také zhodnocení stavebně-technických nedostatků na nástupištích, které mohou přispět k zesílení škodlivých dopadů použití chemických toxických látek.

Odůvodněnost vývoje nových terénních detekčních metod a dalších částí zahrnutých do disertační práce je posuzována na základě autorem zpracované analýzy teroristických útoků cílených proti podzemním drahám. Ve sledovaném období 1990–2020 bylo prakticky po celém světě spácháno nejméně 78 útoků, při kterých bylo usmrceno okolo 800 osob a 8900 jich bylo zraněno. Za významnou bezpečnostní hrozbu pro podzemní dráhy považujeme chemický terorismus.

Experimentální část disertační práce je založena na laboratorním vývoji nových kolorimetrických metod s důrazem na vysokou citlivost, selektivitu, odolnost vůči rušivým vlivům a termostabilitu. Identifikace bezpečnostních nedostatků na nástupištích byla zjišťována terénním empirickým pozorováním společně s metodami indukce a dedukce.

Pro terénní kolorimetrickou detekci aerosolů látky CS byly navrženy dvě nové metody (reakce s isatinem a ninhydrinem) a pro látku PAVA celkem pět nových metod (reakce s chloridem železitým a červenou krevní solí; reakce s Folin-Ciocalteu činidlem; reakce s Marquisovým činidlem; diazotačně-kopulační reakce s 4,4'-sulfonyldianilinem; reakce s Gibbsovým činidlem). Metody detekce PAVA jsou vhodné i pro detekci ostatních kapsaicinoidů. Empirickým pozorováním byla odhalena a popsána celá řada nedostatků na nástupištích metra. Jejich přítomnost má v kontextu chemického teroristického útoku synergickou schopnost zesílit jeho škodlivé dopady, zvláště při vzniku davového panického chování. Analýza právních předpisů odhalila jejich neuspokojivý stav a zejména roztržitost s nejasným ukotvením ochrany metra a pasažérů před chemickým teroristickým útokem.

Vyvinuté kolorimetrické metody jsou na základě výsledků testování prakticky využitelné v terénních i laboratorních podmínkách nebo mohou sloužit jako nástroj pro zajištění kriminalisticky relevantních latentních stop *ex post* po teroristickém útoku. Celkově nové

předložené metody rozšiřují škálu možností, kterými lze identifikovat bojové chemické látky, a přispívají tím ke zvýšení bezpečnosti a ochraně obyvatelstva. Autorem zjištěné a popsané nedostatky na nástupišťích metra mohou sloužit pracovníkům Dopravního podniku hl.m. Prahy, a.s.

Klíčová slova: bezpečnost; podzemní dráhy; chemický terorismus; kolorimetrické detekční prostředky; dráždivé látky; fentanyl; davové panické chování

Abstract

The doctoral thesis focuses on the protection of underground railways from the effects of chemical toxic substances. The primary aim of the work lies in the experimental development of new simple colorimetric methods for detecting the irritants *o*-chlorobenzylidenemalononitrile (CS gas) and pelargonic acid vanillylamide (PAVA). Additional goals include conducting an analysis of existing organizational measures, such as non-technical protections for underground railways. The dissertation also aims to assess construction and technical deficiencies at platforms that could exacerbate the harmful impacts of chemical toxic substances.

The justification for developing new field detection methods and other parts of the dissertation is based on an analysis of terrorist attacks targeting underground railways conducted by the author. During the period from 1990 to 2020, at least 78 attacks were carried out worldwide, resulting in approximately 800 deaths and 8,900 injuries. Chemical terrorism is considered a significant security threat to underground railways.

The experimental part of the dissertation is based on the laboratory development of new colorimetric methods with an emphasis on high sensitivity, selectivity, resistance to interference, and thermostability. The identification of safety deficiencies at platforms was determined through field empirical observation, combined with methods of induction and deduction.

For the field colorimetric detection of CS gas aerosols, two new methods were proposed (reactions with isatin and ninhydrin), and for PAVA, a total of five new methods were proposed (reaction with ferric chloride and potassium ferricyanide; reaction with Folin-Ciocalteu reagent; reaction with Marquis reagent; diazotization-coupling reaction with 4,4'-sulfonyldianiline; reaction with Gibbs reagent). The detection methods for PAVA are also suitable for detecting other capsaicinoids. Empirical observation revealed and described a range of deficiencies at metro platforms. Their presence, in the context of a chemical terrorist attack, has a synergistic ability to amplify its harmful impacts, particularly with the emergence of crowd panic behavior. The analysis of legal regulations revealed their unsatisfactory state and particularly fragmentation, with unclear provisions for the protection of the metro and passengers against chemical terrorist attacks.

The developed colorimetric methods, based on test results, are practically usable in both field and laboratory conditions, or they can serve as a tool for ensuring forensically relevant latent

traces post-terrorist attack. Overall, the new methods presented expand the range of possibilities for identifying chemical warfare agents, thereby contributing to increased safety and protection of the population. The deficiencies at metro platforms identified and described by the author can serve the employees of the Prague Public Transit Company.

Keywords: security; subways; chemical terrorism; colorimetric determination methods; riot control agents; fentanyl; crowd panic behaviour

Obsah disertační práce

1 ÚVOD	1
2 CÍLE PRÁCE	3
3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU	4
3.1 Bezpečnost, hrozba, riziko, safety & security	4
3.1.1 Hrozba, riziko	4
3.1.2 Safety & security	6
3.2 TERORISMUS	8
3.2.1 Formy terorismu	9
3.2.2 Chemický terorismus	12
3.3 CHEMICKÉ TOXICKÉ LÁTKY	13
3.3.1 Bojové chemické látky	13
3.3.2 Průmyslové významné toxické látky	15
3.4 KONTROLA ŠÍŘENÍ CHEMICKÝCH ZBRANÍ	16
3.4.1 Úmluva o zákazu chemických zbraní	16
3.4.2 Organizace pro zákaz chemických zbraní	17
3.4.3 Státní úřad pro jadernou bezpečnost	18
3.5 DRÁHY SPECIÁLNÍ (METRO)	18
3.5.1 Obecná charakteristika	18
3.5.2 Dráhy speciální (Metro) pražské městské hromadné dopravy	19
3.6 PRÁVNÍ PŘEDPISY UPRAVUJÍCÍ OCHRANU PODZEMNÍCH DRAH	21
3.6.1 Evropské (unijní) předpisy	21
3.6.2 Národní předpisy	23
3.7 DAVOVÉ PANICKÉ CHOVÁNÍ	30
3.8 VYBRANÉ CHEMICKÉ TOXICKÉ LÁTKY	32
3.8.1 Zdůvodnění výběru	32
3.8.2 o-chlorbenzyliden malonitril – vlastnosti a detekce	32
3.8.2.1 Současné prostředky detekce látky CS	34
3.8.3 Vanillylamid kyseliny pelargonové (PAVA, nonivamid) – vlastnosti a detekce	35
3.8.3.1 Současné prostředky detekce PAVA	36
3.8.4 Fentanyl a jeho analoga – vlastnosti	36
3.9 DÍLČÍ ZÁVĚRY K SOUČASNÉMU STAVU	39

4 METODIKA	40
4.1 METODIKA ANALÝZY A ZPRACOVÁNÍ DAT A INFORMACÍ	40
4.1.1 Analýza organizačních a technických možností ochrany metra	40
4.1.2 Analýza zjevných nedostatků vnitřní bezpečnosti nástupišť	41
4.2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	41
4.2.1 Použité chemikálie	41
4.2.2 Použité přístroje a pomůcky	42
4.2.3 Pracovní postupy a vyhodnocení	42
4.2.3.1 Čištění nosičů	42
4.2.3.2 Impregnace nosičů a příprava činidel	42
4.2.3.3 Příprava detekčních trubiček	43
4.3 ZPŮSOBY TESTOVÁNÍ	44
4.3.1 Testování detekčních trubiček	44
4.3.2 Testování detekčních papírů	44
4.3.3 Testování v roztoku	45
4.4 ZPŮSOBY VYHODNOCENÍ	45
4.4.1 Tristimulus kolorimetr	45
4.4.2 Mobilní aplikace Color analysis	45
5 VÝSLEDKY	47
5.1 ROZBOR TERORISTICKÝCH ÚTOKŮ SPÁCHANÝCH V PODZEMNÍCH DRAHÁCH Z OBDOBÍ 1990–2020	47
5.1.1 Vyhodnocení	52
5.1.2 Dílčí závěry	55
5.2 TECHNICKÉ A ORGANIZAČNÍ MOŽNOSTI OCHRANY PODZEMNÍCH DRAH	57
5.2.1 Detekce, dekontaminace, prostředky ochrany, první pomoc	58
5.2.1.1 Terénní detekce látek CS, PAVA a fentanylu	58
5.2.1.2 Dekontaminace látek CS, PAVA a fentanylu	59
5.2.1.3 Osobní ochranné prostředky	59
5.2.1.4 První pomoc při zasažení dráždivými látkami (CS, PAVA)	61
5.2.1.5 První pomoc při zasažení fentanylem	62
5.2.2 Zjištěné zjevné nedostatky na nástupištech (a rizika větracích šachet)	63
5.2.2.1 Význam členitosti nástupiště z hlediska vzniku davového panického chování	70

5.2.2.2 Rizika větracích šachet – nadzemních budov podzemních drah	76
5.2.3 Vyhodnocení analýzy mezinárodních a národních předpisů	77
5.2.4 Dílčí závěry	82
5.3 NÁVRHY NOVÝCH JEDNODUCHÝCH PROSTŘEDKŮ DETEKCE O- CHLORBENZYLIDEN MALONITRILU	84
5.3.1 Detekce s použitím isatinu	84
5.3.1.1 Princip reakce a optimalizace reakčních podmínek	84
5.3.1.2 Citlivost a detekční limit	86
5.3.1.3 Rušivé vlivy	87
5.3.1.4 Tepelná stabilita	88
5.3.1.5 Detekční papíry	88
5.3.1.6 Spektrofotometrické měření v roztoku	89
5.3.1.7 Použití mobilní aplikace Color analysis	90
5.3.2 Detekce s použitím ninhydrinu	91
5.3.2.1 Princip reakce a optimalizace reakčních podmínek	91
5.3.2.2 Citlivost a detekční limit	93
5.3.2.3 Tepelná stabilita metody s isatinem a ninhydrinem	94
5.3.2.4 Detekční papíry	95
5.3.3 Dílčí závěry	96
5.4 NÁVRH NOVÝCH JEDNODUCHÝCH PROSTŘEDKŮ DETEKCE VANILLYLAMIDU KYSELINY PELARGONOVÉ	97
5.4.1 Detekce s použitím reakce na Turnbullovu modř	97
5.4.1.1 Princip reakce, reakční podmínky, citlivost a detekční limit	97
5.4.1.2 Rušivé vlivy a tepelná stabilita	100
5.4.2 Detekce s použitím Folin-Ciocalteuova činidla	101
5.4.2.1 Princip reakce, reakční podmínky, citlivost a detekční limit	101
5.4.2.2 Rušivé vlivy a tepelná stabilita	103
5.4.3 Detekce s použitím Marquisova činidla	104
5.4.3.1 Princip reakce, reakční podmínky, citlivost a detekční limit	104
5.4.3.2 Rušivé vlivy a tepelná stabilita	105
5.4.4 Detekce s použitím Gibbsova činidla	106
5.4.4.1 Princip reakce, reakční podmínky, citlivost a detekční limit	106
5.4.4.2 Rušivé vlivy a tepelná stabilita	109
5.4.4.3 Použití Gibbsova činidla pro detekci kapsaicinoidů v pálivých paprikách	110
5.4.5 Detekce s použitím diazotačně-kopulační reakce	112

5.4.5.1 Princip reakce, reakční podmínky, citlivost a detekční limit	112
5.4.5.2 Rušivé vlivy a tepelná stabilita	115
5.4.6 Ověření účinnosti detektorů na reálném vzorku PAVA ze vzduchu	116
5.4.7 Dílčí závěry	116
6 DISKUSE	118
6.1 DISKUSE OBECNĚ	118
6.2 DISKUSE K TERORISTICKÝM ÚTOKŮM	120
6.3 DISKUSE K MOŽNOSTEM OCHRANY	123
6.4 DISKUSE K NÁVRHŮM NOVÝCH PROSTŘEDKŮ DETEKCE	127
6.4.1 Poznámka k experimentálnímu vývoji nových prostředků pro terénní i laboratorní praxi	127
7 ZÁVĚR	129
8 ZÁVĚRY PRO PRAXI A DALŠÍ ROZVOJ VĚDY	131
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	133
10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	135
11 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	148
12 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	151
13.1 Příloha 1	153
13.2 Příloha 2	157
13.3 Příloha 3	157

1 ÚVOD

Bezpečnost, hodnocena individuálním i skupinovým měřítkem, je dynamicky měnícím se jevem, tvořeným nespočtem faktorů naturogenního i antropogenního charakteru, s tendencí vzájemně se ovlivňovat a interagovat. Je významná z hlediska krátkodobého i dlouhodobého horizontu. Současně nemusí, a zpravidla také není, ve světě stejnoměrně vnímána. Hrozby ohrožující jeden region nemusí být na sousedním území vůbec zaznamenány. Stejně tak odlišně každý jedinec tvořící lidskou populaci vnímá svou bezpečnost vlastním – subjektivním pohledem, který je zpravidla založen na zkušenosti, co je pro něj bezpečné a co již nikoliv. Přesto však je zajištění bezpečnosti osobní, skupinové, národní nebo nadnárodní snahou většinové společnosti, které však může být na úkor skupiny jiné. Kissinger takový nerovnovážený stav bezpečnosti popsal výrokem, že absolutní bezpečnost jednoho národa vyvolá absolutní ohrožení (insecurity) národů druhých [1]. Proto by měl být hledán optimální průsečík, který by vyvažoval bezpečnostní otázky v ideálním (spravedlivém) poměru tak, aby vyhovoval všem zúčastněným stranám.

Bezpečnost Evropy se od počátku 20. století, v porovnání s předchozí dobou, měnila a vyvíjela až turbulentně. Hlavním důvodem byla měnící se společnost, ve většině případů charakterizovaná transformací od monarchistického uspořádání do republik reprezentovaných volenými občany. Tento přerod byl současně dovršen první světovou válkou, ve které se na bitevních polích střetly všechny vlivné říše tehdejší Evropy a po ní následoval konflikt svým rozsahem ještě ničivější. Ani skončením obou světových válek se globální bezpečnostní situace nijak nezklidnila. Studená válka změnila parametry, aktéry i prostředky mající vliv na světovou bezpečnost. Kromě jiných hrozeb začala dominantně vystupovat hrozba jaderného konfliktu mezi hlavními světovými hegemony. K obratu chápání bezpečnosti, orientované do té doby téměř explicitně na vojenskou obranu vlastního území, respektive připravenost čelit převážně vnějším hrozbám nevojenského charakteru, začalo postupně docházet od 90. let 20. století. Bezpečnost začala být vnímána pohledem nutnosti jejího vnitřního zajištění před vlivy schopnými destabilizovat celou společnost bez zásahu zvenčí. K ekonomickým, sociálním a hospodářským otázkám, jejichž včasné řešení bylo třeba urychleně nalézt v zemích tzv. „východního bloku“ po rozpadu Sovětského svazu [2], se začaly objevovat další, málo známé fenomény.

Staly se jimi terorismus a organizovaný zločin, mající ničivý vliv na samotné základy uspořádání státu a společnosti, přičemž postupem času získávají terorismus a organizovaný

zločin stále podobnějších společných rysů. Požadavky na zajištění vnitřní bezpečnosti se počaly diametrálně lišit a muselo být změněno paradigma přístupu v boji s těmito nebezpečnými, často latentními formami kriminality, zpravidla přesahujícími hranice národních států. Terorismus se stal sledovaným a seriózně hodnoceným pravděpodobně počátkem 3. tisíciletí, kdy intenzita, brutalita, četnost, závažnost a formy spáchání dosahovaly děsivých rozměrů [3]. Drtivá většina známých teroristických útoků v moderních dějinách byla úmyslně směřována proti civilnímu obyvatelstvu, takzvaným *soft targets* – měkkým cílům. Ministerstvo vnitra ČR za měkké cíle považuje nejen nepřípravené neozbrojené civilisty, od nichž pachatelům hrozí minimální riziko obrany, ale současně také místa s jejich vysokou koncentrací a relativně nízkou úrovní ochrany, kde může být takový násilný čin extrémně ochromující [4].

Z analýzy událostí vztahujících se k teroristickým útokům vyplývá, že jedním z cílů byly a jsou podzemní kolejové dráhy (metro), tvořící páteřní síť městské hromadné dopravy řady měst, které splňují všechna vymezení měkkých cílů, včetně vysoké zranitelnosti vůči napadení. Současně z analýzy vyplývá, že systém veřejné dopravy je vyhledávaným cílem teroristů, protože útokem může jednak dojít k vážnému narušení chodu města, a jednak pachatelé mají vyšší šanci na útěk i vyhnutí se odhalení, a to vzhledem k velikosti, otevřenosti, dostupnosti a zhoršené možnosti jejich identifikace cestujícími. K dokonání teroristického útoku v metru byly použity převážně výbušniny, méně pak chladné a střelné zbraně. Avšak z hlediska nebezpečnosti a potenciálu způsobit mohutné ztráty na životech je za nejzávažnější považováno použití zbraní hromadného ničení (ZHN). Jedná se zejména o chemické toxické látky, jejichž účinek má v uzavřených prostorech, jak ostatně ukázal případ z japonského Tokia, devastující dopady. Chemické toxické látky představují zásadní riziko, byť na základě multilaterálních mezinárodních dohod, jež signovala většina států světa, je jejich držení, produkce a šíření přísně kontrolováno. Stále existují možnosti, jak chemické zbraně nelegálně získat a jejich zneužití proti civilnímu obyvatelstvu není jen hypotetické.

Schopnost společnosti čelit aktuálním bezpečnostním výzvám předpokládá nové přístupy, kooperaci na národní i mezinárodní úrovni, revizi stávajících plánovacích dokumentů v oblasti ochrany obyvatelstva, součinnost zainteresovaných orgánů jednotlivých států, účinné právní normy a fungující, v praxi ověřené organizační a technické prostředky k preventivnímu předcházení vzniku takových hrozeb. Jedním z účinných opatření minimalizace důsledků chemického teroristického útoku je včasná identifikace použitých chemických toxických látek pomocí nejrůznějších analytických metod, včetně optických (kolorimetrických a spektrofotometrických), a jejich propojení do funkčních protichemických varovných systémů.

2 CÍLE PRÁCE

1. Rozborem dostupných informací popsat současný stav organizačních a technických možností zabezpečení podzemních drah před účinky chemických toxických látek a navrhnout některá opatření na zlepšení.
2. Terénním šetřením zjistit zjevné nedostatky ve vnitřní bezpečnosti nástupišť pražského metra se synergickým potenciálem zvýšit ztráty na životech a zdraví cestujících v případě rozptýlu chemických toxických látek a navrhnout opatření pro jejich minimalizaci.
3. Na základě experimentálního vývoje navrhnout nové jednoduché kolorimetrické prostředky pro detekci dráždivé látky *o*-chlorbenzylidenmalononitrilu (látká CS).
4. Na základě experimentálního vývoje navrhnout nové jednoduché kolorimetrické prostředky pro detekci dráždivé látky vanilylamidu kyseliny pelargonové (PAVA).

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

3.1 Bezpečnost, hrozba, riziko, safety & security

Teorii bezpečnosti můžeme pojmut jako soubor myšlenek a přístupů k žádoucímu zabezpečení ochrany obyvatel, majetku a životního prostředí. Pojmenováním termínu „bezpečnost“ se zabývá řada autorů a odborných publikací, přičemž za klíčové jsou považovány oblasti bezpečnosti na úrovni politické, vojenské, ekonomické, společenské a environmentální. Shoda je vnímána především v identifikaci toho, co je bezpečí a bezpečný stav a naopak nebezpečí a nebezpečný, mimořádný, krizový či jinak ohrožující stav. Eichler (2009) bezpečnost vymezuje v negativním a pozitivním smyslu – neexistencí hrozeb na straně jedné, z čehož vyplývá, že daný objekt není zatížen ani strachem ani nebezpečím na straně druhé [5]. Šimák et al. (2009) uvádí, že bezpečnost není explicitně předmětem praktických kroků, ale také teoretickým zpracováním vědeckých výzkumů o podstatě samotné bezpečnosti, jejích metod a nástrojů, pomocí kterých je dosahována [6]. Kudrna vztahuje užší smysl bezpečnosti přímo k nerušené existenci státu a zachování jeho hlavních rysů, kterými jsou suverenita, územní nedělitelnost (celistvost) a stabilita. V širším smyslu pak k zajištění politického, environmentálního a sociálního bezpečí, ve kterém může každý jednatel bez úhony žít [7]. Konečně Krulík et al. (2015) pojali bezpečnost ve vztahu ke státu vytvořením prostředí k zabezpečení ochrany a obrany státních zájmů, které budou korespondovat s legitimními zájmy jeho občanů, a které zajistí ochranu života, zdraví a majetku, osobní bezpečnost a bezpečný pohyb [8]. Crawford et al. (2016) upozorňují v této souvislosti na skutečnost, že při velmi širokém výkladu pojmu bezpečnost je důležité poukázat na rozdíl mezi bezpečností před (vznikem mimořádné události, újmou) a bezpečností pro (zajištění určitého objektu, obyvatele apod) [9]. A konečně Robejšek (2023) konstatuje určitou limitaci bezpečnosti, která je při překročení konkrétní hranice pouze plýtváním zdrojů [10]. Proto po vyhodnocení předložených definic vyvozujeme dílčí závěr, ve kterém bezpečnost považujeme za žádoucí stav, v němž je minimalizována existence hrozeb, kdy potencionální rizika jsou známé a identifikované a odpovědné složky jsou schopné a ochotné na vzniknuvší hrozby efektivně reagovat.

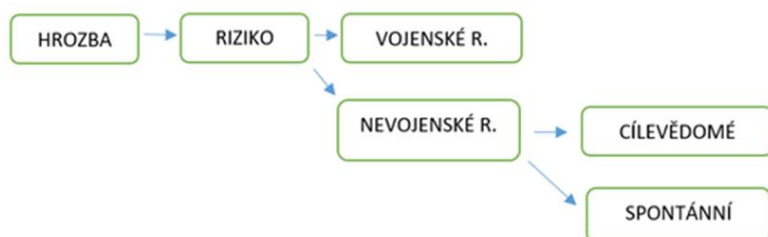
3.1.1 Hrozba, riziko

K pojmu bezpečnost se váží termíny hrozba a riziko. Při posuzování bezpečnosti má přesná identifikace hrozeb a rizik zásadní význam pro rozhodování v celé řadě dalších následných

procesů, včetně prevence vzniku mimořádných událostí i hladkého průběhu jejich řešení či odstraňování následků.

Hrozba je událost nebo situace, která představuje potenciální nebo skutečné nebezpečí pro bezpečnost, zdraví nebo životy lidí a je spojena s určitým rizikem. Vždy se jedná o různé formy ohrožení projevující se samostatně nebo společně, jako jsou například fyzické útoky, kybernetické útoky, přírodní katastrofy, epidemie nebo teroristické útoky. Hrozby mohou být vnímány subjektivně nebo objektivně a mohou být také rozděleny na vnější a vnitřní. Hrozba je rovněž definována tímto tvrzením: „pokud *nebudou provedena určitá opatření, nastává určitá míra pravděpodobnosti vedoucí ke vzniku škod nebo nebezpečí, přičemž platí, že element způsobující hrozbu má potenciál ji naplnit*“ [11]. Skripta Hasičského záchranného sboru ČR (2015) hrozbu vymezují synonymem k pojmu nebezpečí, jež se obvykle úzce vztahuje k závažným nebezpečím, které mají schopnost poškodit zájmy ČR [12]. Z každé hrozby je odvoditelné riziko. Mezi hrozbou a rizikem vždy existuje vzájemná vazba.

Efektivní analýzou potencionálních rizik se zabývá management krizového řízení, který vyžaduje multioborový přístup. Mika et al. (2012) jej vymezují jako: „*možnost, že s určitou pravděpodobností vznikne událost, kterou považujeme z bezpečnostního hlediska za nežádoucí. Riziko je vždy odvoditelné a odvozené z konkrétní hrozby. Míru rizika, tedy pravděpodobnost škodlivých následků vyplývajících z hrozby a ze zranitelnosti zájmu, je možno posoudit na základě tzv. analýzy rizik, která vychází i z posouzení naší připravenosti hrozbám čelit*“ [13]. Riziko dělíme podle vojenského a nevojenského charakteru. Nevojenská rizika dále členíme na cílevědomá a spontánní (viz obr. 1). Mezi cílevědomá rizika řadíme zejména antropogenní jednání, které je řízeno vůlí, či úmyslem člověka a má obecně nepříznivý dopad (teroristický útok, kriminální činy, demonstrace se ztrátami na životech či poškozením cizího majetku). Naopak, spontánní rizika představují přírodní jevy, vznikající zpravidla náhle vlivem činností živlů (povodně, požáry, zemětřesení), které je možné za určitých podmínek předvídat a pomocí technologií modelovat jejich průběh, ale ne ovlivnit jejich vznik nebo zánik.



Obrázek 1 Schéma vazby mezi hrozbou a rizikem, dělení rizika (zdroj: zpracováno autorem dle literatury v seznamu č. 14).

3.1.2 Safety & security

Termíny "safety" a "security" jsou často používány v kontextu bezpečnosti, ale mají odlišné významy. Safety (bezpečnost) se obvykle týká ochrany před nebezpečím, které může vzniknout ze systémových chyb, nehod nebo náhodných událostí. Je zaměřen na prevenci úrazů, ochranu života a majetku. Vztahuje se k minimalizaci rizika vzniku neštěstí nebo nehod. Security (zabezpečení) se na rozdíl od safety zaměřuje na ochranu před úmyslnými hrozbami a lidským záměrem, jako jsou teroristické útoky, zločiny nebo sabotáže. Bezpečnost může zahrnovat opatření, která chrání obyvatele, majetek a systémy před úmyslným poškozením nebo zneužitím. Odlišnost vnímaného terminologického významu je možné demonstrovat například v názvu odborného časopisu International Journal of Safety and Security Engineering (ISSN 2041-9031). Světová zdravotnická organizace (dále také „WHO“) definuje safety jako stav, kdy jsou kontrolována nebezpečí a podmínky vedoucí k fyzické, psychické nebo materiální újmě s cílem zachovat zdraví a pohodu jednotlivců a společnosti. Je základním zdrojem pro každodenní život, který jednotlivci a komunity potřebují k realizaci svých cílů [15]. Security považuje Ivančík (2021) za nedílnou součást lidského bytí a celé společnosti, která svoji bezpečnost (ochranu) začala organizovat již od svého vzniku. Vnímání bezpečnosti není abstraktní, stálé a neměnné, ale vždy konkrétní, protože se vždy týká konkrétního jevu, procesu, vztahu nebo věci, konkrétních podmínek a okolností, konkrétního prostředí, času a prostoru a konkrétní formy vyjádření kvality [16]. Lukáš et al. (2016) uvádějí, že fyzická bezpečnost je příkladem druhu bezpečnosti, která zajišťuje bezpečnost majetku, informací a dalších aktiv fyzickým způsobem. Obvykle zahrnuje soubor opatření vedoucí k minimalizaci škod. Ty spatřují ve vytváření šesti funkčních modelů zvyšujících úroveň zabezpečení: model režimový, proaktivní, bariérový, připravenosti, reakce a participace [17].

Závěrem subkapitoly parametry vyjádřené pro safety & security, funkčně aplikovatelné také do ochrany podzemních drah, shrneme do osmi bodů:

- 1) Zajištění komplexní bezpečnosti by mělo být prvořadým úkolem každého státu.
- 2) Bezpečnost je striktně multioborová činnost zasahující do mnoha oblastí lidských činností. Aby byla tato činnost efektivní, musí multioborově kooperovat a v daném segmentu činnosti postupovat koordinovaně.
- 3) Bezpečnostní prvky nemohou nikdy stoprocentně eliminovat všechna rizika, proto vždy existuje předpoklad, že mimořádná událost nastane. Je ale možné její vznik minimalizovat na nízkou a akceptovatelnou úroveň a připravit se na ni.

- 4) Zajištění optimální úrovně bezpečnosti je velmi nákladné a teoreticky nedosažitelné. Přímé výsledky v podobě nevzniku mimořádné události, které jsme hypoteticky byli schopni odvrátit přijetím vhodných preventivních opatření, jsou nesnadno měřitelné nebo počítatelné.
- 5) V systému bezpečnosti hledáme ideální propojení vazeb a vztahů všech myslitelných aktérů.
- 6) V systému bezpečnosti vždy hledáme únosnou míru mezi oprávněnými zájmy a svobodami obyvatel na straně jedné a omezením jejich práv na úkor zajištění vyšší bezpečnosti na straně druhé.
- 7) Hledáme pomyslný průsečík všech klíčových oblastí bezpečnosti tak, aby došlo k nalezení optimálního rovnovážného stavu, kde disbalance jakéhokoliv z faktorů znamená vychýlení stavu do nebezpečí.
- 8) Bezpečnost je dosažitelná optimálním vyhodnocením exogenních a endogenních faktorů, které ji mohou ovlivnit. Nedílnou součástí, mající na bezpečnost vliv, je množství vložených finančních prostředků.

3.2 TERORISMUS

Terorismus představuje nejméně od 90. let 20. století vážnou hrozbu, jejíž hluboké kořeny jsou důsledkem celé řady globálně-politických a sociálních procesů mezinárodního a interkontinentálního charakteru. Po skončení tzv. studené války se teroristické aktivity ve světě zintenzivnily. Různé formy teroristických útoků se stále více rozmáhají a představují pro mezinárodní společenství i národní státy pohromu; v současné době jsou tyto útoky pravděpodobně nejzávažnější bezpečnostní výzvou, které svět čelí [18]. Jedním ze znaků terorismu jsou útoky, které zahrnují násilí, hrozby nebo sabotážní aktivity prováděné zločineckými organizacemi za účelem dosažení politických, ekonomických, náboženských nebo sociálních cílů prostřednictvím hrozeb, nátlaku nebo zastrašování [19]. Brzybohatý (1999) vymezuje terorismus jako: „*propočítané použití násilí nebo hrozby násilí, obvykle zaměřené proti nezúčastněným osobám, s cílem vyvolat strach, jehož prostřednictvím jsou dosahovány politické, náboženské nebo ideologické cíle. Terorismus zahrnuje i kriminální zločiny, jež jsou ve své podstatě symbolické a jsou jen cestou k dosažení jiných cílů, než na které je kriminální čin zaměřen*“ [20]. Eichler (2007) si všímá společných znaků teroristických útoků, jimiž jsou „message“ (zpráva) a příjemce zprávy – ten (ti), jemuž má být aktem něco sděleno. Teroristickým útokem (a jeho formou) organizace vysílá, zpravidla nepřímo, konkrétnímu cíli poselství, v němž vyjadřuje odhodlání pro naplnění vlastních idejí, které jsou zpravidla proti idejím příjemce zprávy [21]. Terorismus podle Eichlera podněcuje nekonvenční válku, je všude a nikde, zásadním rysem je skutečnost, že nevede frontální boj, ale zasahuje systém na nejbolestivějších místech [21]. Globální i národní teroristické organizace se vždy vyznačují bojem slabšího (početně, materiálně, technologicky) proti silnějšímu, jímž je obvykle konkrétní stát nebo jeho orgány (úřady, policie, armáda), případně občanská společnost. Podle Hoffmana (1997) se terorismus jako fenomén výrazně v uplynulé době mění a patrně bude měnit i nadále. Změnily se prostředky (zbraně) k dosažení cílů, zvyšuje se počet obětí po spáchaných útocích, mění se ale také formy terorismu [22]. Pozorujeme rozmach globálního terorismu, ideově a nábožensky motivovaného terorismu a fanatického ekoterorismu. Dalším vývojem v oblasti terorismu je způsob, jakým teroristické skupiny šíří svá sdělení svému potenciálnímu publiku. Významné teroristické skupiny investují prostředky do zlepšení svých komunikačních prostředků, public relations, pro nábor a šíření své vlastní propagandy. Kromě tradičních přímých kontaktů tváří v tvář sehrávají zásadní roli moderní internetové platformy, jako jsou sociální média a webové stránky, jejichž úlohou je oslovit a zaujmout širší publikum. Němec (1995) teroristické organizace typologicky přirovnává k organizovanému zločinu, jelikož

vykazuje stejné nebo podobné znaky. Teroristické skupiny, často jednající s ideologickým podtextem, jsou organizované podobně jako neteroristické zločinecké organizace. Disponují vlastní organizační strukturou, mají své vůdce, šéfy, infiltrují státní moc, snaží se ovlivňovat veřejnost a veřejné mínění a disponují vlastními legálními i nelegálními zdroji [23]. Teroristické útoky často cílí na civilní obyvatelstvo, čímž nejen ohrožují životy, zdraví a majetek lidí, ale také ovlivňují řád a stabilitu celé společnosti. Teroristické útoky jako nekonvenční mimořádné události často zanechají velký počet obětí a vyznačují se děsivým psychologickým dopadem. Setkáváme se také s trendem zvyšující se brutality teroristických činů, které demonstrují nejen odhodlání, ale zcela zřetelně vysílají zastrašující zprávu. Brutalita kriminálního činu je podle Čírtkové (2006) obzvláště zavrženíhodný způsob provedení trestného činu, odbrzděná nepřiměřená agrese, která překračuje meze lidskosti. Nevyznačuje se jen tím, že byl porušen zákon, ale také jakým způsobem byl překročen, například týráním objektu agrese, pošlapáním obecně morálních a všelidských norem [24]. Teroristický útok má na civilní obyvatelstvo další zlověstný dopad v podobě vnímání přímého narušení integrity bezpečnosti a překonání bezpečnostního systému, navození pocitu všudypřítomného ohrožení, nejistoty, rezignovanosti a obavu obyvatel navštěvovat frekventované veřejné prostory (podzemní dráhy, obchodní střediska, historická centra). Terorismus tedy představuje určitou formu psychologické války, přičemž strategie není založena na maximalizaci fyzických škod a ničení, ale spíše na dosažení silného psychologického emocionálního účinku na příslušné masy lidí. Veřejnost, jako primární oběť teroristických činů, má být tím hybným nástrojem, který ovlivní výkonnou politickou moc státu, aby realizoval ideje teroristických uskupení.

3.2.1 Formy terorismu

Snaha o jistou formu kategorizace terorismu vede k porozumění cílů a prostředků teroristických skupin. Je bazálním ukazatelem *modu operandi* a nástrojů, které jsou schopny použít k dosažení stanovených záměrů.

1) Podle místa působení rozlišujeme terorismus:

- a) Národní – organizace se zaměřují na splnění vlastních cílů a požadavků v rámci ohraničeného území uvnitř státu. Násilí směřuje zejména proti představitelům státní moci (vojáci, policisté, politici).
- b) Mezinárodní – organizace, mající veřejnou a případně neoficiální státní podporu, se snaží vymoci na jiném státu uznání svých cílů. Zpravidla se jedná o politicky neuzavřený konflikt mezi dvěma či více sousedícími státy. Do něho jsou buď samy

zapojeny formou teroristických činů proti jiným státům, nebo jsou jimi teroristické skupiny působící v jednom státě podporovány, financovány nebo chráněny. Tato forma terorismu může zahrnovat různé aktivity, jako jsou útoky na vojenské a civilní cíle, sabotáže, únosy, atentáty a propagandistické činnosti.

- c) Globální – působiště zločinecké organizace není nijak územně vymezeno. Snaží se své cíle prosazovat kdekoliv ve světě proti svým oponentům. Může mít základnu v některém existujícím státě, který ji může skrytě podporovat. Globálně působící teroristické organizace se vyznačují velmi dobrou organizací, financováním, výcvikem, materiálním zabezpečením a fungující šifrovanou komunikací. Je zájmem organizace rozšiřovat svoji působnost na nepřátelské území, kde členové ve formě tzv. „spících buněk“ čekají na pokyny. Konkrétní cíle nemusí vždy jasné a dosažitelné, proto se zaměřuje na rozpoutání co největších šokujících brutálních činů zvláště proti bezbrannému civilnímu obyvatelstvu, kde jsou dopady velmi citelné [25].

2) Podle motivace rozlišujeme teroristické skupiny [26, 27]:

- a) Náboženské – zpravidla monoteisticky orientované, usilující o prosazení vlastní globální duchovní převahy, přičemž motivy jsou obhajovány mravním úpadkem protistran. Mohou usilovat o duchovní katarzi a nadvládu, ale také o likvidaci cílových skupin obyvatelstva, které označily k očištění.
- b) Etnické (nacionalistické) – charakterizované především separatistickými tendencemi odtržení od určitého národa na společně obývaném územním celku nebo snahou o získání autonomie.
- c) Politické – skupiny mají politické cíle, které se snaží dosáhnout pomocí násilí nebo hrozeb násilím. Tyto cíle mohou zahrnovat změnu politického režimu, získání nezávislosti, odstranění okupačních sil, vyvolání strachu a paniky v obyvatelstvu či prosazení určité politické agendy.
- d) Ideologické – jsou spjaty s prosazováním extrémně krajních levicových nebo pravicových ideových názorů. Prezентují se jako soubor společenských názorů, vyznačujících se odsuzujícím postojem k něčemu nebo někomu a tvrdícím, jak by události ve společnosti měly správně být [28]. Často se jedná o propojení s motivy politickými.
- e) Kriminální – tvoří zvláštní skupinu, protože k uskutečnění vlastních již tak zločinných cílů je dosahováno dalšími kriminálními akty. Narkoterorismus je nejvýznačnějším příkladem.

- f) Ekoteroristické – mají za cíl ochranu životního prostředí, ekologickou spravedlnost nebo boj proti konkrétním environmentálním hrozbám, jako je změna klimatu, znečištění, odlesňování nebo ohrožení ohrožených druhů. Často využívají násilné nebo destruktivní akce, aby upozornily na své environmentální záležitosti nebo dosáhly svých cílů. To může zahrnovat útoky na průmyslové zařízení, která jsou považována za ekologicky škodlivá. Nezřídka je ekoterorismus propojením s ideologickými (zejm. levicově-anarchistickými) skupinami [27].

Jednotlivé teroristické organizace mohou být založeny propojením více motivů.

3) Použité prostředky k dosažení cílů rozlišujeme [27]:

- a) Konvenční – všechny typy zbraní (zbraně chladné, mechanické, palné, výbušniny a další), které nepovažujeme jako způsobilé vyvolat hromadné ničivé účinky.
- b) Nekonvenční – zbraně nebo prostředky, jež jsou způsobilé vyvolat hromadné ničivé účinky. Předmětný typ terorismu je nazýván také jako ultraterorismus nebo CBRN terorismus. Za nejvíce rizikovou podskupinu CBRN terorismu, z hlediska pravděpodobnosti zneužití, považujeme chemický a biologický terorismus [29].

Klasifikačně obtížně zařaditelní jsou zradikalizovaní jedinci páchající teroristické útoky, jež získali označení osamocení vlci (lone wolves). Výlučně nemusí patřit k již existující teroristické skupině, mohou však s konkrétními organizacemi názorově sdílet myšlenky a po útoku se k nim přihlásit. Zeman et al. (2018) profilují osobnost osamělých vlků a dochází k závěru, že teroristé tohoto typu v západních zemích nejsou součástí homogenních skupin. Každý aktér je specifický z hlediska své osobnosti, chování a důvodů. Obecně však autoři stanovují tři hlavní skupiny osamělých vlků a to: 1) mladí osamělí vlci pocházející z menšiny, 2) osamělí vlci s kriminální minulostí a 3) osamělí vlci s duševní chorobou [30]. Úder osamělých vlků se vyznačuje velkým množstvím zraněných a usmrcených obětí, které útok nečekaly. Místa útoků se vyznačují vysokou koncentrací lidí, kde je zaručen velký počet obyvatel a značný zájem médií (školy, obchodní centra, průvody a přehlídky). Z historie případů osamělých vlků lze vyčíst, že mnoho z nich svůj čin avizovali prostřednictvím sociálních sítí. Pro teroristické útoky platí, že volba zbraně je přímo úměrná požadované závažnosti útoku kvantifikované počtem obětí.

3.2.2 Chemický terorismus

Používání prostých chemických zbraní na bázi živočišných toxinů, rostlinných alkaloidů, jedovatých zplodin hoření nebo vysoce hořlavých směsí (např. řecký oheň), je známo již od starověku a středověku [31]. Avšak teprve rapidní rozvoj přírodních a technických věd v době průmyslové revoluce (cca 1750–1840), vygeneroval kromě technologického pokroku v hospodářských odvětvích také nové účinné prostředky vedení válek a položil základ pro masovou výrobu chemických látek (později biologických a jaderných) klasifikovaných jako ZHN. Strategické studie zpracované na konci studené války v 80. a 90. letech 20. století zvažují použití chemických zbraní ve dvou různých scénářích:

- 1) Na bojišti, v rámci bojových operací probíhajících mezi nepřátelými stranami.
- 2) Při teroristickém útoku proti civilnímu obyvatelstvu.

Použití chemických zbraní ve válce je zakázáno mezinárodní Úmluvou o zákazu vývoje, výroby, hromadění zásob a použití chemických zbraní a o jejich zničení (dále také CWC). Z hlediska terorismu dosud zůstává okrajovou, avšak o to více znepokojujivou metodou útoku. Značné obavy vzbuzují zejména průmyslové toxické látky dvojího užití. Použití chemických zbraní při teroristických útocích je sice vzácné, ale vzhledem k jejich schopnosti způsobit masové ztráty na životech a vážná zranění zůstávají významnou výzvou pro bezpečnostní složky, medicínu katastrof a připravenost zdravotnických zařízení. Chemické toxické látky jsou z pohledu teroristického útoku ideální zbraně, protože příznaky otrav jsou často klinicky obtížně identifikovatelné a v mnoha případech nejednoznačné nebo zaměnitelné (dušnost, záchvaty, respirační obtíže, kognitivní dysfunkce, bezvědomí, nauzea apod.) [32]. Dosud nejničivější chemický teroristický útok byl spáchán v tokijském metru 20. března roku 1995 organizací Óm šinrikjó, která v promyšleném a koordinovaném útoku zamořila podzemní dráhy na linkách Čijoda, Marunouči a Hibija nervově paralytickou látkou sarin o pravděpodobné čistotě 35 %. Zemřelo 12 osob a celkem 5500 utrpělo různě závažná zranění vlivem otravy [33, 34, 35]. Při analýze možností potencionálního chemického teroristického útoku je třeba pečlivě zohlednit řadu úvah o chemických zbraních. Předně považujeme výrobu chemických zbraní za relativně levnou, ovšem ve srovnání s jinými ZHN, především biologickými nebo jadernými zbraněmi, a lze ji provádět snáze dostupnými a obecně známými technologiemi. Současně platí, že jakékoli použití nebo dokonce očekávané použití ZHN, včetně chemických zbraní, bude mít psychologicky devastující účinky na civilní obyvatelstvo, a to i pokud by došlo k nízkým ztrátám na životech [36].

3.3 CHEMICKÉ TOXICKÉ LÁTKY

Autorovi disertační práce je známo, že zákon č. 19/1997 Sb. definuje chemickou zbraň jako toxickou chemickou látku (nikoliv tedy jako chemickou toxickou látku). V souladu se závěry komise Fakulty biomedicínského inženýrství učiněné během odborné rozpravy k této disertační práci, bude však i nadále v názvu použito spojení chemické toxické látky, které je širší.

3.3.1 Bojové chemické látky

Historické prameny hovoří zejména o vojenském využívání fytochemických (alkaloidy) či živočišných produktech určených k otravě projektilů nebo zdrojů pitné vody. Dále sirného dýmu, řeckého ohně a mnoha dalších známých již od starověku [37]. Moderní poznatky v oblasti biochemie, farmakologie, toxikologie a chemické syntézy umožnily, v době první a zejména po druhé světové válce, vývoj celé řady bojových chemických látek (dále také BCHL) se značným letálním nebo zraňujícím účinkem. Podle vojensko-toxikologického hlediska, tj. podle projevů v zasaženém organismu, se BCHL obvykle člení na látky nervově paralytické, zpuchýřující, dusivé, všeobecně jedovaté (společně označované někdy jako látky letální), dráždivé, zneschopňující psychotomimetika a fyzikanty a psychické imobilizéry (látky zneschopňující, někdy i látky neletální) a toxiny (tab. 1) [14, 29].

Tabulka 1 Přehled členění BCHL s jejich hlavními zástupci (zdroj: zpracováno autorem)

	Název skupiny BCHL	Vybraný zástupce skupiny BCHL	Kódové označení
Letální	Nervově paralytické	Tabun	GA
		Sarin	GB
		Soman	GD
		Látka VX	VX
	Zpuchýřující	Yperit sirný	H, HD
		Yperit dusíkový	HN 1/2/3
		Lewisit	L
	Dusivé	Fosgen	CG
		Chlorpikrin	PS
	Všeobecně jedovaté	Kyanovodík	AC
		Chlorkyan	CK
Neletální	Dráždivé	Látka CS	CS
		Kapsaicin	OC
		Látka CR	CR
	Zneschopňující psychotomimetika	Látka BZ	BZ
Toxiny		Saxitoxin	
		Ricin	

Důležitou fyzikálně-chemickou vlastností sledovanou u BCHL je těkavost. Podle těkavosti rozlišujeme perzistentní nebo neperzistentní látky. Čím je látka těkavější, tím rychleji se vypařuje a rozptýluje. Těkavější látky, jako je fosgen a kyanovodík, patří mezi neperzistentní látky, zatímco méně těkavé látky, jako je sirný yperit nebo látka VX, jsou perzistentní látky. BCHL považujeme (až na výjimky v podobě např. dráždivých látek) za extrémně toxické syntetické nebo přírodní chemické látky, které mohou být rozptýleny jako plyn, kapalina nebo aerosol [38]. Zvažujeme jejich rozptýlení v těchto případech:

- Chemické teroristické útoky vůči civilnímu obyvatelstvu [39].
- Jako zbraň značné psychologické výhody u států, které jsou jinak vojensky slabé a použití chemických zbraní v případě svého napadení nevylučují z obavy, že se stanou oběťmi útoku jiných států, a chtějí si ponechat možnost použití chemických zbraní jako obranného prostředku [40].

- c) Ostatní případy bojového nasazení při probíhajícím konfliktu mezi nepřátelými stranami.

Zásadním faktorem účinnosti použití BCHL (ve válečných podmínkách i při teroristickém útoku) ve velkém měřítku je dostupnost, množství a kvalita vhodných rozptylových zařízení [12, 41].

3.3.2 Průmyslové významné chemické látky

Chemický a farmaceutický průmysl zpracovává, přímo využívá nebo vyrábí celou škálu chemických látek s toxickým účinkem. Podle definice CWC je toxická chemická látka “jakákoli chemická látka, která může svým chemickým působením na životní procesy zapříčinit smrt, dočasné ochromení nebo trvalou újmu na zdraví lidem nebo zvířatům. Uvedené zahrnuje veškeré chemické látky nezávisle na jejich původu či metodě výroby a nezávisle na tom, zda vznikají v objektech, v munici či jinde“ [42]. V průmyslu se používají také chemické látky nebo jejich směsi, které jsou nebo mohou být považovány za prekursor pro výrobu BCHL, případně mohou být pro svoji toxicitu rovněž přímo zneužity. Obvykle jsou označovány jako průmyslové škodliviny, toxické průmyslové látky, nebezpečné chemické látky nebo i jinak. Gupta et al. (2020) považuje průmyslové škodliviny za vhodný objekt zájmu teroristických uskupení, mající výrazný potenciál – jsou zpravidla vyráběny ve velkých množstvích, jsou okamžitě dostupné a vyznačují se vysokou toxicitou. Vyloučen není ani útok za pomoci konvenčních zbraní na chemické továrny zpracovávající nebezpečné chemické látky s cílem destrukce zařízení a jejich uvolnění do prostoru [43]. Organizace pro zákaz chemických zbraní (dále také OPCW) vydala pro případy identifikace průmyslových škodlivin příručku „*The Scheduled Chemicals Database*“. Přehledně informuje o více než 1 400 chemických látkách oznámených OPCW do roku 2009. Databáze bere v potaz i další chemické látky plánované na zařazení, kterým byla ke dni 13. ledna 2009 přidělena registrační čísla CAS; to je dalších 28 000 chemických látek. I přesto, že databáze obsahuje více než 29 000 chemických látek a jejich směsí, neobsahuje a vzhledem k nepřetržitému dalšímu vývoji ani nemůže obsahovat taxativně všechny [44].

3.4 KONTROLA ŠÍŘENÍ CHEMICKÝCH ZBRANÍ

3.4.1 Úmluva o zákazu chemických zbraní

Mezinárodní úsilí o zákaz nebo kontrolu šíření chemických zbraní se datuje přinejmenším od druhé poloviny 17. století. Účelem všech vzniknuvších smluv a deklarací se stalo uvědomění, že ani války by neměly být vedeny za použití libovolných prostředků lidské i materiální destrukce. Musí být zachován alespoň v určité formě humanismus a nemá být prohlubováno utrpení bojujících sil a civilního obyvatelstva.

Chronologický vývoj těchto smluv je následovný:

- Smlouva uzavřená 27. srpna 1675 mezi Svatou říší římskou a Francií v reakci na používání otrávené munice během obléhání Groningenu roku 1672 za francouzsko-holandské války [45].
- Bruselská deklarace z 27. července 1874, jejímž cílem bylo posouzení návrhu znění mezinárodní dohody o válečném právu a zvycích, který předložila ruská vláda a současně se stala podkladem pro další dvě konference v Haagu [46].
- Haagská konference 1899 (18. května – 29. července), na které byly přijaty tři deklarace zakazující používání dusivých plynů a jedů, používání vysoce ranivých střel způsobujících značné utrpení (tzv. dum-dum) a zakazující vypouštění střel nebo výbušnin z balonů [47]. Cílem konference bylo snížit válečné útrapy.
- Haagská konference 1907 (15. června – 18. října) potvrdila a mírně upravila znění Haagské úmluvy o zákonech a obyčejích pozemní války z roku 1899. Byla klíčovým momentem ve vývoji mezinárodního práva a stanovila základní pravidla pro vedení pozemních válek. Postupně byla rozšiřována a specifikována v pozdějších mezinárodních dohodách. Tato úmluva položila základy pro moderní humanitární právo, které se snaží omezit brutalitu válek a chránit ty, kteří nejsou přímo zapojeni do bojů [46, 47]. Přílohou Haagských úmluv z roku 1899 a 1907 se stal Řád válek pozemních, obsahující základní pravidla pro vedení války na zemi, včetně ochrany civilistů, zacházení se zajatci a zákazů některých typů zbraní.
- Protokol o zákazu užívat ve válce dusivých, otravných nebo podobných plynů a prostředků bakteriologických, známý pod označením Ženevský protokol 1925 (4. května - 17. června; byl podepsán v Ženevě dne 17. června 1925 a vstoupil v platnost 8. února 1928). Zakazuje tedy používání chemických a bakteriologických zbraní ve válce a jejím hlavním cílem bylo zabránit opakování událostem první světové války, ve které došlo k masivnímu nasazení zejména dusivých a zpuchýřujících BCHL [29]. Protokol však nezakazuje vývoj, výrobu ani skladování

takových zbraní. Také z tohoto důvodu byla později přijata Úmluva o zákazu biologických zbraní z roku 1972 a Úmluva o zákazu chemických zbraní z roku 1993 [46].

- Úmluva o zákazu vývoje, výroby, hromadění zásob a použití chemických zbraní a o jejich zničení (CWC) z roku 1993. Jednání o zákazu chemických zbraní byla zahájena v roce 1980. Konference o odzbrojení předložila dne 3. září 1992 Valnému shromáždění Organizace spojených národů svou výroční zprávu, jejíž součástí byl i text Úmluvy. Valné shromáždění pak odsouhlasilo text Úmluvy 30. listopadu 1992 a následně se 13. ledna 1993 Úmluva otevřela k podpisu. V platnost vstoupila dne 29. dubna 1997.

3.4.2 Organizace pro zákaz chemických zbraní

Hlavním cílem Organizace pro zákaz chemických zbraní (OPCW) je zajištění dodržování Úmluvy o zákazu chemických zbraní (CWC) platné od roku 1997, tzn. úmluvy, která má za cíl dosáhnout trvalého a univerzálního odstranění chemických zbraní jako jedné z druhů ZHN. OPCW působí jako mezinárodní organizace, která dohlíží na dodržování této úmluvy, provádí inspekce a podporuje odzbrojovací úsilí v oblasti chemických zbraní [48]. Organizaci tvoří:

a) Nejvyšší konference členských zemí OPCW – je orgánem této mezinárodní organizace, který se skládá z delegátů všech členských zemí. Tato konference se obvykle koná každý rok a je nejvyšším rozhodovacím orgánem OPCW. Její hlavní úkoly zahrnují schvalování rozpočtu organizace, přijímání nových členů, schvalování změn v rámci Úmluvy o zákazu chemických zbraní a posuzování celkového směřování organizace.

b) Výkonná rada skládající se ze 41 členských států OPCW napříč všemi regiony, které jsou voleny konferencí smluvních států, a které se pravidelně střídají každé dva roky. Rada dohlíží na činnost Technického sekretariátu a odpovídá za podporu účinného provádění a dodržování Úmluvy.

c) Technický sekretariát v čele s generálním ředitelem, ten dále tvoří divize zaměřující se na konkrétní oblasti CWC ve smyslu jim udělených kompetencí (například divize inspektorátu, zdraví a bezpečnosti, administrativní a další).

d) Podpůrná pracoviště – např. Poradní orgán pro správní a finanční záležitosti, Vědecká poradní rada a další [49].

3.4.3 Státní úřad pro jadernou bezpečnost

V ČR má (kromě dalších úkolů) dozor nad dodržováním CWC, která je rozpracována do textu zákona č. 19/1997 Sb., ve své působnosti Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále také SÚJB), konkrétně Odbor pro kontrolu nešíření zbraní hromadného ničení – Oddělení pro kontrolu zákazu chemických a biologických zbraní. Oddělení je odborným útvarům SÚJB v tomto segmentu a plní úkoly ve své působnosti v souladu se zákonem č. 19/1997 Sb., a vyhláškou č. 459/2020 Sb. Současně úzce spolupracuje s příslušnými orgány OPCW [50]. SÚJB pravidelně publikuje výroční zprávu o stavu činnosti (Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky). Ve zprávě o činnosti za rok 2022 kromě jiného uvádí: „*Cílem aktivit v oblasti kontroly zákazu chemických zbraní je především monitoring nakládání se stanovenými chemickými látkami (seznamy stanovených látek jsou součástí Úmluvy) a kontrola výroby určitých organických chemických látek (včetně látek obsahujících v molekule fosfor, síru nebo fluor) a zabránit tak možnému nezákonnému nakládání a výrobě s těmito látkami, a tím účinně předcházet riziku chemického terorismu*“ [51].

3.5 DRÁHY SPECIÁLNÍ (METRO)

3.5.1 Obecná charakteristika

V disertační práci jsou používány významově stejné termíny metro [52], podzemní kolejové dráhy [53] nebo dráhy speciální [54], přičemž všechny uvedené názvy jsou v souladu s odbornou literaturou. Historie vzniku a využívání podzemních drah pro civilní městskou dopravu začíná rokem 1863, kdy v Londýně vznikla na základě projektu Charlese Pearsona první trasa [55]. Obecně jsou podzemní dráhy určeny pro rychlou přepravu osob a jsou součástí městského hromadného veřejného dopravního systému. Globálně existují více než dvě stovky podzemních dopravních systémů, které tvoří fundamentální páteřní část dopravní infrastruktury a ročně přepraví stovky milionů cestujících [28]. Trasa metra je zpravidla budována pod povrchem země, což ji odlišuje od železniční dopravy, může však být vyvedena i nad okolní terén. Ve velkých aglomeracích jsou běžné víceúrovňové dráhy a křížení mezi jednotlivými linkami. Provozně není metro závislé na zbývajícím povrchové dopravě, avšak pro maximalizaci přepravního efektu jsou na výstupy z metra napojovány stanice povrchové dopravy. Na pouliční úroveň navazují prostřednictvím výtahů, eskalátorů nebo schodišť. Za základní charakteristické prvky podzemních drah považujeme [56, 57]:

- a) Urychlení přepravy osoby, čímž mohou pomoci zmírnit dopravní zácpy a zlepšit celkovou efektivitu dopravy.
- b) Zvýšení bezpečnosti pasažérů, protože podzemní dráhy jsou oddělené od ostatního silničního provozu, čímž se snižuje riziko dopravních nehod.
- c) Vysokou transportní kapacitu umožňující pojmout více pasažérů než ostatní druhy dopravy, což je zvláště užitečné v městských oblastech s vysokou hustotou obyvatelstva.
- d) Skutečnost, že většina světových podzemních drah používá elektrickou trakci a vlaky jsou poháněny elektromotory napájenými z trakčního vedení.
- e) Vysokou technickou náročnost způsobenou zahlučením podzemních drah pod povrch, což vyžaduje složité inženýrské práce při jejich výstavbě, údržbě a opravách.
- f) Finanční náročnost, neboť podzemní dráhy jsou nákladné na výstavbu a provoz a vyžadují výraznou státní nebo městskou finanční investici.
- g) Zvláštní nároky na bezpečnostní opatření, které vyplývají z řady důvodů, jako je nucený odvod/přívod vzduchu, stísněný prostor a omezený počet východů, s čímž je spojena nutnost budovat nouzové východy, požární hlásiče, klimatizace, zpracovat krizové plány apod.

Obsluha, zachování a management funkčnosti celého systému je náročným souborem široké škály úkonů, který vyžaduje spolupráci mnoha zaměstnanců a v případě vzniku mimořádné události zapojení složek integrovaného záchranného systému (dále také IZS). Pro zajištění bezpečného chodu metra je bezpodmínečně nutné studovat relevantní faktory, které mohou spoluvytvářet mimořádné události, a vůči nim vytvářet účinné preventivní plánování. Úkolem managementu rizik v podmínkách podzemních drah je příprava na vznik celé škály rizik, které se od sebe mohou diametrálně lišit rozsahem, povahou i případnými následky [58]. Současně je nutné uvážit pravděpodobný vznik kombinace nepříznivých událostí působících odděleně, synergicky nebo domino efektem. Je nutné zvážit také reakce cestujících, jež mohou mít povahu od panického davového chování, přes agresivní projevy až po letargické odevzdání se průběhu mimořádné události.

3.5.2 Dráhy speciální (Metro) pražské městské hromadné dopravy

Podzemní dráhy jsou v ČR vybudovány pouze na území hlavního města Prahy. Provozovatelem drah i dopravy je Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. (dále také DPP). Výstavba pražského metra začala roku 1971, avšak kvůli technickým problémům týkajících se zejména zesílení vnitřního

tubusu Nuselského mostu byla první linka zprovozněna až roku 1974 na trase mezi stanicemi Kačerov a Sokolovská (dnes Florenc). Trasa A mezi stanicemi Náměstí Míru a Leninova (dnes Dejvická) zahájila provoz roku 1978. Trasa B mezi stanicemi Smíchovské nádraží a Sokolovská (dnes Florenc) roku 1985 [59]. V současné době (2023) se pražské metro skládá ze tří tras (linka metra A, B, C), na které se nachází 61 stanic, z toho tři jsou přestupní: Florenc (mezi linkami B-C); Muzeum (mezi linkami A-C); Můstek (mezi linkami A-B). Od roku 2022 je budována čtvrtá linka D, jež bude propojovat deseti stanicemi Prahu severo-jihním směrem od zastávky Depo Písnice (Praha 4) do zastávky Náměstí Míru (Praha 2). Předpokládané ukončení stavebních prací a zprovoznění je plánováno na rok 2029. Zdroj elektrické energie pro elektrifikaci metra poskytuje společnost Pražská energetika a.s. Provoz vlakové soupravy metra na lince trasy D má být plně automatizovaný, tj. bez přítomnosti strojvedoucího [60]. Metro je z hlediska dopravní obslužnosti budováno tak, aby pojmul maximální množství cestujících, navazovalo na povrchovou městskou dopravu (tramvaje, autobusy) a svázelo pasažéry ze sídlišť do centra Prahy. Doprava je zajišťována prostřednictvím dvou typů vlaků: M1 Siemens a modernizované 81-71M Škoda Transportation [59]. Radiokomunikace mezi operátory, dispečery stanic, obsluh a strojvedoucími probíhá za pomoci radiové sítě společnosti RCD na čtyřech okruzích (3 služební a 1 komerční) [61]:

1. Služební radiové sítě dopravních podniků ve frekvenčním pásmu 160 MHz.
2. Městské radiové sítě TETRA ve frekvenčním pásmu 400 MHz.
3. Radiové komunikační sítě IZS.
4. Komerčních mobilních operátorů.

Výroční zpráva DPP za rok 2021 uvádí významná statistická data o podzemí dráze [62]:

- souhrnem za rok 2021 přepraveno 237 946 000 osob,
- denní počet přepravených osob 1 013 000,
- celková délka kolejové trasy 65,1 km,
- zatíženost jednotlivých stanic se v průběhu času mění vlivem celé řady okolností, ale statisticky nejvíce se jedná o Můstek a Dejvickou (linka A); Smíchovské nádraží a Černý most (linka B); Kačerov a I. P. Pavlova (linka C),
- intervaly mezi jednotlivými vlakovými soupravami činí 2-3 minuty ve špičce a 4-10 minut mimo špičku.

Technicko-organizační zabezpečení pražského metra pro případ mimořádné události spojené s účinky chemických toxických látek je realizováno v podobě Protichemického varovného systému (dále také PROVAS), činností a monitoringem Technologického dispečinku

a interními dokumenty plánovací povahy (Plán reakce zaměstnanců DPP na chemický útok v metru a Postup zaměstnanců DPP při podezření na přítomnost nebezpečné chemické látky v ovzduší stanice metra) [63]. PROVAS v pražském metru je stacionární integrovaný senzorický systém navržený k detekci plynů a par určitých druhů vysoce toxických látek a varování před možnými chemickými hrozbami v metru. Jeho hlavním cílem je ochrana cestujících a personálu proti potenciálním útokům nebo nehodám spojeným s chemickými látkami. Kvůli případným sabotážím jsou jejich umístění a bližší popis principů funkce utajovány [64].

Závěrem je třeba uvést, že podzemní dráhy, alespoň v podmínkách ČR, paradoxně nejsou prvkem kritické infrastruktury [65] ve smyslu zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a Nařízení vlády č. 431/2010 Sb., o kritériích určení prvku kritické infrastruktury.

3.6 PRÁVNÍ PŘEDPISY UPRAVUJÍCÍ OCHRANU PODZEMNÍCH DRAH

Účelem práva, alespoň v evropském kontinentálním pojetí, je zajištění vnitřního míru v dané lidské společnosti, zrovnoprávnění všech subjektů, včetně subjektů státu, které do právních vztahů vstupují. Právo vstupuje do široké škály oblastí a upravuje je zákonnými a podzákonnými normami. Cílem této subkapitoly je provést analýzu právních předpisů národního i mezinárodního charakteru, které se explicitně definicí a ochranou železniční dopravy v širším slova smyslu a podzemních drah v užším slova smyslu zabývají. Právní předpisy byly vyhledávány (s ohledem na téma disertační práce) dle klíčových slov se zaměřením na: bezpečnost; sankce za narušení bezpečnosti; definici mimořádné události; terorismus; zneužití chemických látek; ochrana obyvatelstva; metro (podzemní dráhy).

3.6.1 Evropské (unijní) předpisy

1) Prováděcí nařízení Komise (EU) č. 402/2013 o společné bezpečnostní metodě pro hodnocení a posuzování rizik

Zaměřuje se na technickou, provozní nebo organizační stránku, ale také na metodiku provedení analýzy, posouzení a řízení rizik (Příloha I., bod 1, 2), k čemuž je v Příloze I, bodu 5 vypracovaný diagram. Odkazuje se na zásady společné bezpečnostní metody (CSM – Common security measures) pro hodnocení a posuzování rizik a navazuje na další právní předpis – směrnice 2004/49/ES, ve kterém je v článku 6, odstavci 3 tato metoda definována takto: „CSM popíše, jakým způsobem se posuzuje úroveň bezpečnosti a stupeň dosažení

bezpečnostních cílů., k tomu budou zpracovány a vymezeny: a) metody pro hodnocení a posuzování rizik, b) metody pro posuzování shody s požadavky stanovenými v osvědčeních o bezpečnosti...“

Metro nebo dráhy speciální zde definováno není, avšak je vyjádřeno nepřímě v článku 2, odstavci 3 významově nadřazeným pojmem ve znění tohoto předpisu jako „strukturální subsystém“. Současně není vyloučeno z oblasti působnosti. Subsystém je vysvětlen v jiném právním předpisu evropského charakteru, a to ve Směrnici Evropského Parlamentu a Rady (EP a R) 2008/57/ES, v odstavci 26: „...ukázalo se nevyhnutelné rozdělit tento systém do subsystémů: infrastruktura, řízení a zabezpečení energie, kolejová vozidla...“

Mimořádná událost v předpisu není klasifikována přímo, ale pojetím rizika v článku 3, odstavec 1: „*Rizikem se rozumí četnost výskytu nehod a mimořádných událostí vedoucích k újmě...*“ [66].

2) Směrnice Evropského parlamentu a rady 2004/49/ES o bezpečnosti železnic Společenství

Směrnice se velice úzce zabývá pojetím bezpečnosti ve smyslu safety i security, k čemuž stanovila a popisuje množství termínů, zajišťujících vysokou úroveň a zejména rozvoj bezpečnosti železniční infrastruktury, včetně cestujících a zaměstnanců. V článku 1, písmene a) definuje své hlavní poslání vyjádřením: „*příprava společných bezpečnostních cílů a společných bezpečnostních metod s cílem více harmonizovat vnitrostátní předpisy*“. Důraz je v předpisu kladen na čtyři pilíře, jež mají přispět k zajištění bezpečnosti:

- a) CSI – společné bezpečnostní ukazatele,
- b) CST – společné bezpečnostní cíle,
- c) CSM – společné bezpečnostní metody,
- d) TSI – technické specifikace pro interoperabilitu (schopnost obsažených systémů spolupracovat jako celek, tedy efektivní propojení).

V souladu s nařízením EP a R č. 881/2004 vznikla Evropská železniční agentura. Jejím úkolem, ve shodě se stanovenými čtyřmi pilíři, je především zvýšení kompatibility železničních systémů a zajištění potřebné bezpečnosti.

Nařízení hodnotí mimořádnou událost v článku 3, písmena m) jako „*jakoukoli událost jinou než nehodu nebo vážnou nehodu, ke které dojde v souvislosti s provozem vlaků a která ovlivní bezpečnost provozu*“. Právní věta zřetelně odlišuje mimořádnou událost od nehody nebo vážné nehody. Podle toho je zřejmé, že nehody a vážné nehody jsou vnímány v souvislosti

s provozem vlaků (nedbalost), kdežto úmyslné narušení (včetně například rozptýlu chemických toxických látek) je chápáno již jako mimořádná událost. Nařízení a jeho konkrétní ustanovení se mohou vztahovat i na metro, neboť není výslovně vyloučeno. Článek 2, bod 2, písmeno a) stanoví, že „členské státy mohou z opatření, která přijmou k provedení této směrnice vyloučit metro, tramvaje a jiné městské kolejové systémy“. ČR tak evidentně neučinila, neboť na tento předpis odkazuje Vyhláška č. 376/2006 (viz níže) [67].

3) Nařízení komise (ES) č. 352/2009 o přijetí společné bezpečnostní metody pro hodnocení a posuzování rizik, jak je uvedeno v článku 6, odstavec 3, písmena a) směrnice EP a R 2004/49/ES

Jedná se o přímo navazující nařízení, které je zdrojem pro další předpisy v segmentu bezpečnosti a de facto konkretizuje otázky bezpečnosti, analýzy, posuzování a řízení rizik.

4) Prováděcí nařízení komise (EU) 2020/572 o systému podávání zpráv, který má být dodržován pro účely zpráv o vyšetřování železničních nehod a mimořádných událostí

Účelem předpisu je jednak dodržování formálních náležitostí při hlášení nehod a mimořádných událostí, jež se udály v souvislosti s železničním provozem, a jednak upozornění na význam a nutnost podávání zpráv o vyšetřování těchto událostí. V příloze je návod (guidelines) s doporučením, jak popsat veškeré jevy, které vedly a vyústily k mimořádné události nebo nehodě. Podstatné jsou také dva závěrečné body 5 a 6, stanovující povinnost shrnout analýzy a závěry týkající se příčin událostí a bezpečnostní doporučení, zpracované tak, aby k mimořádným událostem na železnici již nedocházelo [68].

3.6.2 Národní předpisy

1) Zákon č. 266/1994 Sb., o drahách

Ve výkladu českého práva jsou železniční dráhy členěny do kategorií z hlediska účelu, významu a technických podmínek. Klasifikace podzemních drah je obsažena v § 3 odstavci 1, písmena f) zákona č. 266/1994 Sb., o drahách, formulací „speciální dráha, která slouží zejména k zabezpečení dopravní obslužnosti obce“ [69]. Tak zvaný *lex specialis*, jenž by se zabýval pouze a výhradně podzemními drahami, včetně jejich ochrany, v českém právním řádu neexistuje. Ochrana dráhy, kterou se zabývají §§ 4 a 10 výše citovaného zákona, je výkladově pojímána v oblasti zajištění bezpečnosti provozu (řízení provozu, výstražná zařízení) a pohybu osob (vymezení veřejných a neveřejných částí, zákazy vstupu). Dále pak povinnostmi a právy provozovatele drah, vlastníků nemovitostí a dalších zúčastněných osob. Pouze v § 10 odstavci,

2 cit. zák. je obecně uvedena zodpovědnost Drážního správního úřadu za zjišťování zdrojů rizik: „*Drážní správní úřad zjišťuje zdroje ohrožování dráhy a zdroje rušení drážního provozu na nich. Zjistí-li zdroj ohrožení jiný, než je uveden v odstavci 1, nařídí drážní správní úřad jeho provozovateli nebo vlastníku odstranění zdroje tohoto ohrožení*“ [69].

§ 49, odstavec 1 cit. zák. definuje mimořádnou událost v drážní dopravě jako „*nehodu nebo incident, ke kterým došlo v souvislosti s provozováním drážní dopravy nebo pohybem drážního vozidla na dráze nebo v obvodu dráhy a které ohrozily nebo narušily: a) bezpečnost drážní dopravy; b) bezpečnost osob; c) bezpečnou funkci staveb nebo zařízení, nebo d) životní prostředí*.“ Klíčové jsou termíny „nehoda“ a „incident“. Zatímco nehodou se rozumí události spojené s dopravně-technickými jevy (srážka souprav, vykolejení, pád osoby do kolejí), incident je jakákoliv jiná událost obsažená v odstavci 1, než je nehoda.

2) Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému

Formálně se výklad mimořádné události v drážním zákoně liší od jejího vyjádření zákonem č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému. Především absentuje určující element (co? kdo?), jenž měl událost způsobit. Zákonem o IZS je tento element popsán jako: „*škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací*“ [70]. Tedy, v kontextu zpracovávaného tématu, odkazuje na činnost člověka (teroristický útok), který přivodí škodlivé působení sil a jevů (rozptyl chemické toxické látky). Drážní zákon neuvádí žádné konkrétní původce mimořádné události, jsou stanoveny abstraktně a *de facto* i *de iure* jím může být dle zákona prakticky cokoli, co způsobí nehodu nebo incident v souvislosti s provozem. Naopak oba dva výklady mimořádné události se shodují v identifikaci chráněného společenského zájmu, na který se vztahuje a tím je bezpečnost (pojem bezpečnost je podrobně zpracována v teoretické části).

3) Zákon č. 40/2009 Sb., Trestní zákoník

Z hlediska ochrany podzemních drah je přímo použitelný také zák. č. 40/2009 Sb., Trestní zákoník, který je v postavení jako *lex generalis* proti drážnímu zákonu, avšak jako *lex specialis* při kvalifikaci trestně-právního posouzení mimořádné události směřující proti bezpečnosti. Důvodem obecnosti je trestně právní ochrana bezpečnosti společnosti jako celku a dominantní role Trestního zákoníku (trestního práva) v ochranné funkci oprávněných zájmů, bez ohledu, kde je čin spáchán (v letadle, v podzemních drahách, na ulici v obytné zóně). Podzemní dráhy respektive (teroristické) útoky proti nim nejsou v Trestním zákoníku taxativně jmenovány,

avšak je poskytován široký prostor pro určení právní kvalifikace v podobě trestných činů Hlavy VII. Konkrétně obecné ohrožení dle § 272: „*Kdo úmyslně způsobí obecné nebezpečí tím, že vydá lidi v nebezpečí smrti nebo těžké újmy na zdraví nebo cizí majetek v nebezpečí škody velkého rozsahu tím, že zapříčiní požár nebo povodeň nebo škodlivý účinek výbušnin, plynu, elektriny nebo jiných podobně nebezpečných látek nebo sil.*“ [71]. Dále Hlava VII. V paragrafu 280 vývoj, výroba a držení zakázaných bojových prostředků: „*Kdo vyrobí, doveze, vyveze, proveze, vyvíjí, přechovává nebo hromadí zbraně, bojové prostředky nebo výbušniny zakázané zákonem nebo mezinárodní smlouvou anebo s nimi jinak nakládá.*“ [71]. Konečně Hlava IX. definuje v § 311 terorismus, včetně vyjádření zájmu chráněného zákonem a jaká jednání s cílem dokončit trestný čin jsou za něj považována:

„*Kdo v úmyslu poškodit ústavní zřízení nebo obranyschopnost České republiky..., závažným způsobem zastrašit obyvatelstvo nebo protiprávně přinutit vládu nebo jiný orgán veřejné moci..., a) provede útok ohrožující život nebo zdraví člověka s cílem způsobit smrt nebo těžkou újmu na zdraví; b) zmocní se rukojmí nebo provede únos; c) zničí nebo poškodí ve větší míře veřejné zařízení, dopravní nebo telekomunikační systém, ... nebo majetek s cílem ohrozit tím lidské životy*“ [71].

4) Vyhláška Ministerstva dopravy č. 100/1995 Sb., kterou se stanoví podmínky pro provoz, konstrukci a výrobu určených technických zařízení a jejich konkretizace

Předmětná vyhláška se primárně zabývá zabezpečením chodu zařízení instalovaných na drahách nutných pro jejich provoz, včetně stanovení revizí a podmínek pro umístění. Bezpečnost je vyjádřena zajištěním zabezpečení technicko-organizačních nároků, zejména elektrotechnických. Znění blíží se zajištění bezpečnosti se nachází v § 2 předmětné vyhlášky: „*Při provozování dráhy, drážní dopravy a lyžařských a vodních vleků lze používat jen zařízení, které má platný průkaz způsobilosti*“. Paragraf 3 uvádí: „*K bezpečnému, spolehlivému, hygienickému a ekologickému provozu musí konstrukce zařízení.*“ Dále § 3 odstavec 1, písmeno b) stanoví: „*...zamezit možnosti vzniku nebezpečných situací v provozu, vzniklých při přerušení nebo obnově dodávky energie*“ [72].

5) Vyhláška Ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb., kterou se vydává dopravní řád drah

Vyhláška upravuje podmínky provozu na železnicích, pravidla pro komunikaci, pravidla dopravního značení, způsobu pohybu drážních vozidel a další aspekty převážně technického charakteru. Bezpečnost je zde vyjádřena konkrétně, ale vztahuje se k optimální rychlosti

pohybu drážních vozidel, organizování drážní dopravy, řízení dopravy návěstidly, označování kolejí a zajištění toku komunikace. Vyhláška rovněž konkrétně v §§ 25–27 stanoví technické, technologické a bezpečnostní podmínky pro metro (speciální dráhy), ale také pro tramvaje, lanovou dráhu a primárně pro železniční dopravu. Podle této vyhlášky (§ 1, písmeno q) je „*mimořádnou událostí událost, která v oblasti drážní dopravy ohrožuje nebo narušuje bezpečnost provozování drážní dopravy, bezpečnost osob a bezpečnou funkci staveb a zařízení, nebo ohrožuje životní prostředí*“ [73]. Formulací se sice pojetí mimořádné události odlišuje od drážního zákona i zákona o IZS, významově již však nikoliv. Je vyjádřen objekt vztahu (drážní doprava) a subjekt, který může být událostí ohrožen (osoby, provoz dopravy, funkce staveb). Oproti drážnímu zákonu je vyjádření mimořádné události pojato široce a původce rizika není limitován: „*Událost, která v oblasti drážní dopravy ohrožuje nebo narušuje bezpečnost.*“. Vyhláška 173/1995 Sb., v § 73 odstavci 1 pamatuje na podávání informací veřejnosti, jež jsou vyjádřeny zněním: „*Na veřejně přístupných místech ve stanicích a zastávkách musí být umístěny informace o předvídaných mimořádnostech v drážní dopravě ...*“ [73]. Včasná krizová komunikace a podání (pokud možno nezkreslené) informace při mimořádných událostech je jednou z hlavních náplní krizového managementu a stěžejní element ochrany obyvatelstva [74]. Citovaná vyhláška se přípravou na mimořádnou událost v drážní dopravě zabývá ještě podrobněji:

a) stanovuje v § 74 odstavci 1 vypracování záchranných opatření pro záchranu zdraví a života postižených osob, zajištění nezbytné lékařské pomoci a zabránění vzniku dalších škod způsobených v případech mimořádných událostí;

b) § 75 odstavec 1, 2, 3 upravuje vytvoření odpovídajících podmínek a materiálního zabezpečení pro vybavení drážních vozidel zdravotnickými brašnami nebo autolékárničkami pro poskytnutí první pomoci. Konkrétně u metra, v odstavci 2 cit. paragrafu: „*Na dráze speciální se vlak přepravující cestující vybavuje autolékárničkou*“ [73]. Autolékárnička pro účely vybavení speciálních drah přitom musí splňovat podmínky stanovené vyhláškou č. 102/1995 Sb., příloha 6, ve znění pozdějších vyhlášek.

Ustanovení § 75 nařizuje také pravidelné revize zdravotnických brašen a autolékárniček, místo jejich uložení a současně určuje osoby, které musí mít odpovídající znalosti při poskytování první pomoci [73].

6) Vyhláška Ministerstva dopravy č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah

Předmětem úpravy vyhlášky jsou primárně stavebně-technické normy a parametry, označení a členění drah, technické podmínky, křížení železničních drah s prvky pozemní nekolejové komunikace apod. Metro je pojmenováno v § 1 odstavci 2 jako dráha speciální, čímž je v souladu s ostatními právními předpisy. Bezpečnost je ve vyhlášce č. 177/1995 Sb. vyjádřena v souvislosti s provozem, zkušebním provozem, stavebně-technickým uspořádáním ploch, označováním železničních přejezdů, technickými normami apod. Není definována explicitně ve vztahu k zabezpečení drah před antropogenními úmyslnými činy, které mohou ohrozit bezpečnost osob nebo drah. Podrobněji vyhláška v § 46 odstavcích 1 až 6 upravuje klíčovou součást speciálních drah, jimiž jsou šachty určené pro přívod a odvod vzduchu. Konkrétně vymezuje: „*Ve všech prostorách musí být zajištěna výměna vzduchu větráním. Kde nelze zajistit větrání přirozené, musí být větrání nucené.*“ a dále: „*Vzduchotechnické zařízení nesmí v případě požáru šířit kouř a teplo mezi požárními úseky.*“ A konečně: „*Světlá šířka a výška šachet, štol a kanálů nesmí být menší než 1500 mm a musí umožnit nouzový přístup do podzemních prostorů*“ [73]. Rozborem požadavků na zařízení pro větrání a vytápění uvedených v § 46 je možné konstatovat, že přímo kalkulují s eventualitou mimořádné události a zároveň preventivně-technickými parametry minimalizují rozptyl kontaminace metra chemickými toxickými látkami.

7) Vyhláška č. 376/2006 Sb., o zajišťování bezpečnosti provozování dráhy a drážní dopravy a postupech při vzniku mimořádných událostech na dráhách – ve znění vyhlášky č. 20/2022 Sb.

Předmětem vyhlášky je právní podklad upravující zpracování výročních zpráv o bezpečnosti provozování dráhy Drážního úřadu a postup při vzniku mimořádné události. Pojetí bezpečnosti je zpracováno obšírně a zaměřuje se na safety i security [75]. Současně odkazuje na řadu směrnic a nařízení Evropské komise, jež bezpečnost v drážní dopravě upravují, respektive jsou výchozími právními předpisy, které vyhláška v rámci novelizací implementovala (např. Prováděcí nařízení Komise č. 402/2013 o společné bezpečnostní metodě pro hodnocení a posuzování rizik). Bezpečnost drážní dopravy je kvalitativně zkoumána v souladu s § 4 odstavci 1, 2 a závěry jsou shrnuty do Výroční zprávy Drážní inspekce v podobě vyjádření: „*Informace o plnění bezpečnostních cílů, které si provozovatel dráhy stanovil, a informace o plnění plánu opatření k zajištění bezpečnosti... Výroční zpráva o bezpečnosti provozování drážní dopravy na dráze celostátní nebo regionální obsahuje vyhodnocení stavu systému zajišťování bezpečnosti drážní dopravy*“ [76]. V souladu s tématem disertační práce se ukazuje být tento předpis jako klíčový, neboť se, mimo jiné, orientuje

na činnost a spolupráci inspektorů drážní inspekce se složkami IZS na místě mimořádné události: „Změny původního stavu na místě mimořádné události jsou přípustné do příchodu orgánů činných v trestním řízení a zaměstnance Drážní inspekce jen po souhlasu velitele zásahu složek integrovaného záchranného systému.“ Detailně se vyhláška zabývá zjišťováním příčin mimořádné události a okolnostmi jejich vzniku v § 10. Na základě tohoto ustanovení je pověřená osoba oprávněna provádět ohledání místa mimořádné události, shromažďovat dokumentaci, fotografie, měření, zjišťovat technický stav vozidel a provádět na základě nich vlastní šetření a stanovit závěry [75].

8) Bezpečnostní strategie České republiky (BS)

Terorismus, potažmo teroristický útok, je BS velmi silně vnímán a je považován za bezpečnostní hrozbu a zdroj nestability (odstavec 34). Progresivně a v souladu s moderními poznatky [např. 77, 78], BS již propojuje terorismus s organizovaným zločinem. Dále bilancuje možnost spáchání teroristického útoku na území ČR: „*Terorismus je významnou asymetrickou hrozbou ze strany nestátních i státních aktérů. Přestože Česko nepatří mezi hlavní cíle mezinárodních teroristických skupin, je vzhledem ke svému postavení v rámci západního světa možným cílem teroristického útoku*“ [79]. BS označuje, která strategická zařízení by mohla být případným teroristickým útokem narušena se značnými dopady: „*Teroristický útok proti průmyslovým zařízením či produktovodům hrozí závažnými dopady na zdraví obyvatel i na životní prostředí nebo na fungování hospodářského systému.*“ V odstavci 62 BS definuje, jakým způsobem se ČR podílí na boji proti terorismu z globálního hlediska: „*Česko se aktivně podílí na prevenci a boji proti terorismu. Do protiteroristických činností mezinárodních organizací, zejména NATO a EU, pomáhá především sdílením zpravodajských informací... Tím přispívá k předcházení rizikového vývoje hrozby terorismu a radikalizace, který by mohl mít škodlivé dopady na naši bezpečnost. V souladu se strategií EU přijímá Česko pro boj proti terorismu systémová preventivní a legislativní opatření. Aktivně se věnuje předcházení, odhalování a potírání radikalizace, včetně té na internetu. Česko přijímá opatření na zajištění ochrany obyvatelstva a kritické infrastruktury, případně jiných cílů potenciálně zranitelných teroristickým útokem*“ [79]. Kvalitativně významným směrem vedoucím k účinnější ochraně podzemních drah by se mohl jevit odstavec 103, jenž praví: „*Bude nově definována nezbytná infrastruktura ležící mimo definici kritické infrastruktury...*“ [79]. Z kontextu celého dokumentu není zcela zřejmé, zda zpracovatelé měli na mysli také podzemní dráhy, protože ty v současné době nejsou součástí kritické infrastruktury (odůvodnění viz níže). Určitou možnost změny vnímání veřejné dopravy, včetně metra, by mohl naznačovat odstavec 91, bod 7): „*Česko*

aktivně buduje nevojenské předpoklady obranyschopnosti, především ty, které vyplývají ze závazků v NATO v oblasti posilování odolnosti státu a společnosti. Jedná se zejména o sedm aliancí definovaných oblastí odolnosti – odolné civilní dopravní systémy“ [79]. Bezpečnost dopravy (podzemních drah) zde vyjádřena není, popisuje v širším kontextu oblast ochrany obyvatelstva, terorismu a organizovaného zločinu. Chápe význam a kauzalitu mezi migrací a všemi třemi uvedenými hrozbami a potřebu chránit zájmy chráněné zákonem, jakožto i demokratické základy ČR, které mohou být teroristickými akty významně narušeny. Uvádí, mimo jiné, v odstavci 119: „Zásadní pro zajištění vnitřní bezpečnosti je také fungující systém trestní spravedlnosti, který musí pružně reagovat na měnící se bezpečnostní rizika“ [79]. A dále v odstavci 123: „Je nezbytné rozvíjet systém ochrany obyvatelstva s ohledem na trendy v bezpečnostním prostředí a socioekonomickými vlivy, a dále také s přihlédnutím k akceptaci možnosti vzniku neočekávaných událostí s významným dopadem na společnost“ [79].

9) Katalogový soubor – typová činnost složek IZS při společném zásahu: STČ 13/IZS – Reakce na chemický útok v metru (dále také STČ13)

Jedná se o stěžejní plánovací dokument, jehož účelem je příprava a součinnost složek IZS a dalších subjektů (zejména Dopravní podniky hl.m. Prahy, Městská policie hl.m. Prahy a SÚJB), včetně rozdělení odpovědností za konkrétní segmenty, pro případ vzniku mimořádné události spojené s chemickým útokem proti metru. Soustřeďuje se na realizaci záchranných a likvidačních prací od vyhlášení chemického ohrožení až po vytvoření podmínek směřujících k opětovnému zprovoznění podzemních drah.

Bezpečnost je vyjádřena ve smyslu přípravy, odezvy a zvládnutí mimořádné události. Současně je silně vyjádřen aspekt ochrany obyvatelstva v obecném i konkrétním pojetí. Především stanovením opatření pro záchranu osob (vyhledávání), evakuaci a vytvořením shromaždišť, včetně postupu podle metodiky START. Rovněž je detailně zpracován postup při dekontaminaci obyvatelstva, včetně uvedení dekontaminačních míst. Nedílnou součástí je také výčet použitých prostředků pro detekci a stanovení chemických toxických látek (např. DETEHIT). Důležitým faktorem je také zpracování předání krizové informace o vzniku mimořádné události v metru. Ta je zasmluvněna s hromadnými sdělovacími prostředky (Česká televize, Rádio Evropa 2). V STČ13 teroristický útok není vyjádřen (vyjma úkolů Policie ČR tuto eventualitu prověřovat), ale z významového sdělení celého dokumentu vyplývá, že byl zpracován s cílem vypořádat se s úmyslným rozptylem chemických toxických látek i jinými příčinami (naturogenní, nedbalostní). Úmyslný čin je zde definován pojetím „Chemický útok – úmyslné rozptýlení nebezpečné chemické látky v prostoru metra“ [64]. Vymezení mimořádné

události koreluje se zákonem č. 239/2000 Sb., který je hojně citován. Podrobně je zpracována oblast chemických toxických látek od jejich detekce, vyhlášení poplachu až po chemický průzkum a vybavení jednotek IZS ochrannými prostředky. Dokument také zohledňuje vznik nestandardních situací, které mohou s touto mimořádnou událostí nastat, z nichž některé jsou v disertační práci zpracované. Především se jedná o vznik paniky, zahlcení městské dopravy vlivem záchranných prací a znesnadnění průjezdu těžké techniky, rozšíření chemické toxické látky skrz větrací šachty a další.

3.7 DAVOVÉ PANICKÉ CHOVÁNÍ

Jeden z klíčových prvků, s význačným potenciálem prohloubit a razantně zintenzivnit průběh mimořádných situací, je vznik paniky. Panické chování davu je natolik nebezpečným faktorem, že může svými důsledky vůči lidským životům, zdraví a případně majetku, překonat samotnou mimořádnou událost. K panice se vážou tři fenomény – strach, davové (stádní) chování a iracionální chování, s jejichž vznikem při mimořádné události je nutné počítat, zejména při zpracování krizových plánů.

Paniku je možné charakterizovat jako stav lidského bytí, který je provázen náhlým intenzivním emocionálním stavem, s převládajícími pocity úzkosti, strachu a beznaděje. Může být vyvolána různými faktory, včetně nebezpečných situací, stresu, traumatu nebo závažných emočních reakcí. Je důležité rozlišovat mezi příležitostnými panickými projevy a panickou poruchou, která je chronickým stavem charakterizovaným opakovanými a neúměrnými útoky paniky [80]. Strach může být v jistých situacích ochrannou (obránnou) reakcí, přirozeně varující jedince před akutním nebezpečím. Pokud se však strach stane dominujícím, navíc emočně motivačním, je považován za zlobný. Silný strach omezuje racionální myšlení a vede jedince k přímočarým řešením vyznačujícím se útekem, iracionalitou s převahou pudového jednání zaměřeného na osobní přežití [81]. Rozvojem paniky a strachu se navíc u jedince situovaném v davu rozvíjí agresivní chování charakterizované jako bojem o zdánlivě nejlepší místo. Jak uvádí Schneider (2008), panika, strach a pocit fyzické stísněnosti jsou vzájemně se synergicky ovlivňujícími činiteli, přičemž zvýšení jakéhokoliv z uvedených faktorů vede k nárůstu ostatních [81]. Podle Helbinga et al. (2000) je panika zpravidla doprovázená zvýšenou tendencí následovat dav [82].

Davové chování (v odborné literatuře vyjádřené termíny „*crowd*“; „*herding*“; „*crowd behaviour*“) popisují Haghani et al. (2019) jako akt slepého/pasivního následování druhých. Existují i alternativní výklady, například synchronizace akcí nebo shromáždění lidí či velké

skupiny pohybující se stejným směrem. Můžeme je označit jako stav konformity, nebo také deindividualizace, během nichž jednotlivci přestávají používat svůj vlastní úsudek a místo toho se řídí chováním ostatních lidí ve skupině. Chování je spíše automatické než vědomé, lidé reagují instinktivně na podněty bez hlubšího přemýšlení [83]. Shromáždění jedinců do davu jim dává přirozený pocit ochrany: stejné chování můžeme pozorovat u většiny živočichů na planetě. Dav, včetně lidí, může být veden dominantním jedincem (samcem nebo samicí), na jehož rozhodování spoléhá zbytek hordy (stáda). Podle Langer a et al. (1977) a Latané (1981) navíc dav zintenzivňuje kolektivní emoční stav a vnímání mimořádné události i vyhodnocení a následnou reakci. Aktuální emocionální stav jedince je silně ovlivňován lidmi v jeho těsné blízkosti [84, 85]. Haghani et al. (2019) také uvádějí, že lidé vykazují různou úroveň tendence ke kopírování nebo nekopírování jednání ostatních v kontextu úniku z oblasti mimořádné události. Jejich chování se zdá být poměrně složité, protože některé aspekty jejich chování vykazují tendenci se jednání většiny spíše vyhýbat než ji následovat. V některých případech mohou také projevovat snahu napodobit spíše jednání menšiny, než většiny [83]. Z literatury vyplývá, že sociální vliv na evakuační chování se liší v závislosti na typu akce (např. zahájení pohybu, volba směru a změna rozhodnutí) a také v závislosti na určitých kontextových faktorech (např. jak je prostor přeplněný a jak je uživatel obeznámen s okolním prostředím). Proto, v závislosti na vyhodnocení známých faktorů podílejících se na vzniku mimořádné události, může být chování davu považováno za racionální nebo iracionální.

Iracionální chování implicitně označuje iracionální kolektivní nevědomí, kdy jinak myslící jednotlivci odevzdávají svou vlastní moudrost skupině a slepě ji kopírují. Posoudit iracionálnost chování z pohledu nehrožícího nebezpečí není nikdy objektivní, protože jak naznačuje Drury (2017), to, co se *post hoc* a z vnějšího pohledu jeví jako přehnaná reakce (např. zběsilý útěk po výbuchu bomby), může být z pohledu zúčastněných osob rozumné a přiměřené [86]. Kelley et al. (1965) je v rozporu s výše uvedenými autory, protože tvrdí, že jedinec není v panice o nic méně racionální nebo morální než v jakékoli jiné situaci. Vždy sleduje své vlastní zájmy a jedná na základě svého aktuálního odhadu, kde tyto zájmy leží [87]. Iracionální chování, potažmo vznik panického chování, může být také způsobeno nedostatkem klíčových informací, na základě kterých by se jedinec v daný okamžik mohl rozhodovat (například neznalost přímé únikové trasy z podzemních drah), a proto se, iracionálně, přidá k běžícímu davu, o jehož cílech nebo správnosti nic neví. Heliövaara et al. (2013) dochází k tomu, že zácpy vzniklé na úzkých

místech na výjezdové či únikové trase jsou často považovány za příčinu iracionálního chování a stavu psychické paniky [88].

Zkoumání panického chování a jeho vývoje při vzniku mimořádné události by mělo být jedním z faktorů, které budou příslušnými krizovými plány zohledněny. Odborná literatura pracuje s termínem „crowd management“, kterým rozumí zacházení se zpanikařeným davem. Podle Druryho et al. (2013) spočívá význam crowd managementu v tom, že chování davu může přispívat ke vzniku dalších mimořádných událostí (např. přetížení bariér, ochozů, problémy s chováním, jako je násilí nebo panika). Uvádí také důležitost průběžného podávání zpráv a signalizací (značky, světelné a zvukové pokyny) davu. Například pro zajištění včasné a účinné reakce při evakuaci, kdy může dojít k panice, mohou být přijata opatření ke zlepšení kvality a srozumitelnosti informací, které jsou vysílány prostřednictvím veřejného rozhlasu a zobrazovány pomocí značek [86].

3.8 VYBRANÉ CHEMICKÉ TOXICKÉ LÁTKY

3.8.1 Zdůvodnění výběru

Disertační práce se zabývá zneužitím dráždivých chemických látek CS a PAVA a zneschopňujícího fentanylu. Nebyly primárně vyvinuty k ničení živé síly, uvažujeme však o nich v podobě významného synergického činitele při vzniku davového panického jednání. Davová panika může způsobit větší škody, poranění a chaos, než by bylo možné dosáhnout samotnou látkou, jak například dokumentují dva případy použití neznámé chemické látky v montrealském metru. Vysoká citlivost organismu na dráždivé látky a následná fyziologická odezva mohou vyvolat přehnanou reakci a paniku mezi lidmi v postižené oblasti.

Naopak fentanyl (nebo jeho analoga) by vzhledem ke svým vlastnostem nevyvolal u zasažených osob žádné okamžité reakce. Zvažujeme však jeho relativně snadnou dostupnost a vysokou toxicitu a již známé podmínky rozptýlu aerosolů, které jej předurčují jako použitelné chemické toxické látky.

3.8.2 o-chlorbenzylidenmalononitril – vlastnosti a detekce

V globálním měřítku patří látka CS mezi nejvíce (legálně) používané chemické látky určené k potlačování nepokojů (je také užíván anglický termín Riot Control Agents, zkratka RCA). Kromě použití jako donucovacího prostředku určeného k rychlému rozehnání davu, může také

sloužit jako taktický policejní prostředek k vypuzení osob z místnosti. Je známo masové bojové nasazení látky CS během války ve Vietnamu [89]. Pro policejní účely je látka CS plněna do osobních kapesních aerosolových rozprašovačů, dýmových granátů, ručních zbraní s uzpůsobenou tlakovou nádrží uvolňující aerosol nebo může být přidávána do vody a do davu kropena vodním dělem. Dráždivý účinek látky CS je pozorovatelný již při koncentraci přibližně 1 mg/m^3 . Weigand (1969) a Punte (1963) při experimentu s dobrovolníky zjistili, že koncentrace vyšší než 10 mg/m^3 jsou extrémně dráždivé a nesnesitelné po dobu delší než 30 sekund z důvodu pálení a bolesti očí a hrudníku. Expozice vyšší než 14 mg/m^3 po dobu 1 hodiny vyvolávala u dobrovolníků extrémní podráždění, erytém a puchýře na kůži [90, 91]. Podobně Upshall (1973) uvádí, že koncentrace aerosolu CS 4 mg/m^3 přinutí většinu civilních narušitelů opustit prostor do 1 minuty a koncentrace 10 mg/m^3 odradí i vycvičené vojáky (viz tab. 2) [92]. Mechanismus účinků CS i ostatních dráždivých látek spočívá v interakci se senzorickými nervovými receptory na povrchu sliznic a kůže. Následkem je lokální nepříjemný až bolestivý pocit v místě zasažení s přirozenými přidruženými obrannými reflexy organismu (kašel, slzení očí, výtok z nosu). Ve vyšších koncentracích nebo při delším setrvání v místě expozice, tedy při extrémní stimulaci příslušných TRPV1 receptorů (Transient Receptor Potential Vanilloid 1), se mohou dostavit i další příznaky; jedná se například o podráždění gastrointestinálního traktu spojené s nauzeou až zvracením, dávivým kašlem a tachykardií. Ballantyne et al. (1973) uvádí, že lidské oko je citlivější na aerosol látky CS než na aerosoly chloracetofenonu (látka CN) [93].

Výroba látky CS je založená na syntéze 2-Chlorbenzaldehydu s malonitrilem tzv. Knoevenagelovou kondenzací ve vodném prostředí s použitím piperidinu nebo pyridinu jako katalyzátoru. Pande et al. (2005) syntetizovali CS s použitím katalyzátoru 1-Methylimidazolu [94].

Tabulka 2 Biologická odezva expozici látky CS v závislosti na koncentraci a času (zdroj: zpracováno autorem dle literatury v seznamu č. 91, 92, 93, 95, 96).

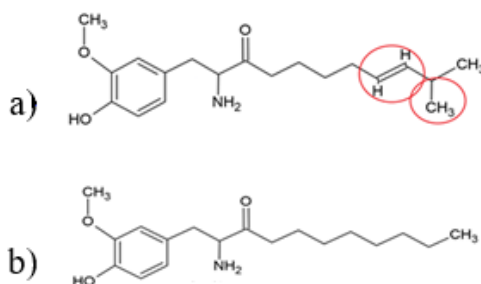
Koncentrace CS ve vzduchu (mg/m ³)	Doba expozice	Biologická odezva exponované osoby
0,4	--	prahová koncentrace
1	do 20 sekund	vznik odpuzujícího dráždivého účinku
1,5	90 minut (pokus s dobrovolníky)	podráždění očí a rozvoj bolesti hlavy
4	do 1 minuty	většina obyvatelstva se vlivem dráždivých účinků vzdálí z místa působení
2-10	více jak 2 minuty	dráždivé účinky nesnesitelné, zasažení chtějí za každou cenu opustit místo
14	okolo 1 hodiny	vznik viditelných poškození tkáně – erytém a puchýře na exponované kůži
52 000 – 61 000	1 minuta	letální koncentrace

3.8.2.1 Současné prostředky detekce látky CS

Terénní a laboratorní analýza CS je založená na celé škále technik moderní instrumentace, např. na plynové chromatografii, vysokoúčinné kapalinové chromatografii nebo infračervené a Ramanovy spektroskopii. Instrumentální metody jsou velmi přesné a citlivé, ale jejich nevýhodou je nákladná investice do zařízení a laboratorního vybavení, nutnost vysoce proškolené obsluhy a časová náročnost přípravy vzorku a samotné analýzy. Vhodnou alternativou jsou jednoduché metody s využitím kolorimetrických chemosenzorů, jako jsou detekční trubičky, papíry, spreje apod. Detekční trubičky přitom umožňují i přímou detekci toxických aerosolů v ovzduší. Základem těchto chemických metod a prostředků jsou barevné reakce látky CS s *m*-dinitrobenzenem a jeho deriváty [97] (červená), s chloranilem (zelená) a jinými chinony [98], s benzofurazan-1-oxidem (fialová) a s jeho některými chlor- a mononitroderiváty [99], s ninhydrinem (žlutá), nitroprussidem sodným (červená) a Marquisovým činidlem [100] (žlutá), 4-(*p*-nitrobenzyl)pyridinem [101] (červená) nebo s některými organickými disulfidy (žlutá) [102]. Významná část těchto kolorimetrických metod využívá vysokou reaktivnost malononitrilu, který vzniká hydrolýzou CS.

3.8.3 Vanilylamid kyseliny pelargonové (PAVA, nonivamid) – vlastnosti a detekce

PAVA je minoritní kapsaicinoid (cca 0,25 %), alkaloid přirozeně se vyskytující v rostlinách rodu *Capsicum* [103, 104]. Kapsaicinoidy vznikají ve vnitřních stěnách těchto rostlin v důsledku vnitřních enzymatických syntetických procesů mezi vanilylaminem a mastnými kyselinami [105]. Strukturně se nonivamid liší od kapsaicinu ve dvou částech řetězce (obr. 2). Dvojná vazba přítomná v kapsaicinu byla redukována a chybí methylová skupina z řetězce mastných kyselin. Aminová část kapsaicinu a nonivamidu je identická [106].



Obrázek 2 Vyznačení odlišností chemické struktury kapsaicinu (a) a PAVA (b) (zdroj: zpracováno autorem v ChemSketch na základě Pubchem).

PAVA se podobně jako ostatní kapsaicinoidy vyznačuje charakteristicky dráždivě ostrým zápachem i chutí vyvolávající intenzivní pocit pálení i bolesti v místě expozice. Z dosud známých kapsaicinoidů se PAVA, dihydrokapsaicin a kapsaicin vyznačují nejdráždivějšími účinky, vyjádřené jednotkami Scoville Heat Unit (SHU) (tab. 3). Tato jednotka navržená Wilburem Scovillem v roce 1912 se používá k relativnímu vyjádření pálivosti potravin a udává, kolikrát je potřeba zředit extrakt z dané potraviny, aby byla pálivost necitelná [107].

Tabulka 3 Dráždivost izolovaných fytochemických složek vyjádřená v jednotkách Scoville Heat Unit (zdroj: zpracováno autorem dle literatury v seznamu č. 108, 109, 110).

Název fytochemické složky	Dráždivost vyjádřená v SHU
Piperin (složka černého pepře)	150 000
Shogaol (složka zázvoru)	160 000
Homokapsaicin	8 600 000
Nordihydrokapsaicin	9 100 000
PAVA	9 200 000
Dihydrokapsaicin	15 000 000
Kapsaicin	16 000 000

Z ekonomických důvodů je PAVA pro účely farmakologicky aktivních preparátů, obranných prostředků nebo prostředků pro potlačování nepokojů (RCA) vyráběna synteticky. Příprava PAVA je založená na syntéze nonanoylchloridu a vanilylaminu [111, 112]. Význam PAVA jako RCA spočívá ve schopnosti vyvolat bolestivé a dráždivé podněty, které nutí zasažené osoby opustit místo kontaktu. Mechanismus účinku kapsaicinoidů obecně souvisí s chemickou interakcí se smyslovými neurony, proto vyvolává pocit pálení a bolesti, pálení očí apod. Kontakt mezi pokožkou a látkou vyvolá bolest, zánět a lokalizovaný pocit tepla. Bolest nebo další nepříjemné stavy jsou důsledkem selektivní stimulace a navázání na nocicepční neurony, tj. receptory senzorických neuronů zodpovědné za přenos pocitu bolesti. Kapsaicinoidy stimulují vaniloidní TRPV1 receptor, který je přítomný na primárních aferentních vláknech a je aktivován teplotami schopnými poškodit tkáň, nízkým pH a endogenními vaniloidy [113, 114]. Podle souhrnné zprávy Evropské agentury pro léčivé přípravky (EMA) se zdá, že PAVA je málo akutně toxická. Orální LD₅₀ u potkanů je uváděna 5110 mg/kg a dermální LD₅₀ u králíků je vyšší než 10 000 mg/kg. Při intraperitoneálním podání byla zjištěna LD₅₀ u potkanů přibližně 90 mg/kg. Alergické reakce u lidí po podání kapsaicinu nebo extraktů z papriky jsou hlášeny jako vzácné. U kapsaicinu, jehož struktura je nonivamidu nejbližší, se uvádí letální dávka 500–5000 mg/kg požitím [115].

3.8.3.1 Současné prostředky detekce PAVA

Moderní metody stanovení kapsaicinoidů jsou založené především na kombinaci kapalinové chromatografie s vhodným detektorem [116, 117]. Zejména v rutinní potravinářské laboratorní praxi jsou dosud rozšířené také kolorimetrické nebo spektrofotometrické metody analýzy kapsaicinoidů, které využívají barevné reakce s činidly, jako jsou Folin-Ciocalteuovo činidlo [118], Gibbsovo činidlo [119], oxytrichlorid vanadia (VOCl₃) [120], dusitan sodný s molybdenanem sodným [121], kyselina fosfomolybdenová [122], chlorid železitý s červenou krevní solí [123], diazotace-kopulace [124] a jiné zpravidla redoxní systémy. Ve vojenské a bezpečnostní praxi je detekci PAVA (a kapsaicinoidů obecně) věnovaná zatím jen okrajová pozornost.

3.8.4 Fentanyl a jeho analoga – vlastnosti

Mezi zneschopňující prostředky (některé zdroje uvádí pojem „less lethal weapons“) patří jakékoli léky, chemické látky nebo biologické aktivní látky, které jsou schopné do jisté míry

narušit nebo dočasně vyřadit běžné fyziologické pochody lidského organismu [125]. Pearson et al. (2007) uvádějí, že „*zneschopňující chemické a biochemické látky mohou být uvažovány jako substance, jejichž chemické působení na specifické biochemické procesy a fyziologické systémy, zvláště ty, které ovlivňují vyšší regulační aktivity centrální nervové soustavy, navodí vážné fyziologické vyřazující účinky (např. mohou způsobit zneschopnění nebo dezorientaci, inkoherenci, halucinace, sedaci, ztrátu vědomí) nebo ve vyšších koncentracích smrt*“ [126]. Primárním místem působení zneschopňujících látek jsou transmembránové metabotropické a ionotropní receptory (GABA, opioidní, muskarinové acetylcholinové, 5-HT, α -2 adrenergické a další). Jejich schopnost průniku do organismu je také limitovaná vstupem přes hematoencefalitickou bariéru. Balali-Mood et al. (2014) konstatují, že opioidy jsou funkčně i potenciálně zneschopňujícími látkami, avšak obvykle jsou příliš silné na to, aby mohly být použity složkami vymáhajícími právo proti svému obyvatelstvu. Ve srovnání s nimi se depresiva centrální nervové soustavy (CNS), jako jsou barbituráty, zdají být jako zneschopňující látky užitečnější. Autoři to odůvodňují tím, že syntetické opioidy jsou natolik toxické, že i za nízké koncentrace vážně ohrožují život a zdraví exponovaným osobám [127, 128]. Avšak zásadní problém spočívá v tom, že tyto látky nesplňují základní charakteristiku pro RCA, kterou uvádí Úmluva o zákazu chemických zbraní.

Primární využití opioidů nacházíme především v medicíně, jako účinného prostředku pro potlačení bolesti, anestetika a k omezení činnosti hladkého svalstva v případech úporného kašle. Opioidy patří také do skupiny látek globálně toxiomansky zneužívaných. Fentanyl byl poprvé syntetizován a následně patentován belgickou společností Research Laboratory Dr. C. Janssen v roce 1959. Pro výrobu fentanylu a jeho derivátů se nejčastěji používají prekursor 4-Anilino-*N*-fenethylpiperidin (ANPP) a *N*-fenethyl-4-piperidon (NPP). Chemická struktura různých syntetických opioidů, včetně fentanylu a jeho analog, se výrazně liší od struktury morfinu a polosyntetických opioidů. Fentanyl je piperidinylový derivát s atomem dusíku ve čtvrté poloze. Farmaceutický průmysl vyvinul různé druhy derivátů fentanylu zavedením různých substituentů do základní molekuly. V závislosti na poloze substituentů mohou některé z výsledných derivátů existovat jako enantiomery, např. izomery α -methylfentanylu, které mají variabilní analgetickou účinnost v závislosti na použitém enantiomeru. Jak uvádí Van Bever et al. (1974), zavedení methylové skupiny do polohy 3 piperidinového (α -methylfentanyl) kruhu zvyšuje analgetickou účinnost [129]. Hlavním biologickým cílem fentanylu a morfinanových alkaloidů je μ -opioidní receptor [130, 131], transmembránový protein přítomný v CNS, který je zodpovědný za přenos signálů přímo do svalových tkání pro jejich správnou

funkci. Zablokování těchto receptorů molekulou fentanylu vede ke změně stavu proteinu, což nakonec vede k úplné svalové relaxaci (viz tab. 4). Smrt postižených jedinců nastává vlivem útlumu dýchání a následnou zástavou dechu [132].

Tabulka 4 Vazba frekventovaných opioidů na opioidní receptory (zdroj: zpracováno autorem dle literatury v seznamu č. 132, 133).

Název opioidního receptoru	Opioidní agonista	Antagonista	Parciální agonista	Druh somatické nebo psychické odezvy organismu
μ-opioidní receptor	morfin	naloxon, naltrexon	buprenorfin	analgezie, sedace, euforie, antitusický účinek, útlum dechového svalstva, respirační deprese, mióza, závislost
	kodein			
	metadon			
	fentanyl a jeho analoga			
	buprenorfin			
δ-opioidní receptor	leu-enkefalin	naloxon, naltrexon		analgezie, změny v chování
	β-dynorfin			
κ-opioidní receptor	dynorfin	naloxon naltrexon buprenorfin	buprenorfin	dysforie, analgezie, sedace
	Oxykodon			
	pentazocin			

Letální dávka vybraných fentalogů dosahuje v porovnání se standardními BCHL podobných hodnot, proto je zvažujeme jako látky reálně zneužitelné k chemickému teroristickému útoku. U fentanylu je odhadována letální dávka pro lidský organismus přibližně 2 mg, pro vyvolání analgetických účinků postačuje koncentrace 1-2 ng/ml [134]. Účinky dosud nejmocnějšího známého derivátu – carfentanilu popisuje Hess (2018) prahovou dávkou 1-2 μg, účinnou dávkou 0,1–0,2 μg/kg podanou intramuskulárně; stavy vážně ohrožující život provázené těžkou dechovou represí a bezvědomím jsou spojené s dávkou mezi 0,7–1,4 μg/kg [135]. Fentanyl a jeho analoga mohou být rozptýlena do ovzduší ve formě aerosolu [136, 137]. Mezi příznaky předávkování patří stažené zornice (mióza), snížená úroveň vědomí (deprese CNS), snížená dechová funkce (respirační deprese), snížený obsah kyslíku v krvi (hypoxie), hromadění kyselin v krvi (acidóza), nízký krevní tlak (hypotenze), zpomalení srdeční frekvence (bradykardie), šok, zpomalení svalových pohybů žaludku (žaludeční hypomotilita) se střevní obstrukcí v důsledku nedostatku normální svalové funkce (ileus), hromadění tekutiny v plicích (plicní edém), letargie, kóma a smrt. Absorpce kůží může přispět k celotělové (systémové) toxicitě a zvyšuje

se s teplotou kůže. Použití fentanylu a jeho analog pro jiné, než terapeutické účely považujeme vzhledem k jejich vysoké toxicitě oproti látkám CS a PAVA za výrazně nebezpečné, proto se tato podkapitola jeho účinky zabývá podrobněji.

3.9 DÍLČÍ ZÁVĚRY K SOUČASNÉMU STAVU

Turbulentní změny v globální bezpečnosti, probíhající ozbrojené konflikty, světová nerovnováha, migrační vlny, chudoba a další nepříznivé sociální jevy jsou prostředím pro vznik kriminálních nebo teroristických skupin. Jak dokládají analýzy již dokonaných teroristických útoků, prakticky vždy jsou cílem velké skupiny osob nacházejících se v prostředí s omezenou možností úniku (kluby, divadla, obchodní centra, prostředky městské hromadné dopravy včetně k nim přiléhajících budov, letiště atd.). Jak ukázaly dva případy v kanadském metru ve městě Montréal roku 2001 a 2012 (stanice Berri-UQAM Subway a Prefontaine), kde byly vypuštěny pouze netoxické dýmovnice, ani nemusí být použita chemická látka s letálním účinkem. Avšak nebylo žádných detekčních prostředků, které by tuto skutečnost zjistily. V důsledku paniky mezi prchajícími cestujícími bylo zraněno 40 osob. Uvedené příklady tak mohou sloužit mimo jiné jako argument pro vývoj nových prostředků pro detekci neletálních BCHL. Ukázal se totiž význam davového panického jednání s potenciálem přitížit průběhu celé mimořádné situace, ale také význam krizové připravenosti a včasné detekce, které naopak mohou škodlivé dopady zmírnit. Oba útoky odhalily nepřipravenost tamního bezpečnostního systému po technické i organizační stránce na řešení vzniklé situace. Obdobně tragicky z hlediska podcenění krizové připravenosti byl hodnocen i žhářský útok v korejském Taegu. Bezpečnost metra musí být zajištěna také připraveností složek IZS a kvalitními právními předpisy, jejichž současná podoba je spíše roztržštěná. Vyplývá z toho tedy nutnost přípravy ochrany metra nejen z hlediska známých letálních BCHL, ale také látek s neletálním účinkem nebo významných průmyslových škodlivin. Se znalostí výše uvedeného by se současná ochrana metra před účinky chemických toxických látek měla v budoucnu orientovat na tyto oblasti:

- a) Revizi evakuačních a krizových plánů s použitím neletálních látek s ohledem na vznik davového panického chování.
- b) Seznámení všech zaměstnanců metra s možností vzniku mimořádné události spojené s rozptylem chemických toxických látek. Znalosti použití osobních ochranných prostředků, první pomoci, chování při vzniku davového panického chování.
- c) Kontrolní a revizní činnosti technických prostředků ochrany.
- d) Kontrolu, revizi a aktualizaci vnitřního rozhlasového zařízení.

4 METODIKA

Použitá metodika se skládá z metod vědeckého experimentu, empirického pozorování, analýzy a syntézy, indukce a dedukce, literární rešerše a analogie. Vztah jednotlivých zpracovávaných témat je koncipován tak, aby byl propojen výzkumný problém do vzájemně souvisejícího koherentního celku.

4.1 METODY ANALÝZY A ZPRACOVÁNÍ INFORMACÍ

Informativní popisná část je zpracována na základě systematické rešerše převážně zahraniční odborné literatury. Jako vyhledávací prostředí byla použita platforma Google Scholar a webové stránky nakladatelství Elsevier, Taylor & Francis, SpringerLink a další. Literatura byla filtrována zadáváním relevantních klíčových slov vztahujících se k zaměření disertační práce. Informace byly nejprve analyzovány a poté syntetizovány do strukturovaného koherentního celku zaměřeného požadovaným směrem zájmu.

4.1.1 Analýza organizačních a technických možností ochrany metra

Organizační a technické možnosti zabezpečení podzemních kolejových drah byly identifikovány jako stěžejní faktory podílející se na bezpečnosti cestujících při přepravě. Ke zjištění relevance zpracovávaného tématu byla provedena kvantitativní analýza zaměřená na počty spáchaných teroristických útoků explicitně v podzemních drahách globálně v období let 1990–2020. Zdrojová data pochází z open-source databáze Global Terrorism Database (GTD) www.start.umd.edu/gtd s následujícím postupem:

- a) Data, očištěná vnitřním filtrem GTD, se explicitně zaměřují na útoky, které byly spáchané uvnitř podzemních drah, tj. metra, subways. Nezabývají se útoky, jež byly provedeny na kolejové dopravní prostředky v systému městské hromadné dopravy, mající však charakter vlakové dopravy.
- b) Dalším sledovaným faktorem je zeměpisné umístění spáchaného útoku včetně uvedení města a stanic. Místo spáchání je poté zpracováno umístěním do mapy, u které je následně zřejmě viditelná koncentrace teroristických útoků.
- c) Třetím sledovaným ukazatelem je způsob útoku, tedy jaký zbraňový prostředek byl použit. Snahou je uvést co nejpresnější údaje o použité zbraně, je-li v GTD blíže popsána. Pokud není informace blíže specifikována, je provedena pouze obecná

charakteristika (např. výbušnina). Sledované chemické zbraně jsou pro přehlednost zvýrazněné podbarvením.

Údaje o počtu obětí a zraněných osob slouží k vyhodnocení, jaká zbraň nebo zbraňový systém způsobil největší ztráty a k jakým druhům je nutné zaujmout zvláštní pozornost z hlediska organizačního a technického zabezpečení (viz následující kapitoly).

Dále se tato část zaměřuje na analýzu právních předpisů národní i mezinárodní úrovně, jejichž účelem je zvýšit ochranu cestujících i podzemních kolejových drah. Právní síla vyhledaných předpisů byla řazena sestupně od mezinárodních po národní a v množině národních od zákonů po podzákonné normativní právní akty. Vyhledávání a relevance byla zúžena výběrem klíčových parametrů tak, aby obsahovala: bezpečnost; definici metra (speciálních drah); abstraktní nebo konkrétní vyjádření bezpečnosti; sankce za narušení bezpečnosti metra; specifikaci mimořádné události; vnímání rizika terorismu; kalkulace s chemickými zbraněmi; směřování k ochraně obyvatelstva.

4.1.2 Analýza nedostatků vnitřní bezpečnosti nástupišť

Primárně je zpracována empirickým pozorováním – induktivní cestou poznání, založeného na procesu získávání informací přímým bezprostředním pozorováním a jejich vyhodnocením. Pro odvození rizik spojených s útokem a zvažováním vznikem davového panického jednání byla provedena kategorizace nástupišť a jejich rozčlenění se orientací na slabá místa. Výsledky pozorování, zejména rozbor empiricky zjištěných stavebně-technických nedostatků uvnitř podzemních drah, byly systematicky vyhodnocovány s upozorněním na ně, jako dalšího zdroje rizik.

4.2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.2.1 Použité chemikálie

K práci byly použity dráždivé látky CS (Syntchem, Chrenovec-Brusno, SR) a PAVA (Merck, Darmstadt, SRN), obojí v minimální čistotě 97 %. Jako detekční činidla nebo jejich složky byly použity: isatin, ninhydrin, červená krevní sůl (ferrikyanid draselný), Folin-Ciocalteuovo činidlo, Gibbsovo činidlo, 4,4'-sulfonyldianilin (dapson), vše v minimální čistotě 97 % (Merck, Darmstadt, SRN). Marquisovo činidlo bylo připraveno pomocí 96% kyseliny sírové a 40% formaldehydu (obojí Penta, ČR). Dále byly použity chlorid železitý bezvodý, uhličitán sodný, kyselina chlorovodíková 35 %, dusitan sodný, octan amonný, dimethylsulfoxid (DMSO),

N,N-dimethylformamid (DMF), ethanol 99,8 %, methanol 99,8 % (vše Penta, ČR) a destilovaná voda (Velvana, ČR). K testování selektivity detektoru vůči rušivým vlivům byly použity tyto látky: dibenzo[*b,f*]-1,4-oxazepin (CR); (Syntchem, Chrenovec-Brusno, Slovenská republika); 3-chinuklidinylbenzilát (BZ) (Vojenský výzkumný ústav Brno, ČR), vše o minimální čistotě 97 %; chloracetofenon (CN), oleoresin capsicum (OC), 2-(Diethylamino)ethanthiol hydrochlorid, vše (Merck/Sigma-Aldrich) o minimální čistotě 95 %, a fencyklidin (PCP) (Merck, Darmstadt, SRN) o minimální čistotě 97 %.

4.2.2 Použité přístroje a pomůcky

Jako nosiče činidel byly použity: silikagel o zrnitosti 0,7–0,9 mm (Macherey-Nagel, Düren, SRN), celulosový filtrační papír Filtrak FN 12 (Niederschlag, SRN), celulosový filtrační papír o hustotě 85 g/m² (Whatman, Kent, UK) a drcené sklo čiré o zrnitosti 0,7-0,9 mm (Tejas, ČR). K přípravě detektorů byla použita skleněná detekční trubice o vnitřním průměru 5 mm, tenkostěnné skleněné ampule a polyethylenové těsnící a vymežovací prvky (Tejas, ČR). Vzduch byl odebírán ručním nasavačem Universal (Kavalier, ČR) nebo pumpičkou Accuro (Dräger, SRN). Barevné změny byly měřeny tristimulus kolorimetrem LMG 173 (Dr. Lange, Düsseldorf, SRN) a UV/Vis spektrofotometrem Shimadzu UV-1800. Pro aplikaci Color analysis použit mobilní telefon Samsung Galaxy Note 8, procesor Samsung Exynos 8895 (4× 2,3 + 4× 1,7 GHz), displej Super AMOLED 6,3" WQHD+ (2 960 × 1 440) s rozlišením fotoaparátu 2× 12 Mpx + 8 Mpx.

4.2.3 Pracovní postupy a vyhodnocení

4.2.3.1 Čištění nosičů

Oba nosiče (náplně) do detekčních trubiček – silikagel a drcené sklo - byly přечиštěny v 10% kyselině chlorovodíkové, důkladně promyty destilovanou vodou a aktivovány při teplotě 130 °C po dobu 8 hodin.

4.2.3.2 Impregnace nosičů a příprava činidel

Impregnace nosičů činidly proběhla z roztoku v ethanolu nebo v destilované vodě. Silikagel byl vždy impregnován dostatečným množstvím roztoku (2,5 ml na 2 g silikagelu a 3 ml na 2 g drceného skla) aby byl dostatečně nasycen. Pokud se jednalo o impregnaci z ethanolu, silikagel byl sušen volně v digestoři po dobu 24 hodin. Silikagel impregnovaný vodným roztokem byl

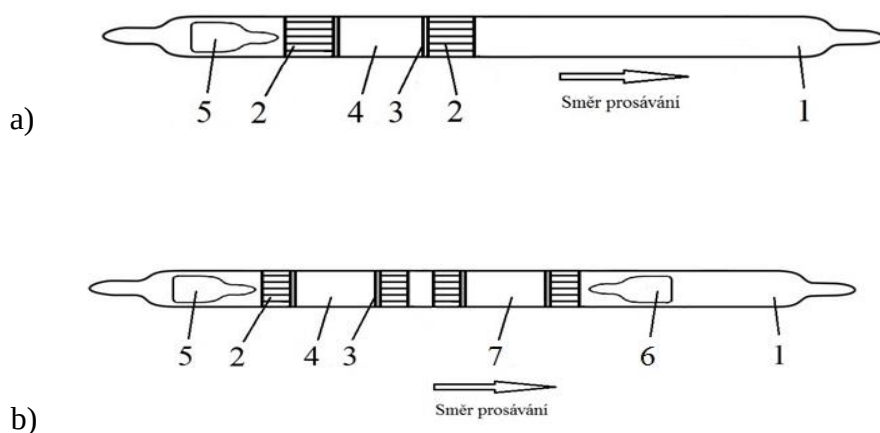
sušen v sušárně při 105 °C po dobu 6 hodin. Druh použitého nosiče a reakčního prostředí je přehledně zpracován v tabulce 5.

Celulosový filtrační papír byl ponořen do roztoku činidla na 10 minut a po vyjmutí a okapání přebytkového roztoku byl volně sušen v digestoři po dobu 2 hodin.

4.2.3.3 Příprava detekčních trubiček

Impregnovaný silikagel a sklo byly plněny do skleněných trubic o délce 150 mm mezi polyetylenové síťky a upevňovací hvězdičky (umožňují průchod vzduchu) tak, aby indikační vrstva měla délku 10 mm a byla umístěna ve vhodné výšce. Ve směru prosávání odebíraného vzduchu byla před indikační vrstvou umístěna ampulka se 40 μ l roztoku a oba konce detekční trubice byly zataveny (délka detektoru činila 100 mm).

Pro experimentální část byly zvoleny dvě varianty konstrukce detekčních trubiček (obr. 3). Jednotlivé použité systémy v podobě detektor – nosič – impregnační roztok nosiče – reakční roztok jsou přehledně uvedeny v tabulce 5.



Obrázek 3 Konstrukce detekčních trubiček: detektor (a) složení komponentů č. 1-5; detektor (b) složení komponentů č. 1-7 (1 – skleněná trubice, 2 – polyethylenové těsnění, 3 – síťka, 4 – indikační vrstva se silikagelem, 5 – ampulka s reakčním roztokem č. 1; 6 - ampulka s roztokem č. 2; 7 – vrstva skleněné drti), zdroj: autor.

Tabulka 5 Impregnace trubičkových detektorů a reakční roztoky jednotlivých variant (zdroj: autor).

Detektor		Nosič	Impregnační roztok nosiče	Reakční roztok
č.	BCHL			
1	PAVA, OC	silikagel	FeCl ₃ v 80% ethanolu	červená krevní sůl v dest. vodě
2	PAVA, OC	silikagel	Na ₂ CO ₃ v dest. vodě	Folin-Ciocalteu
3	PAVA, OC	sklo	dapson v abs. ethanolu	HCl (č.1)
		silikagel	NaNO ₂ v dest. vodě	Na ₂ CO ₃ v dest. vodě (č. 2)
4	PAVA, OC	silikagel	-	Marquisovo činidlo
5	PAVA, OC, CS	silikagel	Gibbsovo činidlo v ethanolu	Na ₂ CO ₃ v dest. vodě
6	CS	silikagel	isatin v ethanolu	DMSO/DMF v obj. poměru 8:2, nasyceno octanem amonným
7	CS	silikagel	ninhydrin v ethanolu	

4.3 ZPŮSOBY TESTOVÁNÍ

4.3.1 Testování detekčních trubiček

Práce s aerosolem CS nebo PAVA ve zkušební komoře neposkytovala reprodukovatelné výsledky (obtížnost vytvoření dlouhodobě stabilní koncentrace v objemu asi 1 m³), proto byla zvolena nepřímá metoda. Indikační vrstva detekční trubičky byla exponována 40 µl roztoku CS nebo PAVA v ethanolu, který obsahoval 1 až 500 µg dráždivé látky. Přebytný ethanol byl odsát pumpičkou (1 litr vzduchu). Poté byla rozdrcena ampulka se 40 µl roztoku vizualizačního činidla a roztok byl setřepán na indikační vrstvu. Při tomto způsobu testování se vycházelo z ověřeného předpokladu, že 1 µg CS nebo PAVA na nosiči odpovídá aerosolu o koncentraci 1 µg/l (1 mg/m³), při odběru 1 litru vzduchu.

4.3.2 Testování detekčních papírů

Na vysušeném celulosovém filtračním papíru rovnoměrně impregnovaném roztokem isatinu nebo ninhydrinu o koncentraci 0,1-1 % v ethanolu bylo pipetováno 10 µl roztoku CS v ethanolu. Po volném odpaření ethanolu bylo na papír v místě expozice CS nanášeno 10 µL roztoku vizualizačního činidla octanu amonného v DMSO/DMF. Podobně bylo postupováno také při ostatních experimentech na filtračním papíře, jejichž výsledky disertační práce neuvádí.

4.3.3 Testování v roztoku

Při optimalizaci postupů detekce byly studovány i barevné reakce v roztoku. Příklad: do zkumavky s 2 ml nasyceného roztoku octanu amonného v DMSO/DMF (poměr 8:2) bylo postupně pipetováno 20 µl 1% roztoku isatinu v ethanolu a 30 µl roztoku CS v ethanolu (koncentrace CS ve zkumavce odpovídala 0,5 až 1000 µg/l).

4.4 ZPŮSOBY VYHODNOCENÍ

4.4.1 Tristimulus kolorimetr

Barevné změny na indikační vrstvě byly vyhodnocovány vizuálně (pouhým okem) i objektivně pomocí tristimulus kolorimetru. Tato metoda je založená na trojrozměrném barevném systému CIE-L*a*b*, kde L* označuje jas, a* barevnost zelená - červená, b* barevnost modrá – žlutá. Barevná změna vyjádřená ΔE je definována na základě odlišnosti mezi jednotlivými souřadnicemi porovnávaných objektů podle rovnice:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Barevná změna (ΔE) odpovídá vizuálnímu hodnocení používanému v polygrafickém průmyslu: pod 0,2 nepostřehnutelná, 0,2-0,5 velmi nepatrná, 0,5-1,5 nepatrná, 1,5-3,0 zřetelná, 3,0-6,0 velmi zřetelná, 6,0-12,0 silná, nad 12,0 velmi silná.

Barevné změny v roztoku byly vyhodnocovány vizuálně (pouhým okem) i objektivně pomocí standardní spektrofotometrie.

4.4.2 Mobilní aplikace Color analysis

V rámci experimentů byla ověřena i mobilní aplikace Color analysis verze 3.5.2 (Research Lab Tools, Brazílie) pro platformu Android. Tato aplikace používá smart phone pro měření barev (HSV, RGB a CIE Lab), které převádí na hodnoty barev v prostoru CIE Lab na C*, H°, RGB. Vyjádření barevného odstínu numerickým záznamem probíhá jeho převodem do 360° stupnice HUE. Barvu a její odstín lze kvantitativně vyjádřit jedinou číselnou hodnotou, která odpovídá definované úhlové poloze kolem centrálního nebo neutrálního bodu v barevném kruhu, nebo dominantní vlnovou délkou či vlnovou délkou doplňkové barvy.

Všechny experimentální práce s dráždivými látkami byly provedeny na pracovišti Ústavu udržitelnosti paliv a zelené chemie (Fakulta technologie ochrany prostředí VŠCHT v Praze),

pod dohledem a s pomocí Ing. Lukáše Matějovského, Ph.D., na základě smlouvy uzavřené s Fakultou biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze.

5 VÝSLEDKY

5.1 ROZBOR TERORISTICKÝCH ÚTOKŮ V PODZEMNÍCH DRAHÁCH V OBDOBÍ 1990–2020

Chemický teroristický útok v tokijském metru v roce 1995 potvrdil nutnost vážně se zabývat ochranou podzemních drah před obdobnými činy v celé své šíři. Ke zjištění rozsahu útoků proti podzemním drahám slouží výsledky analýzy GTD. Cílem analýzy je provést kritické zhodnocení předmětných skutků a stanovit, na základě dostupných kritérií, nakolik jsou teroristické útoky v podzemních drahách relevantní hrozbou. Pro zpracování analýzy bylo zvoleno přehledné tabulkové zpracování (viz tab. 6). Vzhledem ke značnému množství teroristických útoků bylo hodnoceno období začínající rokem 1990 a končící posledním známým údajem z 29. 10. 2020 v Lyonu.

Tabulka 6 Specifikace teroristických útoků spáchaných v podzemních drahách v období 1990–2020 (zdroj: zpracováno autorem dle literatury v seznamu č. 34, 138, 139).

Datum útoku	Země, město, stanice metra	Použitá zbraň	Mrtví/zranění
29. 10. 2020	Francie, Lyon, Rue Des Remparts d'Ainay	chladná zbraň – nůž	0/0
8. 3. 2019	USA, New York, West 96th Street a Broadway	chemická zbraň – pepřový sprej	0/1
9. 11. 2018	USA, New York, Brooklyn	chladná zbraň – nůž	0/1
3.4.2017	Rusko, Petrohrad, Ploščad Vosstaniya	výbušnina – TNT	0/0
3.4.2017	Rusko, Petrohrad, Sennaya a Technologický institut	výbušnina – sebevražedný útok	15/63
22.3.2016	Belgie, Brusel, Maalbeek	výbušnina – TATP sebevražedný útok	17/135
5.12.2015	VB, Londýn, Leytonstone	chladná zbraň – mačeta	0/3
28.3.2015	Egypt, Káhira, Oula	výbušnina – domácí výroba	0/8
13.11.2014	Egypt, Káhira, Helmiet Al-Zeitoun	výbušnina	0/16

6.11.2014	Chile, Santiago, Santiago City	výbušnina (neúspěšné – odhaleno)	0/0
14.10.2014	Egypt, Káhira, Ramses street	výbušnina – domácí výroba posílená o kovový šrot	0/12
21.8.2014	Egypt, Káhira, Matariya	výbušnina	0/2
25.6.2014 – série pěti útoků	Egypt, Káhira, Helmiet Al-Zeitoun; Hadaiq el Quba; Ezbet el-Nakhl; Shubra el-Kheima; Ghamra	výbušniny – domácí výroba	0/6
9.5.2014	Ukrajina, Kyjev, Arsenalnaya	výbušnina	0/0
21.1.2014	Egypt, Káhira, Al-Shohdaa	výbušnina	0/0
10.5.2012	Kanada, Montreal, Snowdon	chemická – neznámá kouřová látka žluté barvy, patrně netoxická	0/0
25.2.2012	Řecko, Atény, Egaleo	výbušnina – domácí výroba zesílená o 4 litry hořlaviny	0/0
11.4.2011	Bělorusko, Minsk, Oktyabrsakaya	výbušnina – ekvivalent 5-7 kg TNT zesílená o kovové šrapnely a ložiskové kuličky	13/161
29.3.2010	Rusko, Moskva, Lubyanka – Park Kultury	výbušnina – 3 kg TNT	88/41
27.11.2009	Španělsko, Getxo, Aiboa	požár – úmyslné založení	0/0
13.9.2008 série 5 útoků	Indie, Nové Dillí, Connaught Place a další oblasti mimo podzemní dráhy	výbušnina	6/12 (do zemřelých a zraněných počítán výlučně útok v metru)

7.7.2005 série 3 útoků	VB, Londýn, Edgware Road; Russel Square a Kings Cross; Liverpool a Aldgate	výbušnina – TATP sebevražedný útok	43/674
5.9.2004	Rusko, Moskva, Rizhskaya	výbušnina	10/51
31.8.2004	Rusko, Moskva, Meshchansky	výbušnina	11/50
6.2.2004	Rusko, Moskva, Avtozavodskaya a Paveletskaya	výbušnina	42/250
18.2.2003	Jižní Korea, Taegu, mezi stanicemi Banwoldang a Jungangno	hořlavina – úmyslné zapálení pohonných hmot	192/151
12.5.2002	Itálie, Milano, Duomo	hořlavina na bázi benzínu nebo ethanolu	0/0
26.11.2002 série 3 útoků	Venezuela, Caracas, Petare; Captiolio; Plaza Venezuela	chemická – útok slzotvorným granátem	0/0 (databáze odkazuje na otravy osob, ale nezjištěného počtu)
5.2.2001	Rusko, Moskva, Belorusskaya	výbušnina – TNT	0/9
4.9.2001	Kanada, Montreal, Berri	chemická – neznámá plynná látka žluté barvy	0/40 (zranění vznikla kvůli panice)
8.8.2000	Rusko, Moskva, Puškinovo náměstí	výbušnina – TNT	12/94
19.7.2000	VB, Londýn, Ealing Broadway Tube	výbušnina	0/0
27.7.2000	Německo, Dusseldorf, Wehrhahn	výbušnina	0/10
1.1.1998	Rusko, Moskva, Tretyakovskaya (podzemní průchod do metra)	výbušnina	0/3

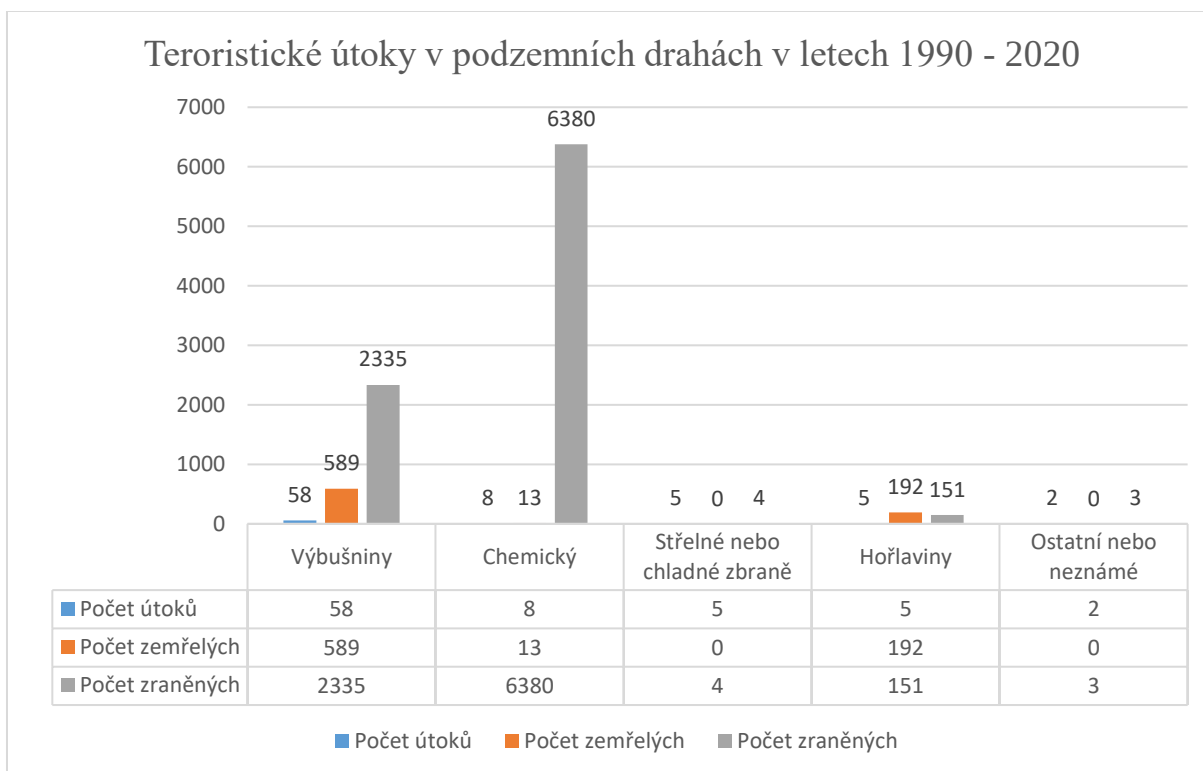
29.10.1997	Gruzie, Tbilisi, Didube	výbušnina	0/1
10.7.1997	Venezuela, Caracas, (blíže nezjištěno)	výbušnina	0/0
10.6.1997	Venezuela, Caracas, (blíže nezjištěno)	výbušnina	0/0
20.9.1997 série 3 útoků	Venezuela, Caracas, (blíže nezjištěno)	výbušnina	0/0
28.8.1997 série 5 útoků	Venezuela, Caracas, (blíže nezjištěno)	výbušnina	0/0
22.3.1997	Turecko, Istanbul, (blíže nezjištěno)	výbušnina	0/0
19.12.1996	Rusko, Petrohrad (blíže nezjištěno)	výbušnina	0/1
3.12.1996	Francie, Paříž, Port-Royal	výbušnina	4/92
31.10.1996	Austrálie, Sydney, (blíže nezjištěno)	výbušnina	0/0
27.10.1996	Austrálie, Sydney, (blíže nezjištěno)	výbušnina	0/0
22.9.1996	Kolumbie, Medelín, severo-jihní linka	výbušnina	8/0
11.6.1996	Rusko, Moskva, Tulakaya a Nagatinskaya	výbušnina	4/12
28.3.1996	Francie, Lille	výbušnina	0/0
29.10.1995	Ázerbajdžán, Baku, Ulduz a Narimanova	výbušnina	289/300
29.10.1995	Kolumbie, Medelín, Tricentenario	střelné zbraně	0/0
17.10.1995	Francie, Paříž, Orsay museum a Saint-Michel	výbušnina	0/29
6.10.1995	Francie, Paříž, Maison Blanche	výbušnina	0/13

17.9.1995	Francie, Paříž,	střelné zbraně	0/0
17.8.1995	Francie, Paříž, Charles de Gaulle-Etoile	výbušnina	0/17
25.7.1995	Francie, Paříž, Saint-Michel	výbušnina	8/117
4.7.1995	Japonsko, Tokyo, Hibiya	chemická – neznámá látka	0/0
2.7.1995	Japonsko, Yokohama	chemická – neznámá látka	0/36
15.5.1995	Japonsko, Yokohama	chemická – neznámá látka	0/3
20.3.1995	Japonsko, Tokyo, stanice metra Čijoda, Marunouči a Hibiya	chemická – BCHL sarin	13/6300
21.12.1994	USA, New York, Fulton Street station	výbušnina	0/48
15.12.1995	USA, New York,	výbušnina	0/2
18.11.1994	Mexico, Mexico City	výbušnina	0/0
8.10.1994	Německo, Berlín,	neznámo	0/3
3.7.1994	Azerbajdžán, Baku, Ganjlik	výbušnina	7/30
8.6.1994	Rusko, Moskva, Mayakovsky	výbušnina	0/0
2.5.1994	Venezuela, Caracas	výbušnina	0/3
19.3.1994	Azerbajdžán, Baku, stanice 20. ledna	výbušnina	12/53
3.2.1993	VB, Londýn, South Kensington	výbušnina	0/0
18.12.1992	Indie, Bombay,	výbušnina	0/4
12.9.1992	VB, Londýn, Woodside Park	výbušnina	0/0
24.3.1992	Argentina, Buenos Aires, Congress Subway Station	výbušnina	0/0
23.2.1992	VB, Londýn, London Bridge	výbušnina	0/29
23.12.1991	VB, Londýn, Harrow on the Hill a Neasden	výbušnina	0/0
5.10.1991	Chile, Santiago,	výbušnina	0/0
30.1.1990	VB, Londýn,	hořlavina	0/0

12.11.1990 série 2 útoků	Japonsko, Tokyo, Otemachi a Shin-Otsuka	hořlavina	0/0
30.5.1990	Chile, Santiago, Santiago University Subway Station	výbušnina	0/0
23.1.1990 série 7 útoků	Japonsko, Tokyo,	hořlavina	0/0
13.1.1990	Chile, Santiago, Los Heroes	výbušnina	0/0

5.1.1 Vyhodnocení

Zpracovaná analýza o teroristických útocích spáchaných v podzemních drahách v období 1990 až 2020 poskytla přehledové údaje (obr. 4), odůvodňující nezbytnost věnovat náležitou pozornost ochraně jako takové i v jejich dílčích oblastech, včetně zaměření experimentálního vývoje a aplikaci nových prostředků detekce vybraných látek.



Obrázek 4 Grafické znázornění teroristických útoků v podzemních drahách v období 1990–2020 s uvedením počtu zemřelých a zraněných a typu použitého prostředku (zdroj: zpracováno autorem).

Z tabulky 6 je patrný převažující počet teroristických útoků spáchaných za pomoci výbušnin (58). Zpravidla se jednalo o průmyslově vyráběné výbušnin na bázi trinitrotoluenu nebo domácí vyráběných variant peroxidů acetonu. Ranivý účinek odpálených výbušnin byl zesilován kovovými předměty (kuličková ložiska, šrouby, hřebíky, kovový šrot) nebo hořlavinami. Současně se lze každý výbuch dívat také jako na možnost uvolnění toxických chemikálií do ovzduší a také jako zdroj potenciálního požáru. Za detonační vlnou se výbušnina přeměňuje na horký, vysokotlaký plyn. Okamžité tlaky se, v závislosti na typu a množství výbušniny, obvykle pohybují kolem $25 \cdot 10^5$ atmosfér ($1 \text{ atm} = 0,1 \text{ MPa}$), zatímco teploty se pohybují od $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ do $6000 \text{ }^\circ\text{C}$ [140]. Horký plyn expanduje a vytlačuje objem, který zaplňuje. V důsledku toho se před tímto objemem plynu vytvoří vrstva stlačeného vzduchu (tlaková vlna), která obsahuje většinu energie uvolněné výbuchem. Jednoduché tlakové vlny v otevřeném prostoru vytvářejí rychlý nárůst tlaku vzduchu, který obvykle trvá méně než 10 milisekund. V uzavřeném prostředí vytváří odraz tlakových vln od stěn a jiných povrchů složité vlny s delší dobou trvání. To umožňuje větší přenos energie na tělo obětí a způsobení zranění, které je členěno na primární (interakce tlakové vlny s tělem), sekundární (střet energeticky aktivních úlomků s tělem) a terciární (zahrnuje traumatické amputace, popáleniny, vdechnutí povýbuchových zplodin) [141, 142]. Pro praxi je podstatné, že v případě použití výbušnin proti civilním osobám vyžaduje následná lékařská péče zejména vojenských lékařů – specialistů, kteří s tímto typem poranění mají zkušenost.

Chemické teroristické útoky v porovnání s použitím výbušnin byly ve sledovaném období zaznamenány v osmi případech, tedy v poměru 58:8. Zemřelo 13 osob a zraněno bylo 6380. Je zřetelný rozdíl mezi počtem spáchaných teroristických útoků za pomoci výbušnin a zemřelých/raněných osob a chemických teroristických útoků a následně zemřelých/raněných osob. Současně je třeba uvést, že nejvyšší ztráty na životech a zraněných byly způsobeny pouze jediným útokem, a to v japonském Tokiu. Z toho vyplývá nutnost věnovat chemickému teroristickému útoku a jeho preventivnímu předcházení v podzemních drahách maximální pozornost. Obdobně jako u výbušnin, ošetření civilních obětí BCHL může vyžadovat přítomnost vojenského lékaře – specialisty.

Velice závažným se ukazuje také vznik požáru (úmyslně založeného či neúmyslně vzniklého) v podzemních drahách. I přes to, že ve sledovaném období je známo pět útoků, pouze jeden z nich, spáchaný dne 18. 2. 2003 okolo 09:53 hod v jihokorejském městě Taegu, mezi stanicemi Banwoldang a Jungangno, byl dokonán se všemi katastrofickými dopady. K úmyslnému založení požáru došlo přímo uvnitř jedoucí soupravy, a tedy bez možnosti, aby cestující

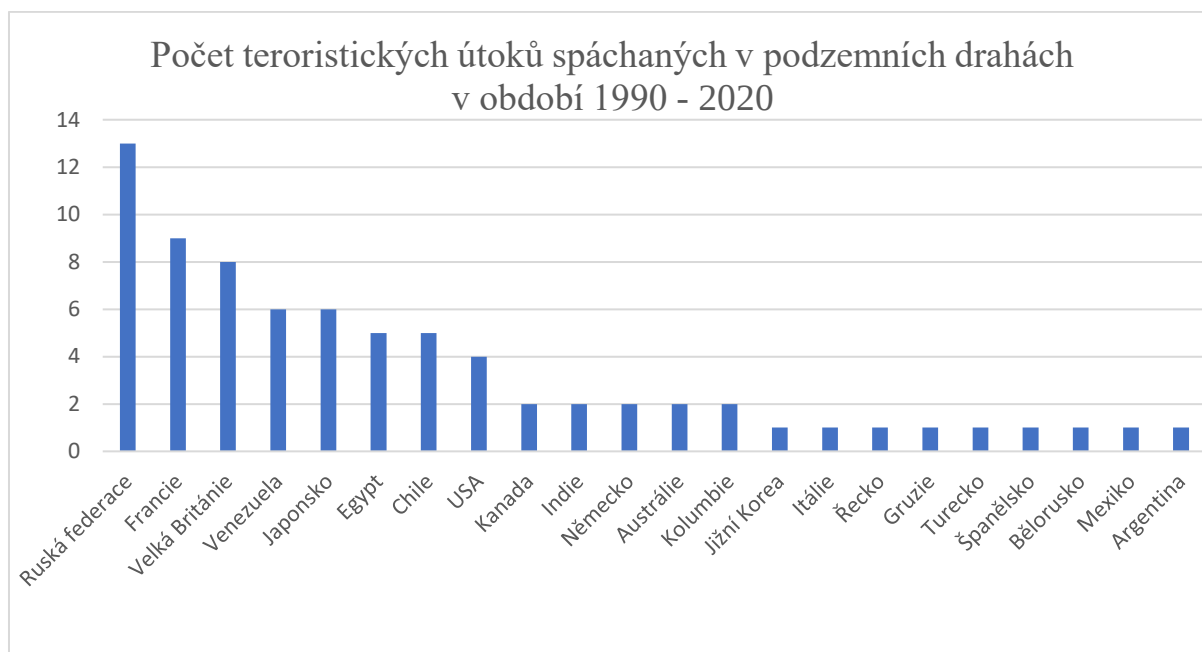
nouzově opustili vlak. Současne se počet zemřelých (192) a zraněných (151) zvýšil kvůli řadě organizačních a technických pochybení. Obdobně jako u předchozích teroristických útoků za pomoci výbušnin nebo chemických látek je potřeba zvažovat vznik celé řady fyzikálně-chemických procesů a zákonitostí odlišujících vznik požáru ve vnitřních (uzavřených) a vnějších prostorech. Oheň a kouř v uzavřených prostorách se chovají jinak než v otevřených. V závislosti na okolí, palivu a ventilaci prochází oheň skrz určité fáze po jeho vzniku. Hlavními popsányými typy požárů jsou nehořící, doutnající, dobře větraný hořící, nedostatečně větraný požár před vzplanutím a po vzplanutí. Nedostatečně odvětrané požáry produkují vysoké množství toxických zplodin, které jsou považovány za příčinu většiny zranění a úmrtí při požárech. Je nemožné analyzovat patofyziologické interakce všech toxických nebo škodlivých látek produkovaných kouřem, zejména pokud bereme v úvahu širokou škálu složek pyrolýzy a nepředvídatelnou rychlost tvorby vedlejších produktů v závislosti na teplotě, oblasti a složení hořícího prostředí. Během požáru koncentrace kyslíku obvykle klesá na úroveň 10-15 %, kdy smrt obětí nastává v důsledku asfyxie, přičemž 60 až 80 % všech úmrtí na místě požáru se připisuje nadýchání spalin [143, 144].

Pachatelé převážné většiny útoků v podzemních drahách se rekrutovali z řad existujících teroristických uskupení [138] – islámských (převážně Velká Británie, Belgie a Francie), separatistických čečenských (Ruská federace), Irské republikánské armády (Velká Británie), levicově-marxistických revolucionářských polovojenských sborů (Argentina, Chile, Venezuela), apokalyptické sekty (Japonsko) nebo jiných muslimských militantních organizací (Egypt). Pouze v nízkém počtu případů byl útok proveden jednotlivci (Taegu, Jižní Korea) a bez prohlášení příslušnosti ke konkrétní teroristické organizaci (Montréal, Kanada).

K chemickému útoku proti civilnímu obyvatelstvu v podzemních drahách byla použita nervově paralytická BCHL sarin (Japonsko), dráždivý aerosol neznámého druhu (Venezuela, USA), neznámý žlutý plyn, pravděpodobně netoxický (Kanada) [145]. Útoky BCHL, hořlavinami a neznámými pravděpodobně netoxickými aerosoly v metru (viz tab. 6), zjištěné s použitím filtrů v databázi GTD, jsou oproti ostatním typům útoků zastoupeny pouze minoritně. Z počtu zjištěných incidentů ve sledovaném období 1990–2020 tvoří útoky chemickou látkou 10,3 %. Avšak, výrazně se projevil jejich hromadný ničivý efekt vyjádřený počtem zraněných osob. Jediným útokem v tokijském metru bylo zraněno až 2,5násobně více osob, než všemi ostatními prostředky za sledované období dohromady (viz obr. 4).

5.1.2 Dílčí závěry

Analyzovaná situace útoků v podzemních drahách v období 1990–2020 dokládá, že v převažujícím počtu případů pachatelé použili jiné než chemické zbraně, především výbušniny. I přesto, že útoků v metru za použití chemických látek bylo výrazně méně, počet zraněných je cca 2,5krát vyšší oproti zraněným výbušninami. To je také argument pro další rozvoj oblasti protichemické ochrany včetně vývoje kvalitních, ale současně levných a jednoduchých terénních prostředků k rychlé detekci použitých látek, nevylučuje látek s neletálními účinky. Státy s nejvyššími počty útoků – Ruská federace, Francie, Velká Británie (viz přehledně obr. 5 a obr. 6) - se dlouhodobě potýkají s činností separatistických skupin nebo islámských teroristických zločineckých skupin, které jsou za útoky zodpovědné.



Obrázek 5 Počet teroristických útoků spáchaných v podzemních drahách v období 1990–2020 v jednotlivých státech (zdroj: zpracováno autorem, pozn. série útoků spáchaných v jeden je počítáno jako jeden útok).



Obrázek 6 Slepá mapa, na které jsou červenými body vyznačeny státy, kde byly provedeny teroristické útoky v podzemních drahách v období 1990–2020 (zdroj: zpracováno autorem).

Na základě těchto analyzovaných dat a původců útoků v komparaci se současnou bezpečnostní situací v Evropě, zejména s mohoutnou migrací osob z Afriky a Blízkého a Středního východu [146], často s napojením na skupiny s bezpečnostním rizikem, můžeme predikovat růst násilí a kriminality. Jedním z projevů mohou být i teroristické útoky s cílem zastrašit domácí obyvatelstvo a přimět národní vlády ke konání ústupků ve prospěch nových migrantů. Metro je z hlediska teroristických činů považováno za hlavní cíl, kterému by měla být ze strany odpovědných státních orgánů věnována náležitá pozornost. Ani použití neletálních BCHL či jiných chemikálií není bez rizika a v případě rozptýlení v podzemních drahách je nutné počítat s davovým panickým chováním.

5.2 TECHNICKÉ A ORGANIZAČNÍ MOŽNOSTI OCHRANY PODZEMNÍCH DRAH

Možnosti ochrany metra před účinky vybraných chemických toxických látek (CS, PAVA, fentanyl a jeho deriváty) jsou komplexním souborem činností a opatření, jejichž cílem je dosáhnout stavu, ve kterém budou na minimální možnou úroveň snížena rizika, mající potenciál ohrožit chráněný zájem. Obdobně jako jiné problematiky, k nimž je hledáno optimální řešení, je třeba i ochranu podzemních drah před chemickým útokem vnímat holisticky. Vnímat ji jako souvztah elementů na sebe navazujících, vzájemně se ovlivňujících nebo v některých případech kontraindikujících s vědomím, že jediné správné řešení neexistuje a může být nalezeno více vyhovujících variant. Vzniknuvší mimořádné události mohou mít charakter domino efektu, na sebe navazujících událostí a mohou být vyvolány antropogenními nebo naturogenními příčinami, případně kombinací obou. Vzhledem k uvedenému spatřujeme ochranné prvky podzemních drah ve dvou hlavních oblastech:

- a) oblasti technické,
- b) oblasti organizační.

Technickými možnostmi k zajištění bezpečnosti podzemních drah rozumíme soubor opatření, technologií a systémů navržených a implementovaných k fyzické ochraně prostorů, zařízení, systémů a dat před neoprávněným přístupem, poškozením, sabotáží nebo jinými hrozbami. Cílem je zajistit bezpečnost a ochranu technickými prostředky, které z hlediska předložené disertační práci spočívají:

- a) V návrhu nových jednoduchých kolorimetrických metod a prostředků detekce látky CS (subkapitola 5.3).
- b) V návrhu nových jednoduchých kolorimetrických metod a prostředků detekce látky PAVA (subkapitola 5.4).
- c) V rozboru empiricky zjištěných viditelných stavebně-technických nedostatků uvnitř podzemních drah s upozorněním na synergický potenciál eskalace mimořádné události v souvislosti s chemickým teroristickým útokem a davovým panickým jednáním a dalšími škodlivými následky (subkapitola 5.2.2).

Organizační podmínky zajištění bezpečnosti určitého objektu se týkají opatření a pravidel, která organizace stanovuje k ochraně svých aktiv, informací a zaměstnanců před různými bezpečnostními hrozbami. Tyto podmínky zahrnují různé aspekty, které minimalizují rizika

a zajišťují bezpečnostní integritu. Především je to definování jasných a přesných bezpečnostních norem a postupů, vytvoření struktury odpovědností a pravomocí, poskytování školení a pravidelných cvičení, monitoring a vnitřní kontrola, evidence bezpečnostních incidentů a jejich vyhodnocení a další. Každý provozovatel metra by měl spolupracovat s bezpečnostními orgány a experty na ochranu proti chemickým hrozbám tak, aby vypracoval účinný plán ochrany proti chemickým útokům a ten přizpůsobil specifickým potřebám metra. Disertační práce v tomto ohledu předkládá (subkapitoly 3.6 a 5.2.3) analýzu právních předpisů zaměřených v širším smyslu na zajištění bezpečnosti metra. Do této problematiky řadíme také jev vzniku davového panického chování při mimořádné události. Jedná se o předpokládaný stav, který může být do jisté míry ovlivněn, řízen a minimalizován a měl by být součástí příslušných vnitřních norem krizového charakteru.

5.2.1 Detekce, dekontaminace, prostředky ochrany, první pomoc

Text této subkapitoly je určen především pro složky IZS a pracovníky systému podzemních drah. Postupně jsou uvedeny jednotlivé aspekty ochrany obyvatelstva, které se vztahují k záchranným a likvidačním pracím a k použití prostředků individuální ochrany v případě vzniku mimořádné události s rozptylem chemických toxických látek CS, PAVA a fentanylu v podzemních drahách.

5.2.1.1 Terénní detekce látek CS, PAVA a fentanylu

Detekce aerosolů (toxických dýmů, včetně CS a PAVA) v ovzduší v místě zásahu (*in situ*) je v praxi v podstatě omezena na několik prostředků včetně detekčních trubiček, jimiž se zabývá i disertační práce. Ty umožňují jednoduchý odběr aerosolu a zároveň jednoduché přímé vyhodnocení jejich přítomnost. Všechny nebo alespoň většina ostatních metod a prostředků vyžaduje nejprve odběr vzorku (v pevném skupenství nebo v roztoku) a teprve poté vyhodnocení, které však může být z hlediska rychlosti reakce na použití chemické toxické látky nedostatečné. Shrňme-li to, v terénních podmínkách jsou použitelné prostředky kolorimetrické (detekční trubičky, detekční papírky) a spektroskopické (Ramanův spektrometr). V laboratorních podmínkách je to především hmotnostní spektrometrie, UV-Vis, separační metody (tenkovrstvá chromatografie, vysokoúčinná kapalinová chromatografie) a další.

Doposud problematická je terénní detekce fentanylu a jeho derivátů. Vzhledem k velmi nízké koncentraci, která vyvolává škodlivé účinky, vyžaduje jejich detekce značně citlivé prostředky. Fentanyly jsou odbornou veřejností stále vnímány spíše jako farmaceutický prostředek, nikoliv

jako potencionální BChL, proto vývoj prostředků terénní detekce (mimo kriminalistické detektory) není zatím objektem zájmu. Jednoduché prostředky pro terénní detekci fentanylu a některých jeho analog mohou být založené na metodách kolorimetrických – např. použití barviv ze skupiny xanthenů, vytvářející s fentanylem fialové zabarvení [147], dále může být využita Ramanova spektroskopie společně se SERS [148] nebo přenosný plynový chromatograf s hmotnostním spektrometrem [149]. Laboratorní metody stanovení fentanylu a jeho analog (včetně biologických vzorků) jsou obvykle založené na kombinaci kapalinové chromatografie a hmotnostní spektrometrie [150-153], ale i dalších metod.

5.2.1.2 Dekontaminace látek CS, PAVA a fentanylu

Látka CS poměrně rychle podléhá hydrolýze s poločasem rozpadu 7–15 minut při neutrálním pH a pokojové teplotě. Ještě rychleji, okolo jedné minuty, probíhá degradace v alkalických roztocích s $\text{pH} > 9$. Proto lze jednoduše a lacině dekontaminovat osoby i povrchy vlažnou vodou a mýdlovým roztokem, výhodně s přidavkem běžných alkalických látek (např. uhličitan sodný). Tím se docílí nejen smytí látky CS, ale i její detoxikace [153]. Alkalický roztok zároveň zvyšuje rozpustnost látky CS ve vodě.

Dekontaminaci PAVA lze provést prostým smytím vodou z povrchu nebo použitím alkalických roztoků, ve kterých se rozpouští. Ovšem druhou možností, s přihlédnutím k charakteru kontaminovaného prostoru, je neprovádět žádná opatření, neboť látka časem a působením povětrnostních vlivů podlehně degradaci [154]. Dosud existuje velmi málo vědecky ověřených informací o metodách, které by spolehlivě vedly k dekontaminaci/detoxikaci fentanylu. Jeho dekontaminace musí vzhledem k vysoké toxicitě probíhat rychleji než dekontaminace dráždivých látek. Experimentální studie naznačují, že dekontaminaci by mohly urychlovat silná oxidační činidla, např. 3–5% roztok kyseliny peroctové [155] (v ČR např. přípravek Persteril), kyselina trichlorisokyanurová [156] nebo peroxid vodíku [157].

5.2.1.3 Osobní ochranné prostředky

Profesionální osobní ochranné prostředky jsou tvořeny komplexem oděvních součástí uzpůsobených úrovni kontaminace prostředí a nebezpečnosti škodlivin. Hlavními prvky jsou ochranné masky s účinnými filtry, celotělová kombinéza, pryžová obuv a ochranné rukavice. Pro zvýšení odolnosti a minimalizaci průniku škodlivin jsou v praxi nepřiléhavé části kombinézy (rukávy, nohavice, kapuce) přelepovány vhodnou protichemickou izolační páskou (viz obr. 7, 8). Vybavení osobními ochrannými prostředky pro určitou situaci by mělo

odpovídat předpokládané míře rizika. Komplexnější celistvá ochrana je nezbytná, jen pokud není známo, jaká konkrétní látka byla rozptýlena. Pro dráždivé látky rozptýlené v ovzduší postačuje většinou obličejová ochranná maska s účinným filtrem, při práci s nimi pak také ochranné rukavice; při vysokých koncentracích dráždivých látek v ovzduší a při vysoké vlhkosti a teplotě vzduchu se doporučuje ochrana povrchu těla. V případě rozptylu fentanylu je nezbytné vybavení obličejovou maskou s účinným filtrem. Vzhledem ke schopnosti průniku fentanylu do organismu transdermálně, musí být použita ještě celotělová ochrana. Ochranné prostředky používané v ČR jsou konstrukčně odlišné pro základní a ostatní složky IZS. Policie ČR je vybavena ochrannými maskami CM-5 nebo novějšími variantami CM-6M. Hasičský záchranný sbor je vybaven ochrannými izolačními dýchacími přístroji s tlakovou lahví o objemu 6–9 litrů [158]. Pro zásahy nevyžadující izolační dýchací přístroj jsou vybaveni ochrannými maskami jako Policie ČR. Armáda České republiky je vybavena ochrannými maskami M-10, M-10M a OM-90 [14]. Používané protichemické oděvy jsou rovněž uzpůsobeny výkonu jednotlivých složek. Jsou založené na bázi oděvů filtračních (např. ochranný převlek FOP-96), hermeticky izolačních (např. OPCH-90 PO neventilovaný a OPCH-08 ventilovaný) a nehermeticky izolačních (JP-90 nebo rozšířené stříhově jednoduché nehermeticky izolační celotělové kombinézy Tyvec či Tychem) [64].



Obrázek 7 Lehká varianta ochranného obleku tvořeného kombinézou, ochrannou maskou, pryžovými rukavicemi a botami (zdroj: autor).

Obrázek 8 Varianta účinnějšího plastového obleku s uzavřeným přívodem vzduchu jako výbava dekontaminačního týmu společnosti Dekonta a.s. (zdroj: autor).

5.2.1.4 První pomoc při zasažení dráždivými látkami (CS, PAVA)

První pomoc při akutní expozici senzorickým iritantům je zaměřena, v závislosti na jejich primárním účinku, na ošetření a) očí; b) dýchacího ústrojí; c) pokožky. Předně je potřeba zasaženého vyvést s jeho pomocí nebo vlastními silami z místa expozice na čerstvý (nekontaminovaný) vzduch. Je potřeba být připraven na eventualitu, že intenzivní pocity jako podráždění kůže a slzení jsou tak silné, že se oběti nemohou chovat racionálně [159]. Je třeba vzít v potaz, že aerosoly dráždivé látky kontaminují také oděv, proto musí být oblečení před poskytnutím první pomoci odstraněno. V opačném případě stále dochází k senzualizaci zasažených míst.

- a) Při ošetření očí nejprve zkontrolujeme, zda postižený nemá kontaktní čočky, pokud ano vyjmeme je. Omýváme oči vodou nebo fyziologickým roztokem po dobu 20 až 30 minut. Jsou-li oči křečovitě zavřeny, nepokoušíme se je násilím rozevřít a pouze vyplachujeme. Nevrtáme do očí žádné masti, oleje ani jiná léčiva. Po prvotním ošetření očí by osoba měla být prohlédnuta lékařem, a to i v případě, že se neobjeví žádné příznaky (např. zarudnutí nebo podráždění). Teprve až po ošetření a dekontaminaci a následné konzultaci s oftalmologem, je možné podávat kortikosteroidní oční přípravky [89, 160]. Lze také podávat některá lokální anestetika, např. lidokain.
- b) Zabezpečíme volné dýchání v poloze, která poškozenému vyhovuje, uvolníme těsné oděvní součástky (límeček, kravata, opasek). Pozorujeme vitální funkce, pokud upadá do bezvědomí, ukládáme do Rautekovy zotavovací polohy a zvýšíme pozornost pro případ, kdyby nastalo zvracení. Vlivem účinků dráždivých látek může docházet k poruchám dýchacích funkcí, proto je stěžejní zejména podpora dýchání, zklidnění zasaženého a v případě přítomnosti vyškoleného zdravotnického personálu oxygenoterapie [89, 160]. Vzácně se mohou projevit závažná pulmonární poškození, zejména při masivní expozici, v takovém případě se postupuje obdobně jako u dusivých látek (např. fosgen). Avšak, vzhledem k rozsahu nutných zákroků a kontrole jejich účinnosti (podávání steroidů a diuretik, použití přetlakové masky, aplikace pozitivního výdechu a dalších) [161] je přednemocniční laická první pomoc na místě prakticky vyloučena. Proto se do odvozu zasaženého orientujeme na zajištění funkčnosti systému ABC (airways, breathing, circulation).
- c) Kůži ošetříme oplachem vodou a slabým roztokem mýdla, případně 1-2% roztokem jedlé sody (viz dekontaminace). Pokud je pokožka silně zasažená iritantem, může

docházet k tvorbě puchýřů. To je způsobeno farmakologickou interakcí se smyslovými nervovými receptory na povrchu kůže nebo sliznic [162]. Dále poskytujeme první pomoc obdobně jako u popálenin a zabraňujeme mechanickému otírání kůže, jež by mohlo prohloubit ranivý účinek [14]. Po dekontaminaci a prvotním ošetření lze aplikovat kortikosteroidní krém nebo kalamínový krém k léčbě stávající dermatitidy, případně k omezení opožděného erytému. Objeví-li se puchýře (při silné expozici), může docházet k sekundární infekci, která by měla být medikována vhodnými antibiotiky [89, 160].

5.2.1.5 První pomoc při zasažení fentanylem

Symptomy intoxikace fentanylem se vizuálně projevují obdobně jako intoxikace morfinanovými alkaloidy nebo jejich polosyntetickými variantami. Zahrnují snížení úrovně vědomí, absenci reakcí na vnější stimuly, zpomalené mělké dýchání, setřelou řeč, viditelně modrající rty a konečky prstů a zúžené zornice [163].

První pomoc spočívá v pěti krocích, avšak je závislá na podání naloxonu jako účinného antidota. V opačném případě, v závislosti na individuálních faktorech a úrovni zasažení fentanylem, je pravděpodobné úmrtí vlivem respirační deprese a selhání srdeční činnosti [164]:

- 1) Na postiženého hovoříme a snažíme se ho udržet při vědomí, pomáháme s dýcháním, monitorujeme vitální životní funkce.
- 2) Kontaktujeme zdravotnickou záchrannou službu nebo se snažíme přivolat pomoc kolemjdoucích osob s medicínskou praxí.
- 3) Podáme naloxon, v ideálním případě pro zachránce ve formě intranasálního spreje nebo autoinjektoru. Poté monitorujeme stav zasaženého, a pokud se do 2 až 3 minut od podání neobjeví žádné změny k lepšímu, je podána další dávka naloxonu. Cílem terapie naloxonem je obnovení dostatečného spontánního dýchání, nemusí však nutně zahrnovat úplné probuzení.
- 4) Podporujeme dýchací funkce zasaženého, které jsou kontrolovány, včetně zajištění dostatečné průchodnosti dýchacích cest. V případě, že je postižený v bezvědomí, ale s vitálními funkcemi v návratu, ukládáme do Rautekovy zotavovací polohy. V opačném případě zahajujeme kardiopulmonální resuscitaci.
- 5) Životní funkce musí být stále monitorované i při podání naloxonu po dobu dalších nejméně 12 hodin, protože fentanyl, v závislosti na způsobu průniku do organismu, má

delší biologický poločas rozpadu (fentanyl 7 hodin, sufentanil 6-9 hodin, alfentanil 2 hodiny) [165]. Biologický poločas rozpadu naloxonu je 30–80 minut [166].

5.2.2 Zjištěné zjevné nedostatky na nástupišťích (a rizika větracích šachet)

Cílem subkapitoly je upozornit na některé, empiricky pozorované nedostatky a kontroverze, které mohou ohrozit cestující nebo zvýšit škodlivý rozsah mimořádné události v okamžiku, kdy nastanou. Pozorované nedostatky se primárně zabývají stavebně-technickými aspekty, jejichž přítomnost může mít vliv na zesílení účinku chemických toxických látek a na počet zraněných nebo zemřelých vlivem davového panického chování:

- 1) na nástupišťích,
- 2) na schodištích a eskalátorech,
- 3) v prostoru před vchodem/východem na nástupiště, zpravidla situovaném těsně pod povrchem.

Autor pro účely disertační práce navrhl vlastní členění nástupišť metra (na oficiálních informačních materiálech DP nenalezeno), které má pomoci při orientaci v problematice. V zásadě rozlišujeme tři hlavní typy nástupišť (A, B, C) a 8 subtypů (I – VIII) pražského metra.

Typ A) Trojlodní nástupiště (nebo také ostrovní), mající situované kolejiště (první i druhou vlakovou kolej) vně po stranách prostupu, jež vede přímo k eskalátorům. Nástupiště je, na rozdíl od typu B, společné pro obě dvě kolejiště (např. Želivského, Národní třída – viz obr. 9a).

Subtyp I. – Ostrovní nástupiště bez postranních nosných sloupů (např. Kobylisy).

Subtyp II. - Trojlodní nástupiště s postranními nosnými sloupy (např. Karlovo náměstí).

Subtyp III. – Trojlodní nástupiště pouze s jedním vstupem/výstupem (např. I. P. Pavlova).

Subtyp IV. - Trojlodní nástupiště s více jak jedním vstupem/výstupem včetně umístění výtahu (např. Anděl).

Subtyp V. – Trojlodní nástupiště s přestupem do nižších/vyšších pater jiné linky metra (např. Muzeum).

Subtyp VI. - Trojlodní nástupiště s okamžitým výstupem na povrch, tj. bez použití schodiště nebo eskalátorů (např. Luka, Depo Hostivař).

Celkem je v pražském metru 55 trojlodních stanic.

Poznámka: autor zvažuje eventuality s možností kombinace existujících navržených typů plus subtypů. Například typ A, subtyp I., II. a IV. by platil pro nástupiště Muzeum na přestupu A/C (tj. trojlodní nástupiště, jeden vchod/východ, přestupní).

Typ B) Břehové nástupiště (obr. 9b), rozdělené v pomyslném středu kolejovým koridorem, čímž vznikají dvě oddělená nástupiště se svými vchody/východy. Bez použití nadchodů případně podchodů se nelze mezi jednotlivými nástupišti přesouvat (např. Černý most, Hlavní nádraží). Oproti trojlodnímu nástupišti zde nejsou umístěny nosné prvky (subtyp I., II.), které by komplikovaly tok cestujících při nástupu a výstup do vlakové soupravy. Rovněž oproti trojlodnímu nástupišti, vzhledem k výše uvedené specifikaci, musí mít břehové nástupiště vždy nejméně dva vstupy/výstupy, subtyp III. tedy odpadá. Neexistuje žádná přestupní stanice břehového typu. V několika případech má břehové nástupiště výstup přímo na povrchu. To je dáno charakterem vedení linky, kde je nutné zúžit její profil v případech, kdy je celý tubus veden nad povrchem. Konkrétně se jedná o trasu vedenou uvnitř Nuselského mostu s výstupy na Vyšehradě nebo tubus umístění nad povrchem ulice Chlumecká, Praha 9, stanice Černý most.

Subtyp I. - Břehové nástupiště s dvěma vstupy/výstupy, eskalátory nebo schodišti s eventuálním umístěním výtahu (např. Střížkov).

Subtyp II. – Břehové nástupiště s okamžitým výstupem na povrch, tj. bez použití schodiště nebo eskalátorů (např. Černý most).

Celkem je v pražském metru 6 břehových stanic (A – Nemocnice Motol; B – Černý most; C – Vyšehrad, Hlavní nádraží, Střížkov a Prosek).

Typ C) Unikátní typ s kolejemi umístěnými nad sebou (stanice je částečně zahlobená a zbytek povrchová), aniž by se jednalo o mimoúrovňové přestupní křížení, se vyskytuje pouze v případě stanice Rájská zahrada, linky metra B (obr. 9c). Tubus s kolejištěm je umístěn nad povrchem, a proto jsou i vstupy/výstupy situované přímo na povrch.



a)



b)

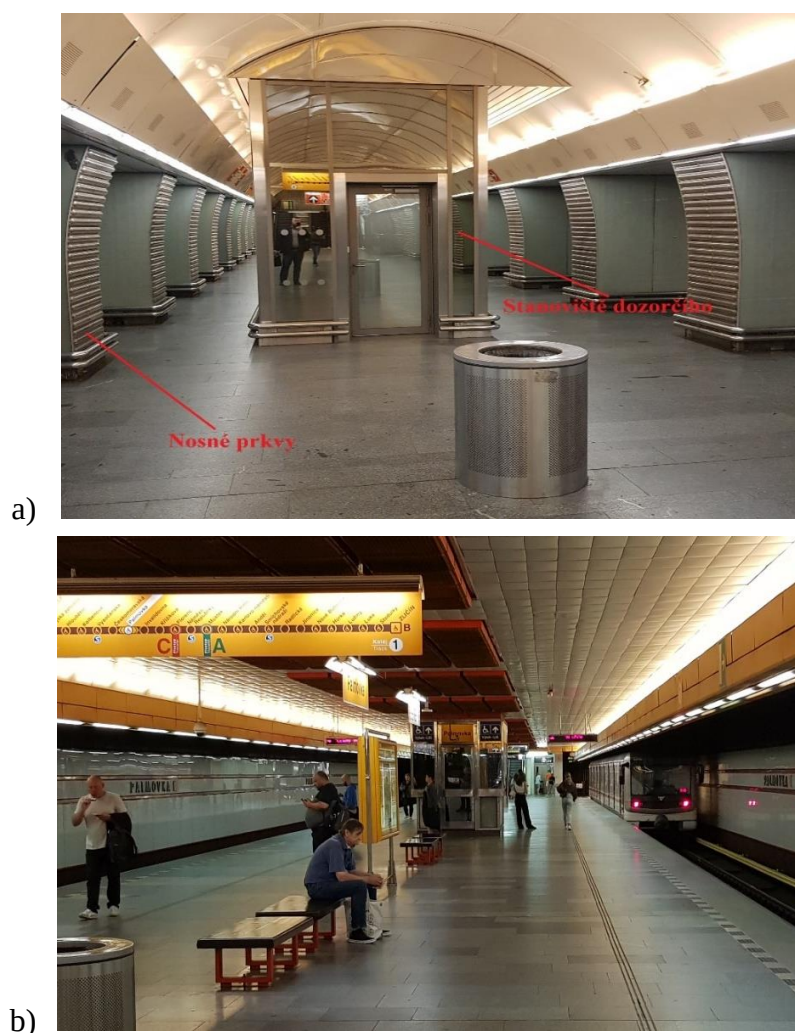


c)

Obrázek 9 Příklady typů nástupišť v pražském metru a) trojlodní nástupiště - Národní třída, linka metra B; b) příklad břehového nástupiště: Černý most (konečná stanice), linka metra B; c) příklad dvoupatrového nástupiště: Rájská zahrada, linka metra B (zdroj: autor).

Typ a subtyp nástupiště má vliv na celou řadu faktorů, které ovlivňují vznik a následky mimořádné události v podobě šíření chemických toxických látek, potažmo chemického teroristického útoku (je nutno pro komplexnost také uvést, že i z hlediska použití výbušnin). Z analyzovaného výčtu vyplývá, že neexistuje ideální typ nástupiště, protože zvažované faktory jsou v jedněch aspektech přínosné a v dalších škodlivé.

Zvažujeme například rychlost šíření škodliviny v podobě plynu nebo aerosolů. Členitý terén vyznačující se překážkami v proudění vzduchu (nosné prvky, stavby uvnitř nástupiště, instalované objekty) může snížit rozptyl šíření látky do všech prostorů (obrázky 10a, 10b). Naopak nástupiště typu A, I., které je zcela otevřené proudění vzduchu, navíc umocněné rozdílem tlaku vzduchu uvnitř a na povrchu a případně pístovým efektem vznikajícím provozem vlakových souprav, je optimálním prostředím pro šíření škodlivin.



Obrázek 10 Ukázka prvků členitosti terénu: a) prvky omezující proudění vzduchu i průchodnost (Karlovo náměstí, linka B); b) prostorově otevřené nástupiště Palmovka (B) relativně neomezující proudění vzduchu ani průchodnost (zdroj: autor).

Chování aerosolů, zejména ve zvláštním prostředí, jakým jsou podzemní dráhy, je však mnohem složitější než chování ideálních plynů, protože aerosoly mohou podléhat sedimentaci, depozici na površích a dalším procesům, které ovlivňují jejich rozložení v prostoru. V neposlední řadě mohou překážky v proudění vzduchu vytvořit „stín“. Aerosoly zůstanou ve stínu překážky, což může vést ke zvýšení jejich koncentrace na určitém místě. Překážky mohou ovlivnit rozptyl aerosolů, což je proces, při kterém se aerosolové částice zanášejí od svého původního místa. To může vést ke snížení koncentrace aerosolů v určitých oblastech, ale v jiných místech ke zvýšení. Na druhou stranu, překážky mohou také ovlivnit sedimentaci aerosolů, což je proces, při kterém se částice usazují na povrchu překážky. Důležitými faktory jsou také vlastnosti aerosolů (velikost částic, hustota, chemické složení atd.) a okolní podmínky, jako je teplota, vlhkost, proudění vzduchu a další. Proto, z hlediska kumulace škodlivých látek, jsou masivně zastavěná nástupiště (obrázky 11a, 11b) faktorem spíše přítěžujícím, z důvodu zvýšení koncentrace škodlivin a špatné propustnosti osob.





b)

Obrázek 11 Ukázka vestavěných nemovitých objektů snižující objem vzduchu a omezující orientaci i pohyb osob: a) přestupní stanice Můstek A/B; b) stanice Anděl, linka B, pohled k východu ve směru Na Knížecí (zdroj: autor).

Dalším zvažovaným faktorem v uzavřeném prostoru metra s nuceným přívodem a odvodem vzduchu je vliv proudění vzduchu, které hraje roli při šíření aerosolů (plynů). Především zvažujeme následující parametry.

Výkonnost větrání: Efektivní systém větrání je zásadní pro udržování čerstvého vzduchu v metru a snižování koncentrace aerosolů a znečištění. Současně nucený přívod a odvod vzduchu mění proudění vzduchu a v době mimořádné události může být, s ohledem na polohu stanice metra a výdechových šachet, použit pro odčerpání škodlivých látek mimo nástupiště.

Počet cestujících: Počet cestujících ovlivňuje množství vyprodukovaného tepla, vlhkosti a CO_2 , což může ovlivnit proudění vzduchu. Při vyšší hustotě cestujících může být obtížnější udržet optimální kvalitu vzduchu v prostoru metra.

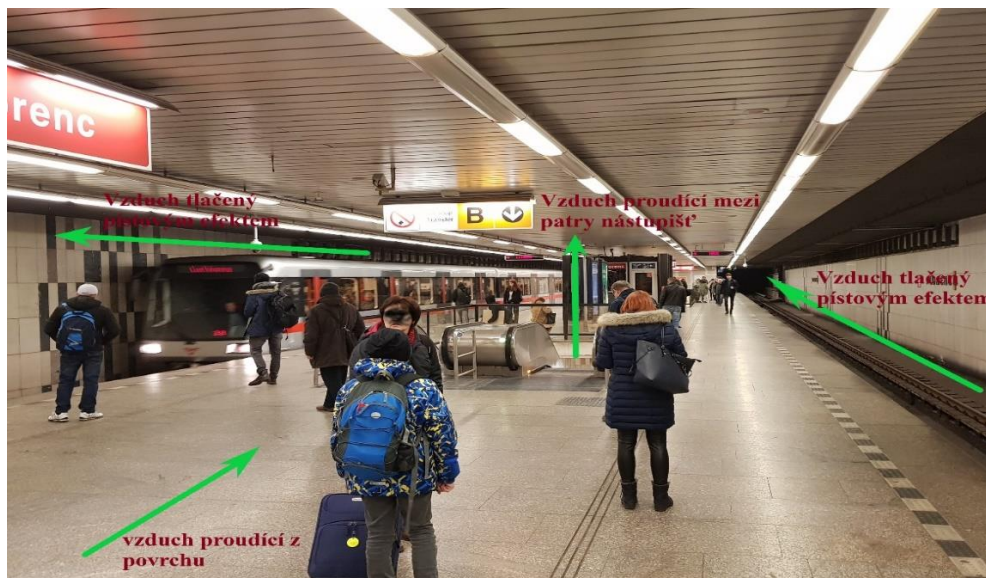
Dveře vlaků: Otevírání a zavírání dveří vlaků může mít vliv na proudění vzduchu mezi stanicemi a v tunelu. To může ovlivnit rozložení tepla, znečištění a ventilaci.

Klimatické podmínky: Venkovní klimatické podmínky, jako je teplota a vlhkost, mohou ovlivnit proudění vzduchu v tunelech a stanicích metra.

Geometrie a design tunelu a stanic: Architektonický design a geometrie tunelu a stanic mohou ovlivnit proudění vzduchu. Například zakřivení tunelu nebo různé překážky mohou vytvářet turbulentní proudění a víry.

Systém větrání: Umístění a konfigurace větracích otvorů a větracích systémů mohou ovlivnit směr a rychlost proudění vzduchu.

Výkyvy tlaku: Rychlý pohyb vlaků v tunelu může generovat výkyvy tlaku, které ovlivňují proudění vzduchu a mohou vést k výměně vzduchu mezi stanicemi (viz obr. 12).



Obrázek 12 Označení protichůdných směrů proudění vzduchu uvnitř nástupiště, způsobených pohybem vlaků a polohou nástupiště: stanice Florenc C/B (zdroj: autor).

Rychlost a směr proudění vzduchu tedy není v průřezu nástupiště na jednotlivých místech a v čase stejný, což je způsobeno shora uvedenými vlivy. Uvedeného jevu je potřeba vzít v patrnosti zejména při úvaze realizace následujících opatření:

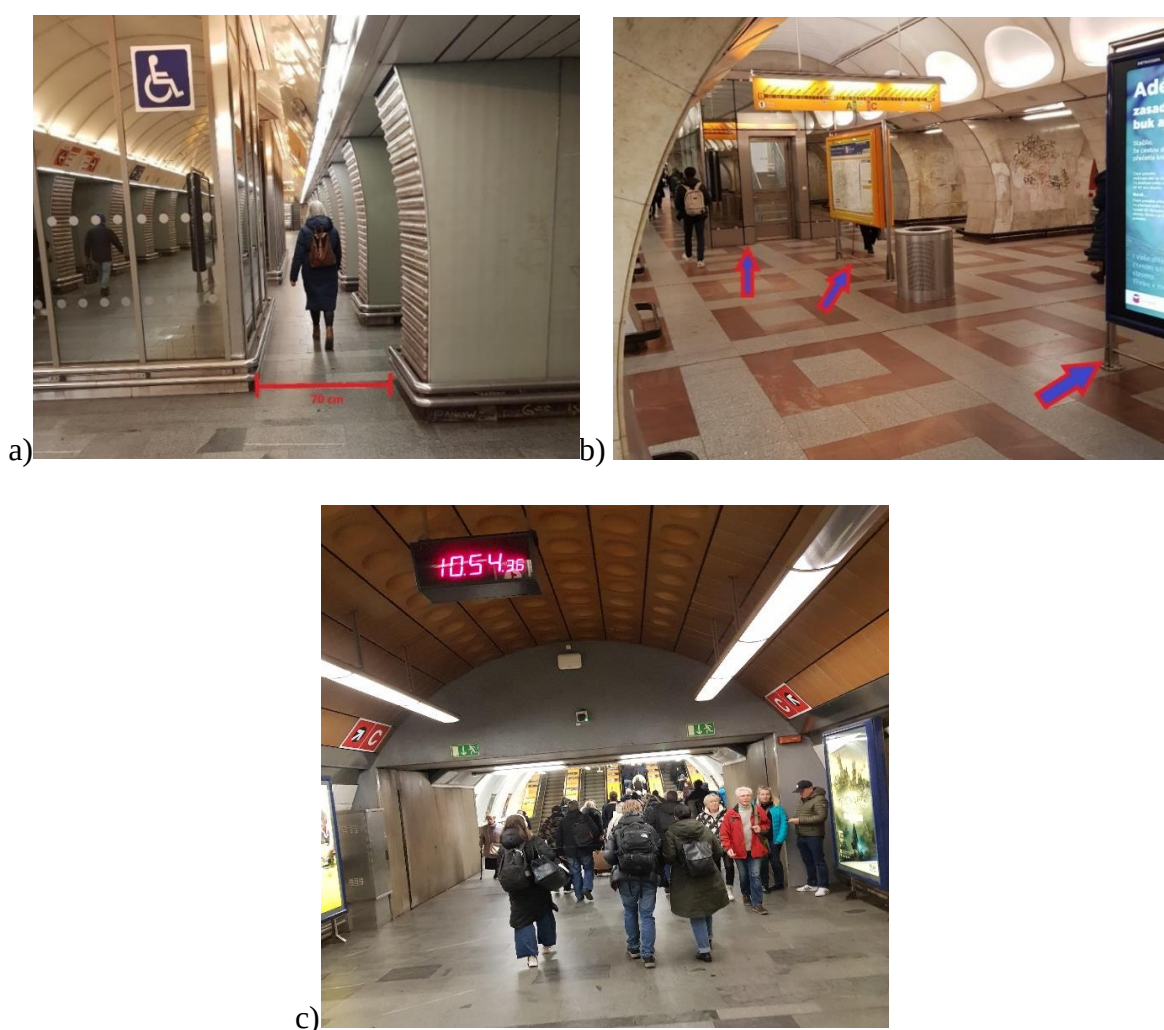
- a) Měření koncentrace škodlivin při chemickém průzkumu po vzniku události.
- b) Měření koncentrace škodlivin ex post (např. pro trestně-právní účely a dokazování).
- c) Expozice škodlivině – lidé nebudou zasaženi stejnou dávkou, proto nastanou značné rozdíly mezi akutní otravou a mírou ohrožení života jedinců nacházejících se v dosahu rozptylu škodliviny.
- d) Dekontaminační práce, při kterých je nutné zohlednit všechny uvedené aspekty, zejména nestejnoměrné hromadění mikroskopických pevných částic usazujících se z aerosolů.

Na nestejnoměrném proudění vzduchu uvnitř nástupiště a na šíření škodliviny se významně podílí pístový efekt. Principem je pohyb vlaku kupředu v relativně uzavřeném prostoru, který vede ke stlačení vzduchu před ním. Tato komprese formuje tlakovou vlnu šířící se tunelem, mající přímý vliv na proudění vzduchu uvnitř něj, ale zejména na nástupištích.

5.2.2.1 Význam členitosti nástupiště z hlediska vzniku davového panického chování

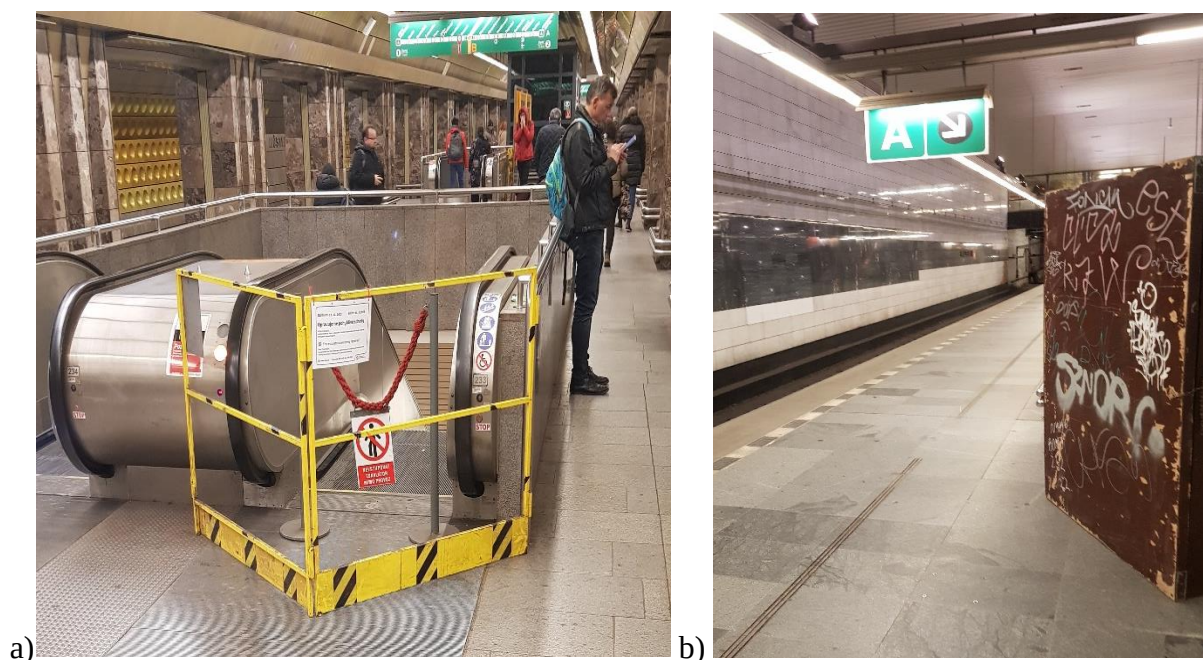
Členitost uzavřeného prostoru je posuzována z hlediska vzniku a šíření davového panického chování. Davová panika může nastat v situacích, kdy se v uzavřeném prostoru nachází velký počet lidí a vznikne pocit hrozby, strachu nebo náhlého nebezpečí. Empirickým pozorováním jsou hodnoceny následující rizikové faktory:

1. Omezené únikové cesty: V případě, že uzavřený prostor nemá dostatečné množství či šířky únikových cest (viz obr. 13a, 13b, 13c), může taková situace komplikovat a zhoršovat mimořádnou událost. Pokud se lidé necítí schopni rychle opustit prostor, ve kterém se nacházejí, může to vyvolat pocit bezmoci a paniky.



Obrázek 13 Příklad zcela omezeného prostoru v pražském metru nedostatečného nejen pro průchod jednotlivců, ale také složek IZS a) stanice Karlovo náměstí, linka B. Pro názornost je fotografie pořízena i s cestujícími. Vlivem instalace bezbariérových prvků (v tomto případě výtahu) došlo k výraznému omezení profilu nástupiště po obou stranách na průchozích 70 cm; b) zbytečné snížení průchodnosti nástupiště zastavěním jeho plochy zbytnými překážkami: stanice Anděl, linka B, směr pohledu výstupu k OC Smíchov; c) kritická situace může nastat také nahromaděním cestujících před eskalátory, které v daný okamžik představují jedinou možnost úniku: stanice Muzeum, linka A/C (zdroj: autor).

2. Pocit obklíčení: Pokud je prostor příliš těsný nebo uzavřený a cest z ohroženého prostoru je málo nebo jsou již zahlceny, lidé se mohou cítit obklíčení a bezmocní. To může zvýšit pocit strachu a úzkosti a přispět k rozšíření paniky mezi davem.
3. Sdružování lidí: V některých uzavřených prostorách, jako jsou úzké chodby nebo haly, se mohou lidé při pokusu o únik nebo evakuaci stlačit do úzkých prostor, což může vést k dalším domino efektům a vzniku paniky (viz obr. 14a, 14b). K tomuto problému se na základě pozorování vztahuje autorova nejvýraznější kritika. Na kritických přestupních místech nebo eskalátorech dochází k instalaci přenosných nebo nepřenosných zařízení, jejichž účelem je blokovat vstup cestujících zpravidla na schodiště, eskalátory nebo plochy nástupiště, kde probíhají údržby.

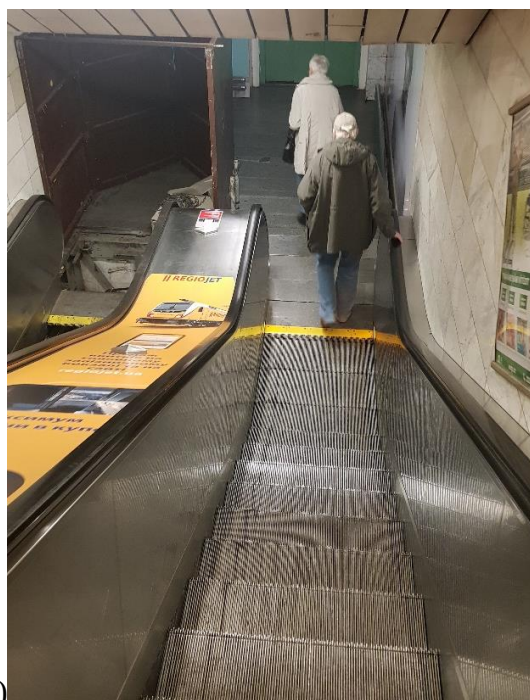


Obrázek 14 Snížení průchodnosti na nástupištích: a) zablokování eskalátorů mezi přestupními stanicemi přenosným zátarasem snižujícím možnost úniku v případě vzniku mimořádné události: stanice Můstek B/C; b) snížení profilu nástupiště instalací dřevěné bariéry, za kterou probíhaly údržby. Nebezpečnost postavením bariéry je zvýšena o riziko pádu osob do kolejiště, pokud by nastala nutnost okamžitého přesunu osob nebo při vzniku davového panického chování: stanice Muzeum A/C, pohled směrem k výstupu na Václavské náměstí (zdroj: autor).

4. Nepřehlednost: Pokud je prostor nepřehledný nebo nejsou jasně označeny únikové cesty, mohou se lidé snadno ztratit nebo uvíznout na nebezpečných místech, což může zhoršit panickou reakci (viz obr. 15a, 15b).



a)

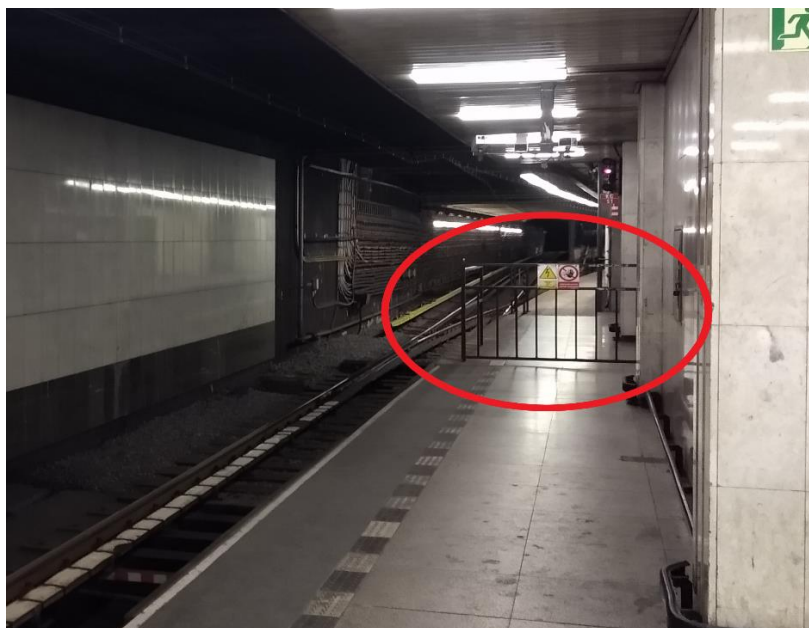


b)

Obrázek 15 a) Příklad razantního snížení průchodnosti na přestupní stanici Muzeum C/A vlivem instalace bariéry při opravě schodiště; b) nedostatečný prostor je ilustrován přítomností dvou cestujících na obrázku (zdroj: autor).

5. Omezené komunikační kanály: V uzavřených prostorech může být omezená možnost komunikace s vnějším světem, což může způsobit, že lidé budou mít omezené informace o situaci a rizicích. Nedostatek informací může zvýšit úzkost a paniku.

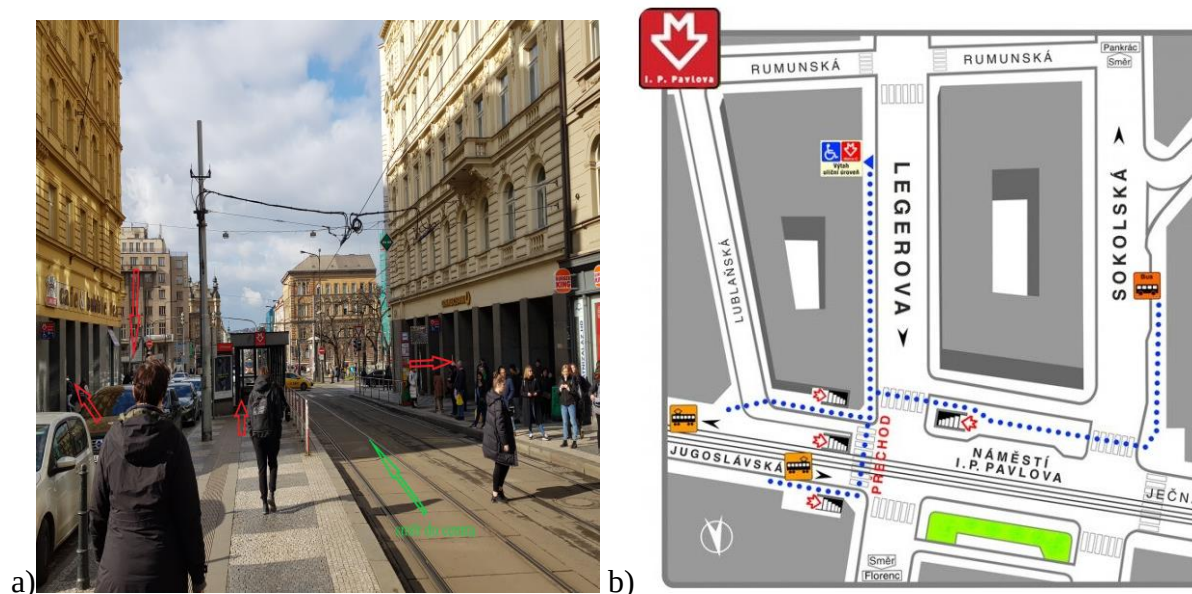
Další bezpečnostní problém lze vidět v nedostatečném zabránění vstupu do neveřejných prostor (viz obr. 16). Z obrázku je patrné, že překonáním jednoduché bariéry ve stanici Florenc (linka B/C) se narušitel dostává do kolejíště a do prostoru určeného k řízení výhybek a světelné signalizace.



Obrázek 16 Nedostatečné zajištění prostoru se zákazem vstupu do kritických prostor nástupiště, stanice Florenc, linka B/C (zdroj: autor).

Zvláštní ohled musí být brán i na povrchové části metra, které v případě vzniku mimořádné události budou sloužit jako vstup/výstup pro složky IZS a evakuované osoby. Především stanice v centru Prahy (viz obr. 17a, 17b) jsou pro širší zásah složek IZS, zejména příjezd/odjezd jejich motorizovaných prostředků, nesnadno přístupné a na tuto eventualitu musí být plánování připraveno. Současně musí být podrobně analyzovány nevyhovující okolnosti znesnadňující záchranné a likvidační práce, kterými jsou v centru města především:

- hustý provoz pozemní automobilové dopravy znesnadňující průjezd vozidel IZS (např. v okolí pražské magistrály, konkrétně I. P. Pavlova),
- zúžené prostory vstupu do metra (např. I. P. Pavlova),
- nedostatečné nástupní plochy pro jednotky IZS (např. Národní třída),
- hustý pohyb obyvatel v metru, ale i v jeho okolí (např. přestupní stanice Muzeum, Můstek),
- poloha vstupu do metra mimo pozemní komunikace (např. Hlavní nádraží, Vyšehrad),
- rozptýlení povrchových vstupů/výstupů metra na relativně velkou plochu znesnadňující složkám IZS okamžitou orientaci (např. Jiřího z Poděbrad, Kobylisy),
- příjezd a rozvinutí složek na místě mimořádné události v metru zejména v těsných částech Prahy, který pravděpodobně způsobí kolaps okolní dopravy.



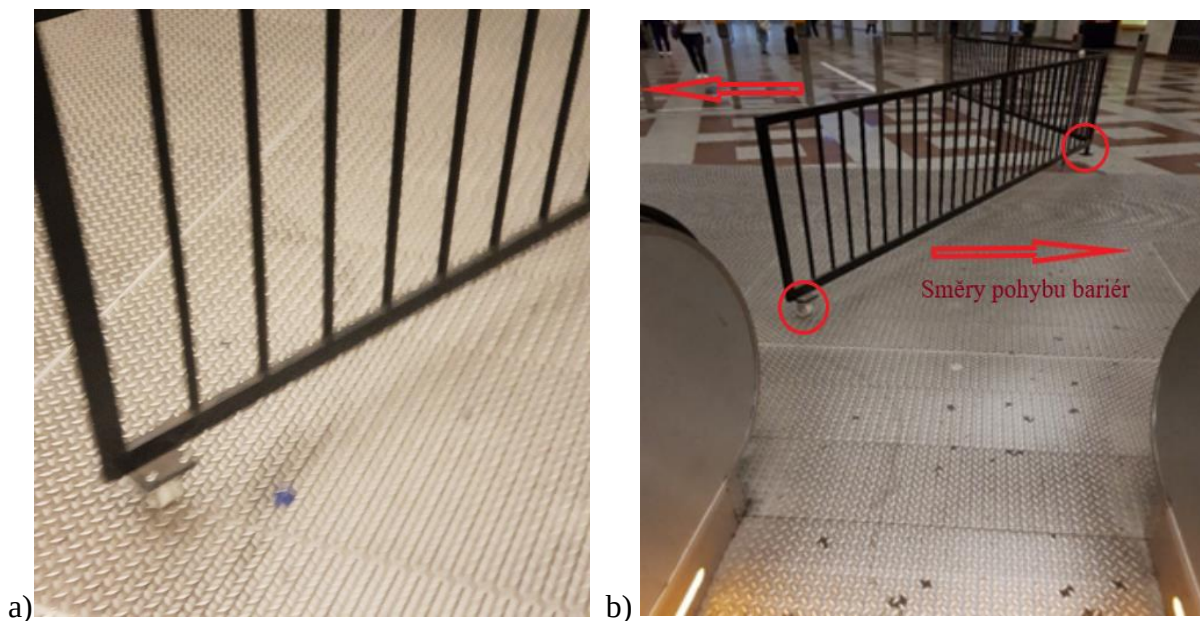
Obrázek 17 a) Příklad obtížného rozvinutí složek IZS u stanice metra I. P. Pavlova, linka C, šipky označují vstupy do metra. Příjezd pro složky IZS by byl omezován hustým provozem na pražské magistrále jak na Sokolské ve směru k Nuselskému mostu, tak na Legerově ve směru k Muzeu. Současně je zde velmi omezená nástupní plocha a úzké průchody do stanice metra z povrchu. Zablokování této části Prahy by s největší pravděpodobností způsobilo dopravní kolaps s kilometrovými kolonami vozidel. (zdroj: autor); b) zobrazení zastávky I. P. Pavlova na mapě (zdroj: v seznamu literatury č. 167).

Naopak, z hlediska bezpečnosti a pohybu v nouzové situaci je možné kladně hodnotit stavebně-technické provedení nástupišť, které mají kombinované prvky příchodu a odchodu, tj. jak eskalátory, tak schodiště, pokud jejich stavbu vnitřní a okolní podmínky dovolují. Mohou vhodně sloužit k usměrnění pohybu evakuovaných a záchranářů tak, aby nedocházelo k jejich promíchání. Zároveň, v případě výpadku elektrické energie, a tedy nefunkčnosti eskalátorů, je možné použít schodiště (viz obr. 18). Příkladem je stanice metra Ládví (C) nebo Muzeum (C). Z hlediska neomezení průchodového profilu se zachováním jak schodiště, tak eskalátorů, se jeví jako optimální jejich umístění až na konec nástupišť (např. Muzeum, C) nebo vyhloubením výstupů do bočních stěn (např. Hlavní nádraží, C)



Obrázek 18 Příklad kombinovaného příchodu/odchodu z nástupiště, stanice metra Ládví C (zdroj: autor).

Usměrnění toku cestujících a záchranářů během mimořádné události může být významným činitelem, který jednak zefektivní záchranné práce, jednak nebude dále přispívat k rozvoji davového panického chování. Na fotografiích (viz obr. 19a, 19b) jsou zobrazeny instalované kovové zábrany, jejichž účelem je zabránit vstupu cestujících do konkrétních míst. Avšak tyto bariéry by během mimořádné události pravděpodobně nepřímo způsobily další zranění nebo smrt cestujících a navíc jsou nesnadno manipulovatelné. Jako optimální řešení se nabízejí bariéry s mobilním prvkem v podobě pevně instalovaných pojezdových koleček, které je schopna na určené místo přepravit i jediná osoba. Pomocí těchto prvků je možné vytvořit koridor (y), s přesně určenými funkcemi pro vstup/výstup pohyb záchranářů apod. Zábrany je přitom navíc možno instalovat ještě v druhé variantě, s jedním koncem, na němž je otočný čep pevně zapuštěný do podlahy, a s druhým koncem pohyblivým, čímž je možné dosáhnout jejího vějířovitého pohybu.



Obrázek 19 Příklad pohyblivé bariéry umístěné na zastávce Anděl, linky B, vchod Na Knížecí, a) detail kolečka zajišťujícího pohyb; b) pohled na celou soustavu s jedním koncem zapuštěným do dlažby umožňujícím vějířovitý pohyb zábrany (naznačeno šipkami), jímž lze snadno řídit tok cestujících z/do eskalátorů, které jsou zde tři (zdroj: autor).

5.2.2.2 Rizika větracích šachet – nadzemních budov podzemních drah

Určitá slabina v bezpečnosti metra před úmyslným rozšířením chemických toxických látek je spatřována ve větracích šachtách, tzv. komínech, které slouží k nucenému přívodu nebo odvodu vzduchu z/do podzemních drah. Jejich vývod je přitom ve formě kiosků (výdechů) v řadě případů situován do hustě obydlených míst nebo míst s vysokou koncentrací chodců, případně vozidel (viz obr. 20a, 20b). Rizika z hlediska ohrožení obyvatel těchto výdechů vnímáme nejméně ze dvou hledisek:

- a) Šachta může sloužit jako prostředek pro vpravení škodliviny (nejenom chemické) s přímým dopadem do podzemního komplexu. Tím de facto obchází vnitřní ochranné systémy (PROVAS, kamerový systém, hlídkovou činnost zaměstnanců nebo bezpečnostních složek). Je-li vnitřní ústí šachty směřováno nad kolejiště do tubusu linky, rozptyl škodliviny mezi stanicemi zajistí jednak proudění vzduchu způsobené pístovým efektem nebo přímo průjezd vlakové soupravy. V druhém případě dochází ke dvojnásobnému ohrožení cestujících, a to pasažérů uvnitř jedoucí soupravy a cestujících, kteří čekají v následujících stanicích po směru jízdy [168].
- b) Opačným směrem proudění vzduchu, než v prvním případě, může být škodlivina naopak odvětrána z podzemních prostor na povrch a zde ohrozit osoby v jejich blízkosti.

Na předmětné riziko obšírně a detailně upozorňují publikace kolektivu autorů Klouda, Brádka, Kubátová, kteří realizovali experimentální rozšíření a následné měření přítomnosti simulantů BCHL uvnitř i vně stanic metra [169, 170, 171]. V případě výdechů větracích šachet si všímají nedostatečné ochrany konkrétních prvků zejména větrací šachty situované ze stanice Metra A – Muzeum, která je pouze zakryta kovovou mříží [169]. Klouda et al. (2012) uvádí, že k roku 2012 identifikovali cca 60 větracích šachet s variabilním vyústěním na povrch do dvorů obytných domů, školek, proluk, veřejných parků apod [168].

Je proto bezpodmínečně nutné, aby předmětné objekty byly řádně zajištěny proti neoprávněnému vniknutí a současně paralelně monitorovány v případě vzniku mimořádných událostí. V souladu s výzkumem výše uvedeného kolektivu by měly být tyto studie začleněny do krizových plánů a v případě vzniku mimořádné události monitorovány a střeženy. Zároveň by určené síly a prostředky IZS měly monitorovat úroveň koncentrace chemických toxických látek v jejich okolí.



Obrázek 20 Příklady výdechů umístěných přímo do městské zástavby s pohybem osob nebo s průjezdem vozidel: a) výdech ze stanice Florenc B/C s přímým vyústěním na autobusovou zastávku v ulici Sokolovská, Praha 8; b) výdech ze stanice Pražského povstání C s přímým vyústěním před budovu Ministerstva vnitra ČR Centrotex a na frekventovanou křižovatku ulic Na Pankráci x Děkanská vinice I, Praha 5 (zdroj: autor).

5.2.3 Vyhodnocení analýzy mezinárodních a národních předpisů

Cílem hlubšího rozboru právních předpisů bylo zhodnocení hledisek jejich definice mimořádné události v podzemních drahách. Primárně se zaměřením na vyjádření bezpečnosti, úmyslného (teroristického) útoku na dráhy a její součásti, rizikové faktory a další termíny mající přímou souvislost se zkoumanou problematikou. Ukazuje se rozdílnost ve vnímání klíčových faktorů, jakými jsou pojetí mimořádné události, vyjádření safety i security a na jaký subjekt nebo právem chráněný zájem jsou cíleny a jak jsou posuzována rizika. Vyhledané právní normy se

z podstaty věci nemohou věnovat výlučně ochraně metra před účinky chemických toxických látek, potažmo chemickému terorismu, ale vždy zahrnují problematiku určité oblasti (technická bezpečnost, dokumentace mimořádných událostí, krizová komunikace apod.). Z vyhodnocení vyplývá, že v ČR neexistuje právní předpis zákonné nebo podzákonné povahy, který by se explicitně zabýval předmětnou tematikou, ale jednotlivé aspekty (viz přehled níže) jsou formulovány napříč právními předpisy. Za podstatné, z hlediska právní ochrany metra před vybranými toxickými látkami, je stanovení a výklad pojmů:

- a) vyjádření bezpečnosti,
- b) ochrana obyvatelstva,
- c) mimořádná událost,
- d) terorismus/organizovaný zločin,
- e) použití chemických toxických látek,
- f) definice metra,
- g) stanovení sankce za narušení bezpečnosti metra.

Vyjádření bezpečnosti – 10 z 13 předpisů definuje bezpečnost a její zajištění v širším (obecném) nebo užším měřítku. Stanovuje bezpečnost svými vnitřními předpisy, jež slouží k zabezpečení bezvadného chodu drah, ale také k zajištění podmínek pro snižování rizik, ke tvorbě strategických analýz a dalších činností, jejichž cílem je snížit vznik mimořádných událostí. Analyzované právní předpisy nehovoří cíleně o zajištění bezpečnosti ochrany podzemních drah (metra) před chemickým teroristickým útokem, ale o souborech opatření, jejichž cílem je adekvátně reagovat na vznik mimořádných událostí. Lze konstatovat, že předpisy se bezpečností zabývají velmi vážně, vnímají dopravu jako kritický aspekt, jejíž narušení může mít dalekosáhlé dopady do různých sfér lidské společnosti. Proto jsou součástí zejména evropských předpisů plánovací procesy, které mají analyzovat, vyhodnocovat a následně předcházet vzniku mimořádných událostí.

Ochrana obyvatelstva – 3 z 10 předpisů výslovně odkazují na pojem ochrany obyvatelstva v obecné i konkrétní rovině. Podrobně se touto problematikou ze své podstaty zabývá především zákon č. 239/2000 Sb., katalog typových činností STČ 13/IZS a Bezpečnostní strategie ČR. Ostatní analyzované předpisy se ochranou obyvatelstva zabývají nepřímo, zpravidla jako souborem činností majících povahu zabezpečit ochranu života, zdraví, majetku a životního prostředí. Zároveň, kromě tří shora vyjmenovaných dokumentů, se ochrana

obyvatelstva v ostatních předpisech netýká výlučně chemických toxických látek. Dva předpisy nezmiňují ochranu obyvatelstva ani nepřímou formou.

Mimořádná událost – 5 z 13 předpisů právně definují pojem mimořádné události a další čtyři zkoumané předpisy na ně odkazují. I přesto, že vykazují formální odlišnosti (stavba věty), významově jsou totožné. Co nejvýstižněji se snaží popsat jev, na základě něhož dochází, nebo může dojít, k nežádoucím následkům včetně újmy na zdraví a poškození majetku. Právní předpisy rozlišují mezi mimořádnou událostí, mající znaky železniční dopravní nehody na straně jedné a incidenty, vzniknuvší jako následek naturogenních nebo antropogenních příčin na straně druhé.

Terorismus/organizovaný zločin – 3 z 13 předpisů se těmito hrozbami zabývá v užším měřítku, ať již popisem, právní kvalifikací nebo reakcí na spáchaný teroristický čin. Šest hodnocených předpisů se terorismem a organizovaným zločinem nezabývá přímo. V obecné rovině, v přípravě na vznik mimořádné události, však mohou být oba fenomény zahrnuty do plánovacích procesů jako významné zdroje rizik. Zároveň zejména drážní předpisy, opět obecně, zmiňují metodické postupy vzájemné spolupráce mezi provozovateli dráhy a drážních orgánů a předávání dokumentace složkám IZS v případě vzniku a následného řešení mimořádné události.

Použití chemických toxických látek – odkazují na ně 2 z 13 dokumentů. Z hlediska širšího, ale obecnějšího pojetí, mohou být v dalších sedmi předpisech chemické toxické látky zahrnuty do plánovacích procesů jako posuzovaný zdroj rizik. Tato oblast je autorem vnímána jako nejméně propracovaná a nejvíce opomíjená.

Definice metra (speciálních drah) – 4 z 13 předpisů metro popisují či zahrnují do svého textu. Důvodem vyhledávání uvedeného termínu byla filtrace předpisů a případné vyloučení těch, které by se dopravou v širším měřítku sice zabývaly (např. tramvajová doprava), nikoliv však již metrem. V ČR má metro dle *lex specialis* v podobě drážního zákona oficiální termín „speciální dráha“. Dotčené unijní předpisy jej odkazují do subsystému „kolejové vozidlo“.

Sankce – 3 z 13 předpisů uvádějí uložení finančních sankcí fyzickým nebo právními osobám v případě porušení bezpečnosti na drahách zaviněné z nedbalosti (např. opomenutí) nebo úmyslně. Avšak zákony č. 266/1996 Sb. a 239/2009 Sb. nemají, a ze své podstaty ani nemohou mít, odstrašující sankční charakter v podobě odnětí svobody za úmyslný útok proti přepravovaným osobám, zaměstnancům nebo systému podzemních drah. Účinkem trestně-právní represe je nadán, v souladu s právním řádem ČR, pouze Trestní zákoník, který

stanoví, co je trestným činem a jaké případné sankce (trest odnětí svobody, peněžitý trest, zabezpečovací detence apod.) za něj hrozí. Výsledky rozboru právních předpisů jsou přehledně shrnuty v tabulkách 7a, 7b.

Tabulka 7 a) *Vyhodnocení sledovaných prvků dokumentů mezinárodní povahy (zdroj: zpracováno autorem).*

Název předpisu (dokumentu)	Vyjádření bezpečnosti	Ochrana obyvatel	Mimořádná událost	Vyjádření analyzovaných faktorů	Použití chem. tox. látek	Definice metra	Sankce
Prováděcí nařízení Komise (EU) č. 402/2013	Ano, velmi podrobně se zabývá úrovní bezpečnosti a dosažení stanovených cílů bezpečnosti. Současně stanoví metody pro hodnocení a posuzování rizik.	Ne, není vyjádřena, nepřímo však vyžadované prvky k zajištění bezpečnosti k ochraně obyvatelstva směřují.	Ano, je kvalifikována v čl. 3 odst. 1	Není vyjádřen konkrétně, může však být součástí hodnocení rizik	Není vyjádřeno, může však být součástí hodnocení rizik	Není stanoveno konkrétně, předpis ale odkazuje na subsystém a kolejová vozidla	Ne
Směrnice Evropského parlamentu a rady 2004/49/ES	Ano, detailně se zabývá drážní safety i security. Stanovuje 4 pilíře bezpečnosti a společné bezpečnostní metody.	Ne, není vyjádřena, nepřímo však vyžadované prvky k zajištění bezpečnosti k ochraně obyvatelstva směřují.	Ano, je kvalifikována v čl. 3 písm. m), přičemž odlišuje MU od nehody nebo vážné nehody	Není vyjádřen konkrétně, může však být součástí hodnocení rizik	Není vyjádřeno konkrétně, může však být součástí hodnocení rizik	Ano	Ne
Nařízení komise (ES) č. 352/2009	Ano	Ne, není vyjádřena, nepřímo však vyžadované prvky k zajištění bezpečnosti k ochraně obyvatelstva směřují.	Není formulována	Není vyjádřen konkrétně, může však být součástí hodnocení rizik	Není vyjádřeno konkrétně, může však být součástí hodnocení rizik	Ne	Ne
Prováděcí nařízení komise (EU) 2020/572	Není stanovena přímo, pouze jako součást identifikace rizik a přijetí opatření pro jejich eliminaci v budoucnu.	Není vyjádřeno	Není popsána, předpisy pouze odkazují na jiné právní normy, ve kterých je MU stanovena.	Není vyjádřen konkrétně, může však být součástí popisu mimořádné události.	Není vyjádřen konkrétně, může však být součástí popisu mimořádné události.	Ne, pouze odkazuje na jiné předpisy	Ne

b) *Vyhodnocení sledovaných prvků právních dokumentů národního charakteru právní i plánovací povahy (zdroj: zpracováno autorem).*

Název předpisu (dokumentu)	Vyjádření bezpečnosti	Ochrana obyvatel	Mimořádná událost	Vyjádření analyzovaných faktorů	Terorismus/Organizovaný zločin	Použití chem. tox. látek	Definice metra	Sankce
Zákon č. 266/1996 Sb.,	Ano, v oblasti safety i security. Převažuje formalistické pojetí výkladu bezpečnosti, kterým může být chápána i bezpečnost ve smyslu antropenních úmyslných činů.	Není vyjádřena vysloveně. Avšak, kontext zákona, který stanovuje mj. vyhledávání zdrojů rizik, nepřímo k otázkám OOb směřuje	Ano, termín je konkrétně uveden i terminologicky zpracován v § 49 odst. 1	Není vyjádřen	Není vyjádřeno přímo jako rizikový faktor. Zákon však rozlišává pojem "incident", který není spojen s dopravními technickými jevy a teoreticky za něj může být považován	Ano, metro zde vyslovně uvedeno není, je používán v 3 odst. 1 písm. f) odborný termín "speciální dráha"	Ano, zákon pojmenovává přestupky proti drážnímu provozu	
Zákon č. 239/2009 Sb.,	Ne, bezpečnost výslovně není uvedena ani popisována	Ano, podstatou celého zákona je formování Oob	Ano, jedná se o stěžejní klasifikaci pro celou oblast krizového řízení	Není vyjádřen, avšak může být vnímán obecně ve skupině škodlivých působení sil a jevů způsobených člověkem	Není vyjádřeno, avšak může být vnímán obecně ve skupině škodlivých působení sil a jevů způsobených člověkem	Ne	Sankce uvedeny jsou, ale nemají souvislost s útokem proti metru	
Zákon č. 40/2009 Sb.,	Ano, pojetí bezpečnosti a ochrana společnosti je základním tématem zákona	Není vyjádřena vysloveně. Řada ustanovení však směřuje k ochraně obyvatelstva ve smyslu společnosti	Ne, není zde jmenována	Ano, je vyjádřena trestně-právní definice terorismu i organizovaného zločinu	Ano, je vyjádřeno protiprávní chování v souvislosti s neoprávněným nakládáním a odkazuje na mezinárodní úmluvy	Ne	Ano, jsou uvedeny	
Vyhláška ministerstva dopravy č. 100/1995 Sb.,	Ano, ale zejména z hlediska technicko-organizačních nároků, zejména elektrotechnických	Není vyjádřena	Není vyjádřena	Není vyjádřen	Není vyjádřeno	Ne	Ne	
Vyhláška Ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb.,	Ano, bezpečnost je zde primárně vyjádřena k zajištění bezvadné dopravy. Není stanovena výlučně pro provoz a výklad znění může zvažovat i antropogenní činitele.	Není vyjádřena konkrétně, avšak stanovuje povinnosti, např. informování obyvatelstva o MU v dopravě a další, které jsou prvky OOB.	Ano, je vyjádřena (odlišně od z.č. 299/1994 a 239/2000) zněním v § 1 písm. q)	Není vyjádřen	Není vyjádřeno	Ano, metro je vyjádřeno termínem "speciální dráha"	Ne	
Vyhláška Ministerstva dopravy č. 177/1995 Sb.,	Ano, upravuje stavebně-technické normy, specifikuje ale také funkce nuceného odvětrávání, nouzového osvětlení, uspořádání nástupišť apod.	Ne, není vyjádřena, avšak požadavky na technické normy, zabezpečení a další aspekty mají formu prvků ochrany obyvatelstva	Není vyjádřena	Není vyjádřen	Není vyjádřeno	Ano, předpis uvádí jak metro, tak "dráha speciální"	Ne	
Vyhláška č. 376/2006 Sb.,	Ano, bezpečnost je vyjádřena velicepodrobně z hlediska safety i security. Předpis stanovuje plnění bezpečnostních cílů, hodnocení rizik a publikaci Výroční zprávy.	Ne, není vyjádřena, nepřímo však vyžadované prvky k zajištění bezpečnosti k ochraně obyvatelstva směřují.	Není charakterizována, ale přímo odkazuje na drážní zákon. Současně velmi podrobně popisuje činnosti odpovědných pracovníků na místě mimořádné události.	Není vyjádřen, obecně však může být součástí mimořádné události, na jehož dokumentaci by se drážní orgány podílely.	Není vyjádřeno, avšak drážní orgány by se mohly na dokumentaci následků podílet.	Není stanoveno	Ne	
Bezpečnostní strategie ČR	Ano, dokument se bezpečností, byť z širšího hlediska zabývá významně.	Ano, dokument se bezpečností, byť z širšího hlediska zabývá významně.	Není přímo definována, ale dokument na mimořádné události, jejich řešení a odezvu hodnotí a komentuje z hlediska oblastí, kde mohou být očekávány.	Ano, terorismus je vnímán jako hrozba	Není uveden konkrétně	Ne	Ne	
STČ 13/IZS	Ne, bezpečnost z hlediska jejího preventivního zajištění zde není řešena. Dokument primárně řeší odezvu na MU.	Ano, jedná se o stěžejní faktor.	Není přímo definována, odkazuje však na z.č. 239/2000 Sb.,	Ano, terorismus je vnímán jako jeden z faktorů, na jehož přípravu je plán zpracován	Ano, jedná se o klíčový jev celého dokumentu	Ano	Ne	

5.2.4 Dílčí závěry

Ochrana metra před účinky chemických toxických látek, jako jsou CS, PAVA, fentanyl a jeho deriváty, představuje složitý soubor opatření, jejichž cílem je minimalizovat rizika pro cestující a infrastrukturu. Tato ochrana musí být holistická, což znamená, že je nutné vnímat ji jako propojený systém různých prvků, které na sebe vzájemně působí a mohou se i navzájem vyvažovat. Při řešení ochrany metra neexistuje jedno správné řešení, ale spíše několik variant, které mohou být vhodné v různých kontextech. Technická ochrana zahrnuje opatření, technologie a systémy navržené k fyzické ochraně prostor. Kromě již existujících ochrany před chemickými toxickými látkami v podobě PROVASu, je navržen v rámci disertační práce rozšíření o kolorimetrické detekční metody pro CS a PAVA ve formě detekčních trubiček umožňující rychlé vyhodnocení přítomnosti těchto látek (viz následující kapitoly). U fentanylu je detekce složitější kvůli jeho nízké koncentraci, která vyvolává účinky, a detekční metody jsou dosud nedostatečně vyvinuté. Zjevné nedostatky na nástupištích a v prostoru metra mohou výrazně zvýšit riziko během mimořádné události. Tyto nedostatky zahrnují omezení průchodnosti únikových cest, architektonické překážky, které mohou způsobit zvýšenou koncentraci škodlivin nebo usnadnit vznik davové paniky vlivem hromadění přecházejících cestujících.

Ochrana podzemních drah (metra) je regulována souborem národních a místních právních předpisů a v případě mezinárodních dopravních systémů může být ovlivněna i mezinárodními dohodami a normami. Většina zemí včetně ČR má specifické bezpečnostní normy a předpisy pro železniční a metropolitní dopravu. Tyto normy mohou pokrývat aspekty jako konstrukce, signalizace, bezpečnost cestujících, evakuace a protipožární opatření. Města s metrem disponují plány pro krizové řízení, které zahrnují opatření k zvládnutí nečekaných událostí, včetně bezpečnostních hrozeb. V evropském kontextu existují také specifické normy a směrnice EU týkající se bezpečnosti železniční dopravy, včetně metra. Specifický právní předpis, který by se věnoval explicitně ochraně metra před chemickými toxickými látkami, potažmo spojení s chemickým teroristickým útokem v ČR neexistuje. Jistá terminologická roztržičnost i odlišnost faktického výkladu klíčových pojmů mimořádná událost, hrozba, incident, speciální dráhy (metro) a dalších pojmů napříč právními předpisy, mohou činit komunikační obtíže. Jako zásadní nedostatek je autorem považována skutečnost, že podzemní dráhy nesplňují podmínky zařazení mezi prvky kritické infrastruktury. Nadějně však zní výrok Bezpečnostní strategie ČR z roku 2023 v odstavci 122: „V návaznosti na přijatou legislativu EU vláda zohlední vývoj v oblastech ochrany kritické infrastruktury, aktualizuje kritéria pro určování kritické

infrastruktury, posílí práva a povinnosti státních orgánů a subjektů kritické infrastruktury. Zajistí také legislativní propojení kritické a kritické informační infrastruktury“ [79]. Progresivně se také vyvíjí společná evropská legislativa, která kromě jiných aspektů klade důraz na vzájemné propojení bezpečnostních systémů spolupracujících v jednom celku.

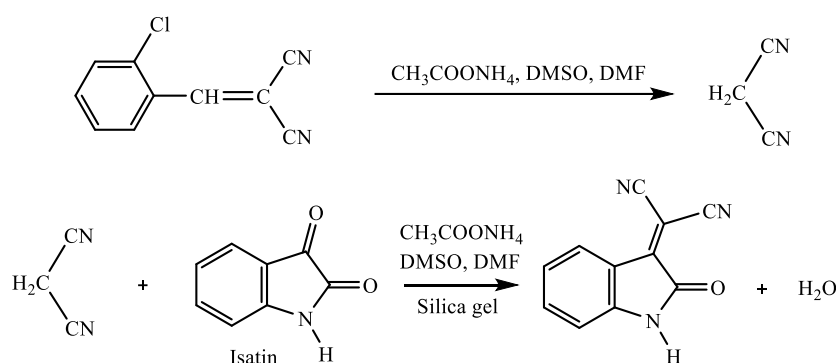
Celkově lze říci, že ochrana metra před chemickými hrozbami vyžaduje kombinaci technických a organizačních opatření, pečlivé plánování a připravenost na různé scénáře. Bezpečnostní strategie musí být neustále aktualizovány a přizpůsobovány novým hrozbám a technologickým možnostem.

5.3 NÁVRHY NOVÝCH JEDNODUCHÝCH PROSTŘEDKŮ DETEKCE *o*-CHLORBENZYLIDENMALONONITRILU

5.3.1 Detekce s použitím isatinu

5.3.1.1 Princip reakce a optimalizace reakčních podmínek

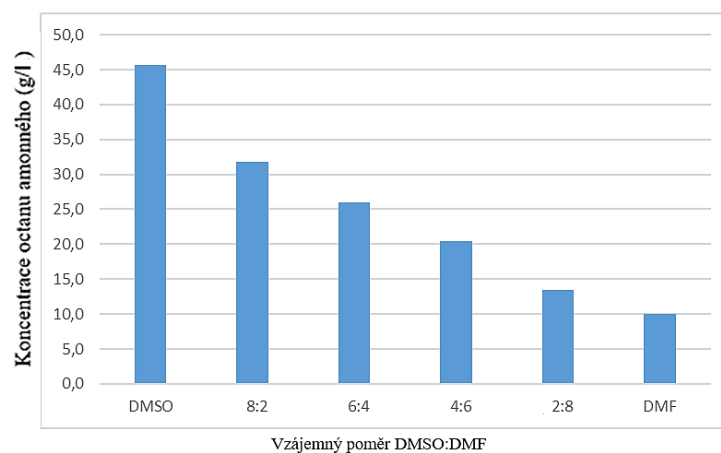
Principem analýzy je rozklad CS na malononitril, který reakcí s isatinem (1*H*-indol-2,3-dion) v prostředí DMSO poskytuje červeně zbarvený produkt (obr. 21). Silikagel použitý jako nosič detekční trubičky má katalytický účinek, stejně jako octan amonný.



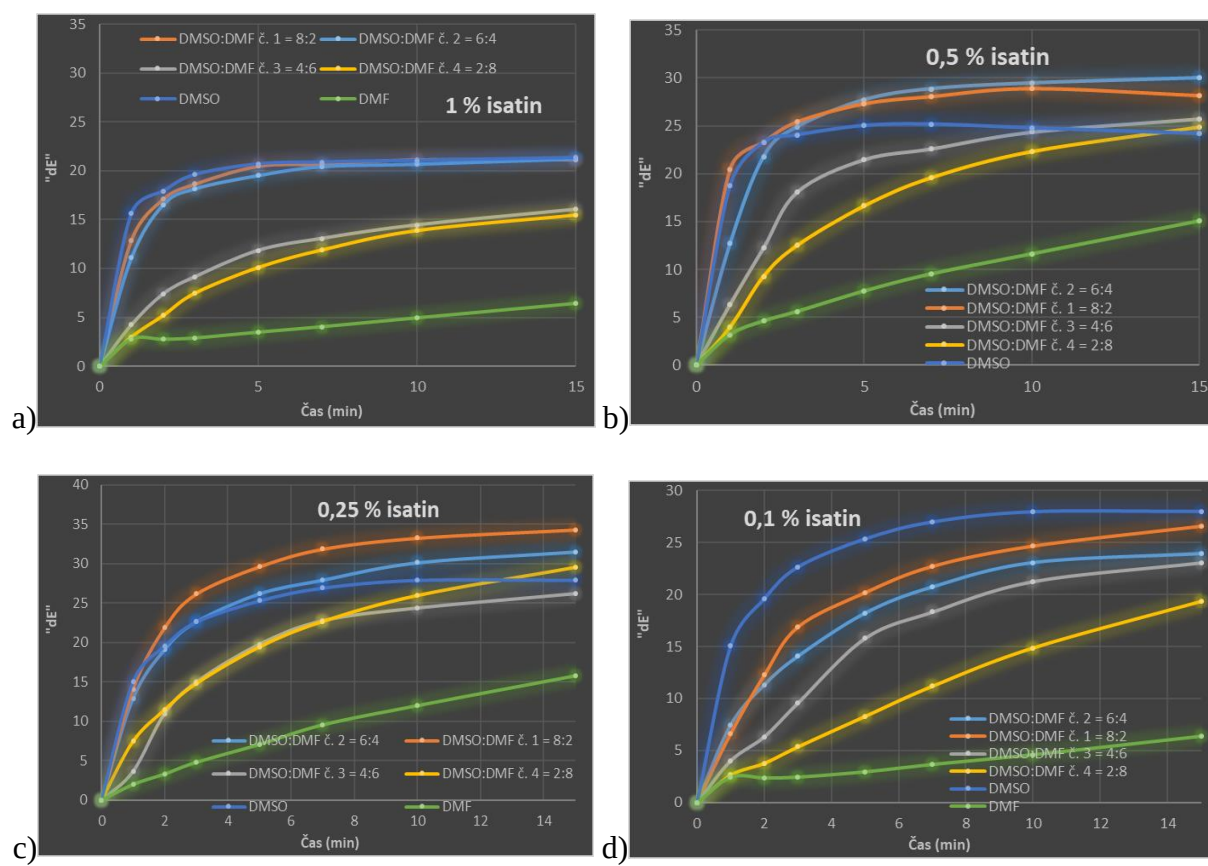
Obrázek 21 Reakční schéma rozkladu látky CS a reakce vzniklého malononitrilu s isatinem (zdroj: autor).

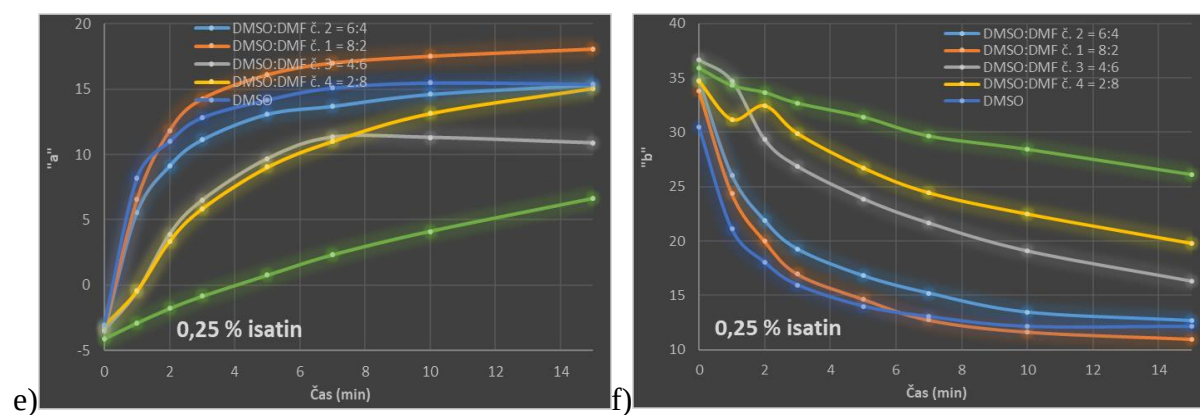
Celý analytický systém navržený na základě předběžných experimentů zahrnoval isatin, octan amonný, DMSO a DMF. Optimální koncentrace a vzájemné poměry jednotlivých složek byly detailně prostudovány. Z hlediska citlivosti a dostatečné kapacity činidla se jako nejvhodnější jevil množství isatinu na nosiči 2,5-5,0 mg/g (to odpovídá impregnačnímu roztoku isatinu o koncentraci 0,25 až 0,5 %). Analytická reakce probíhala v prostředí nasyceného roztoku octanu amonného v DMSO a DMF. Experimentálně byl zjišťován vzájemný poměr obou rozpouštědel, protože na něm závisí rozpustnost octanu amonného. Tato amonná sůl se sice nejlépe rozpouští v čistém DMSO, avšak přítomnost DMF byla vyhodnocena jako nezbytná pro terénní práci za nižších okolních teplot (teplota tuhnutí DMSO = 19 °C, DMF = -61 °C). Na základě objektivním kolorimetrickým měřením získaných experimentálních dat se jako nejvhodnější ukázal nasycený roztok octanu amonného v DMSO/DMF v poměru 8:2.

Přehled vybraných experimentálních dat dokumentujících průběh optimalizace použitých činidel je uveden na obr. 22, 23, 24.

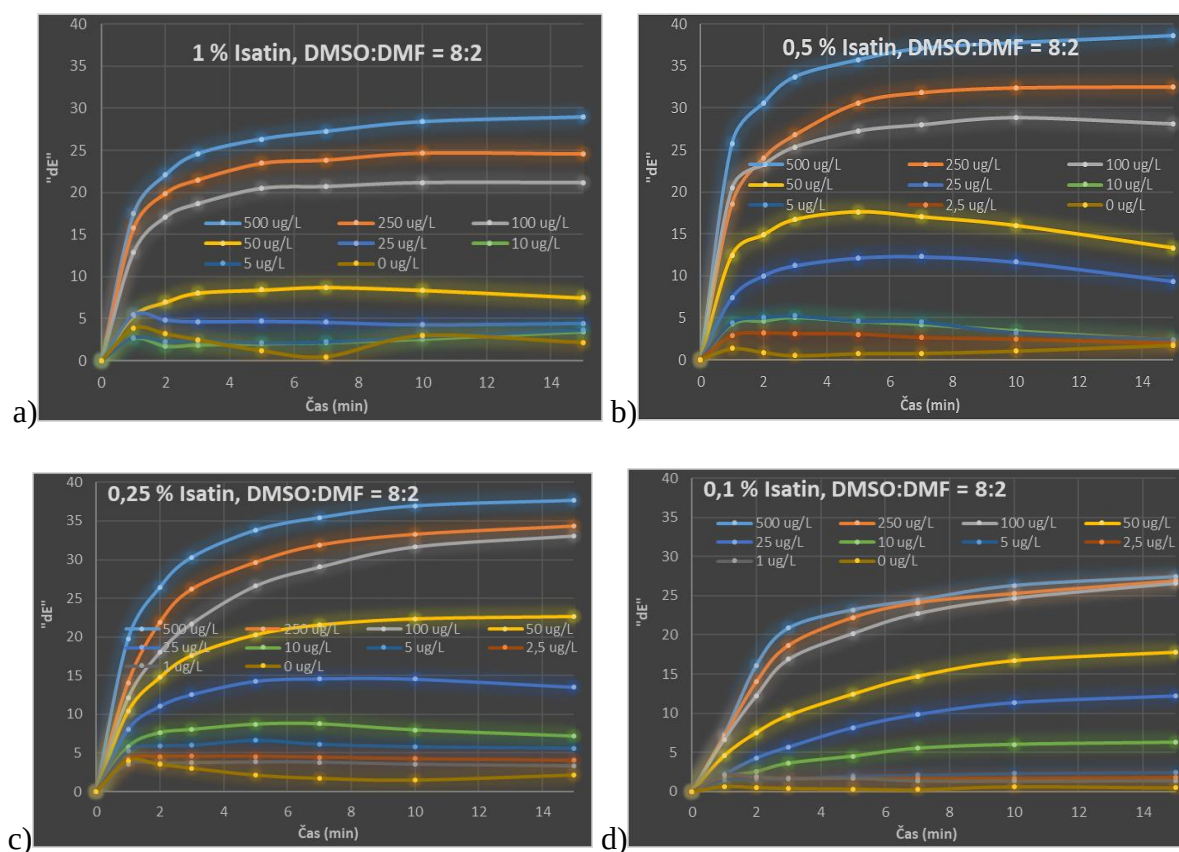


Obrázek 22 Závislost rozpustnosti octanu amonného na vzájemném poměru DMSO:DMF (zdroj: autor).





Obrázek 23 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy detektoru na koncentraci isatinu a poměru DMSO/DMF (expozice 100 μg CS): a, b, c, d – měřená hodnota ΔE ; e, f – měřené hodnoty a, b (zdroj: autor).



Obrázek 24 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy (ΔE) na koncentraci látky CS. Měření probíhalo v prostředí nasyceného roztoku octanu amonného v DMSO/DMF v poměru 8:2 a s proměnnou koncentrací isatinu (zdroj: autor).

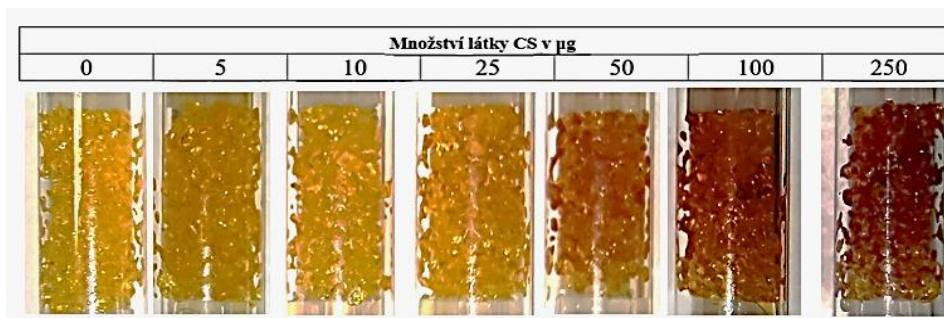
5.3.1.2 Citlivost a detekční limit

Jak je dobře patrné na obr. 25 a 26, intenzita a částečně i délka zóny zabarvení indikační vrstvy detekční trubičky s isatinem (0,25 a 0,5 %) byly úměrné množství látky CS. Zabarvení se

objevila asi do 1 minuty, plný rozvoj zabarvení byl pozorován po 5 minutách od začátku reakce, tzn. po přidání roztoku octanu amonného (obr. 25). Z porovnání obou obrázků je zřejmé, že provedení s 0,5% isatinem poskytuje brilantnější zabarvení a také citlivost je vyšší. Pouhým okem bylo detekováno 5 μg CS, což odpovídá koncentraci 5 mg/m^3 při odběru 1 litru vzorku vzduchu, nebo 1 mg/m^3 při 5násobném objemu vzduchu. Výrazně nižších limitů detekce bylo dosaženo tristimulus kolorimetrem – kolem 1 μg CS, což odpovídá 1, resp. 0,2 mg/m^3 látky CS ve vzduchu.



Obrázek 25 Intenzita zabarvení indikační vrstvy s 0,25% isatinem v závislosti na množství látky CS (zdroj: autor).

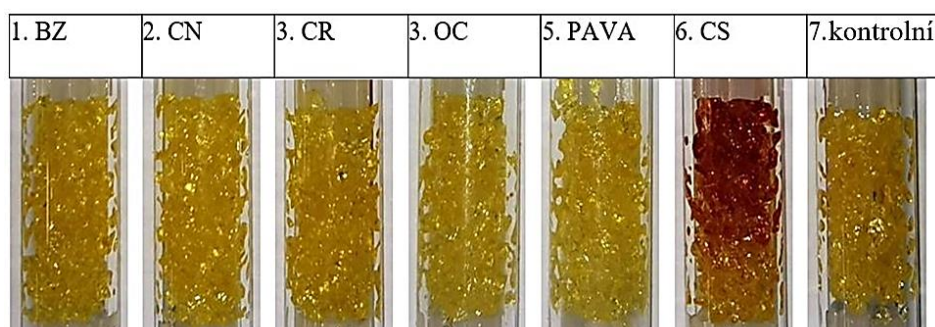


Obrázek 26 Intenzita zabarvení indikační vrstvy s 0,5% isatinem v závislosti na množství látky CS (zdroj: autor).

5.3.1.3 Rušivé vlivy

Experimentálně byla potvrzena odolnost detekční trubičky s isatinem vůči běžným škodlivinám. K žádným pozorovaným změnám (pouhým okem) nedošlo při koncentracích amoniaku 1000 mg/m^3 , sulfanu 50 mg/m^3 , oxidu siřičitého 1000 mg/m^3 nebo pyridinu 1000 mg/m^3 . Detekční trubička prokázala také vysokou selektivitu vůči dráždivým látkám CN, CR, OC, PAVA a psychoaktivní látce BZ (obr. 27). Tato zjištění naznačují vysokou robustnost

detekční trubičky s isatinem a také její vhodnost pro řešení některých problémů forenzní analýzy.



Obrázek 27 Odezva indikační vrstvy s isatinem na látky BZ, CN, CR, OC, PAVA a CS (zdroj: autor).

5.3.1.4 Tepelná stabilita

Viz kapitola 5.3.2.3

5.3.1.5 Detekční papíry

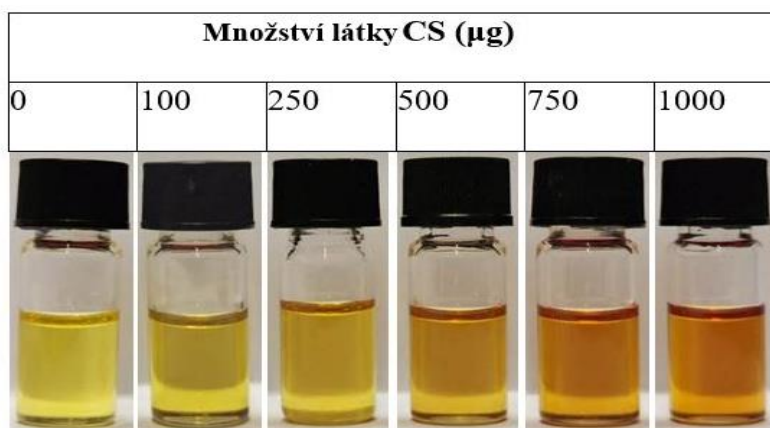
Vedle vývoje detekční trubičky byla ověřena i možnost aplikace metody s isatinem na detekční papíry, které by byly použitelné například pro analýzu kontaminovaných stěrů. Indikační efekt u obou testovaných koncentrací isatinu (0,25 % a 0,5 %) je dokumentován na obr. 28. Barevná odezva je rychlá a výrazná, intenzita zabarvení je přímo závislá na dávce látky CS. Rozdíly mezi oběma testovanými vzorky jsou prakticky nevýznamné.

Koncentrace isatinu	Množství látky CS (µg)					
	0	6,0	12,5	25	50	100
0,5 %						
0,25 %						

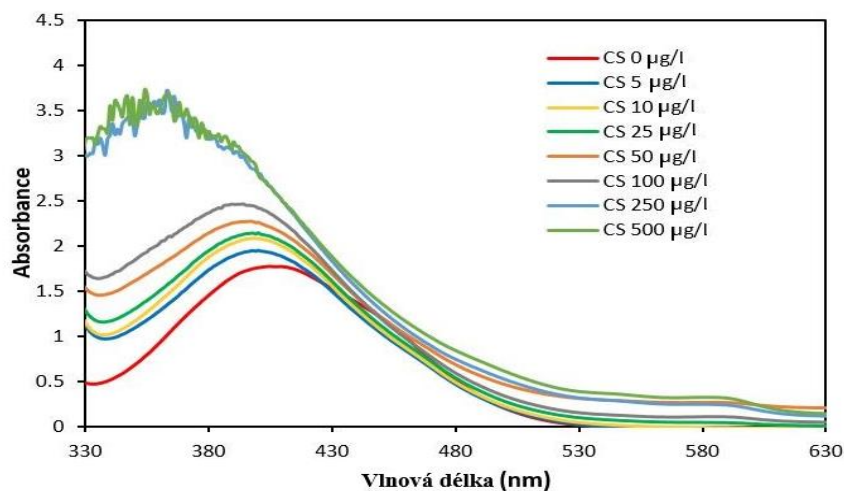
Obrázek 28 Barevné změny na celulosovém filtračním papíru s isatinem v závislosti na dávce látky CS (zdroj: autor).

5.3.1.6 Spektrofotometrické měření v roztoku

Orientačně bylo ověřeno také spektrofotometrické stanovení látky CS v roztoku, které může najít své praktické uplatnění při analýze pevných vzorků látky CS, jako jsou pyrotechnické směsi v granátech, nebo při analýze vzorků CS v roztocích pro aerosolové rozprašovače. Metodu lze využít při forenzní analýze, nastane-li nutnost zkoumání různých kontaminovaných materiálů (oděvní součásti, předměty), a to po extrakci do DMSO:DMF. Na obr. 29 je zobrazena závislost intenzity zabarvení roztoku s optimálním složením isatinu, octanu amonného, DMSO a DMF na množství látky CS. Obr. 30 pak ilustruje typické absorbanční křivky reakčního produktu v závislosti na koncentraci látky CS. Maximum absorbance je v oblasti vlnových délek 400-410 nm, hodnota absorbance je přímo úměrná koncentraci látky CS.



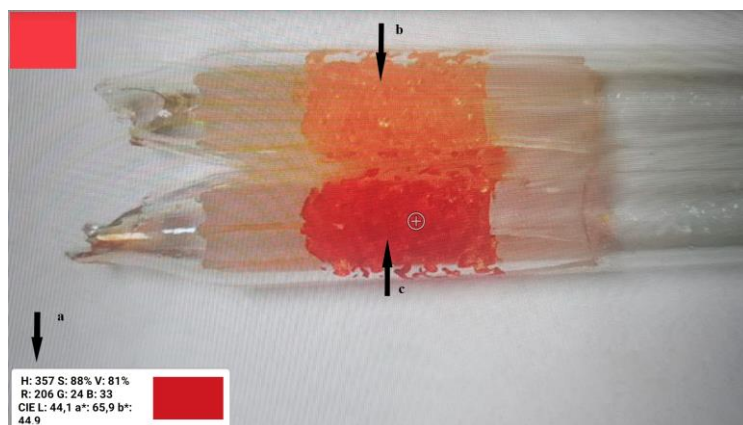
Obrázek 29 Závislost zabarvení roztoku s obsahem 0,5 % isatinu v nasyceném roztoku octanu amonného ve směsi DMSO/DMF (v poměru 8:2) na přidavku látky CS (zdroj: autor).



Obrázek 30 Absorbanční křivky reakčního produktu isatinu v závislosti na koncentraci látky CS (zdroj: autor).

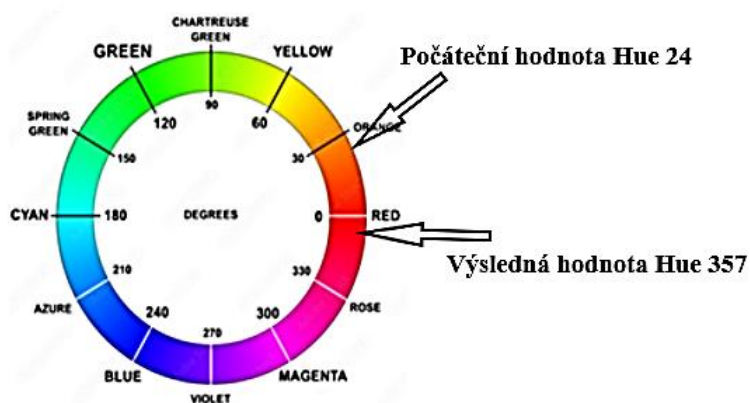
5.3.1.7 Použití mobilní aplikace Color analysis

Barevná změna v detekčních trubicích byla alternativně zaznamenána také pomocí aplikace Color analysis. Výsledky jsou ilustrovány na obr. 31, ve kterém a) značí tabulku zjištěných hodnot, včetně Hue; b) barevný odstín indikační vrstvy před reakcí s látkou CS vyjádřeného na stupnici Hue číslem 24; c) indikační vrstvu po reakci s látkou CS s vyjádřením barevného odstínu na Hue číslem 357.



Obrázek 31 Demonstrace vyjádření barev na stupnici HUE se detekčními trubicemi (zdroj: autor).

Pro přehlednější vyznačení barevného přechodu byly obě zaznamenané barevné hodnoty, počáteční a výsledná, zakresleny do barevné stupnice (viz obr. 32).



Obrázek 32 Vyjádření barevné změny indikační vrstvy detekčních trubic při experimentu s látkou CS v systému isatin, DMSO/DMF, octan amonný (zdroj: autor).

V praxi aplikace může sloužit k rychlému vyhodnocení barev a jejich přesnému pojmenování podle stupnice HUE. Její význam spočívá především k ujednacení komunikace, při níž má být určitá barva přesně popsána. Zřejmou nevýhodou je až vysoká citlivost záměrného bodu, jenž při měření např. zrnitého materiálu, resp. materiálu nekoherentní nebo nehomogenní povahy

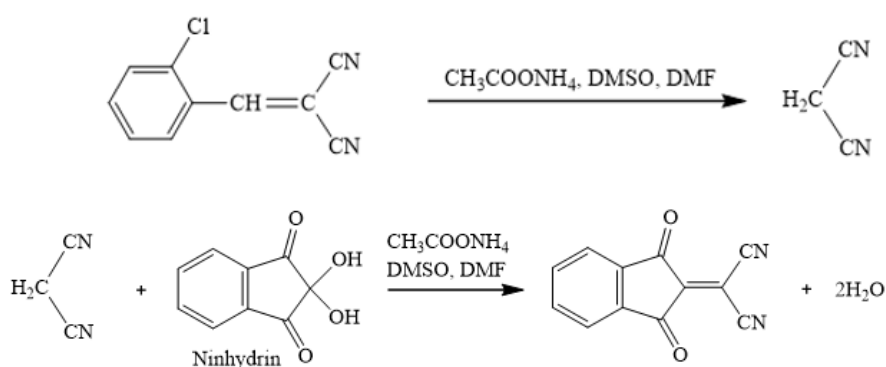
může poskytovat zkreslené údaje. Zůstává proto výlučně na zkušenosti a obratnosti uživatele aplikace, aby správně zaměřil zkoumaný objekt a provedl snímek. Další nevýhodou je přímá závislost na dostatku světla, přičemž nestandardní druh osvětlení nebo jeho příliš vysoká intenzita rovněž může výsledek znehodnotit.

Předmětnou aplikaci je možné stejnou metodou použít pro všechny experimenty prezentované v disertační práci. Jelikož se jedná pouze o okrajovou doplňkovou část, je pouze ilustrativně popsána v této kapitole.

5.3.2 Detekce s použitím ninhydrinu

5.3.2.1 Princip reakce a optimalizace reakčních podmínek

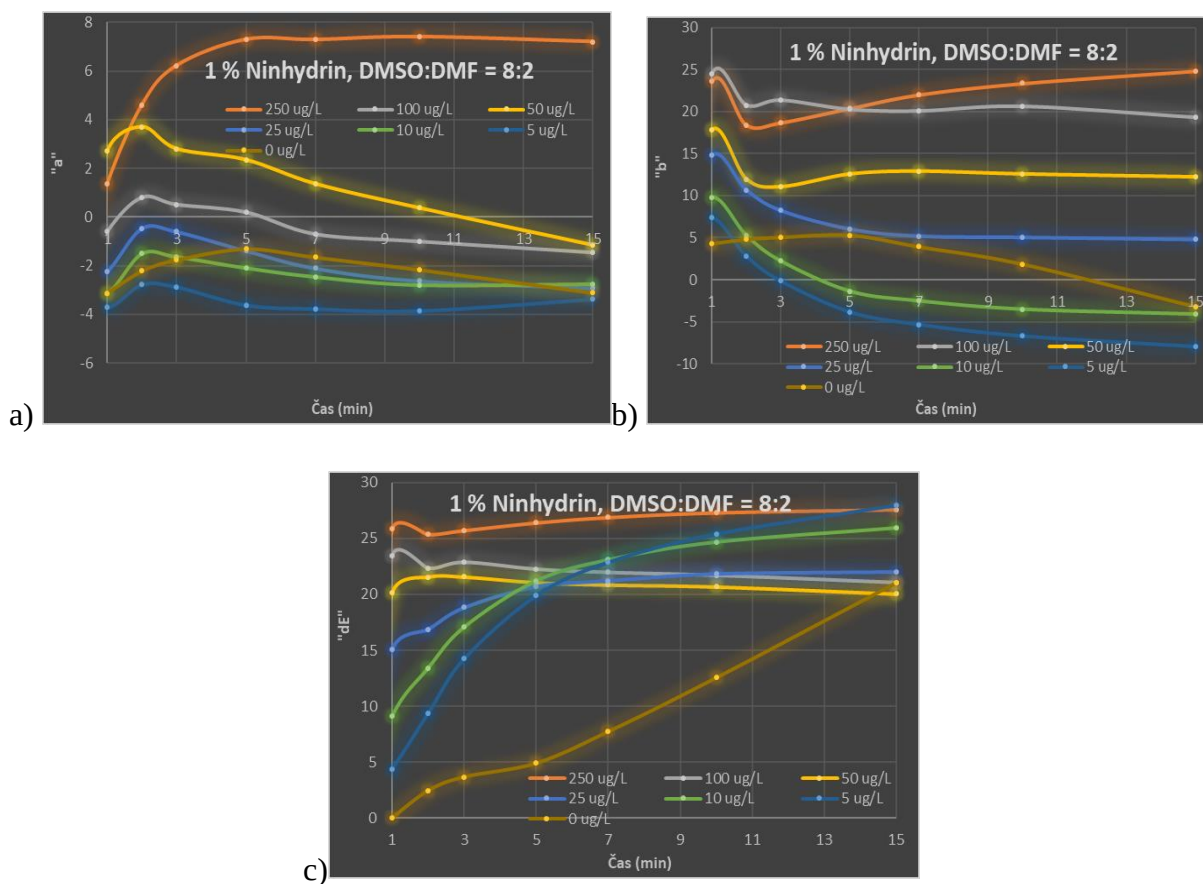
Metoda s isatinem byla modifikována jeho náhradou ninhydrinem, který s malononitrilem jako produktem rozkladu látky CS poskytuje produkt (obr. 33) s charakteristickým zabarvením, jehož odstín a intenzita, jak bylo ověřeno, závisí na konkrétních reakčních podmínkách; známé modifikace metody obvykle poskytují žluté zabarvení. K jednotlivým experimentům, jejichž výsledky jsou uvedeny v disertační práci, byly použity obdobné reakční podmínky jako v případě experimentů s isatinem.



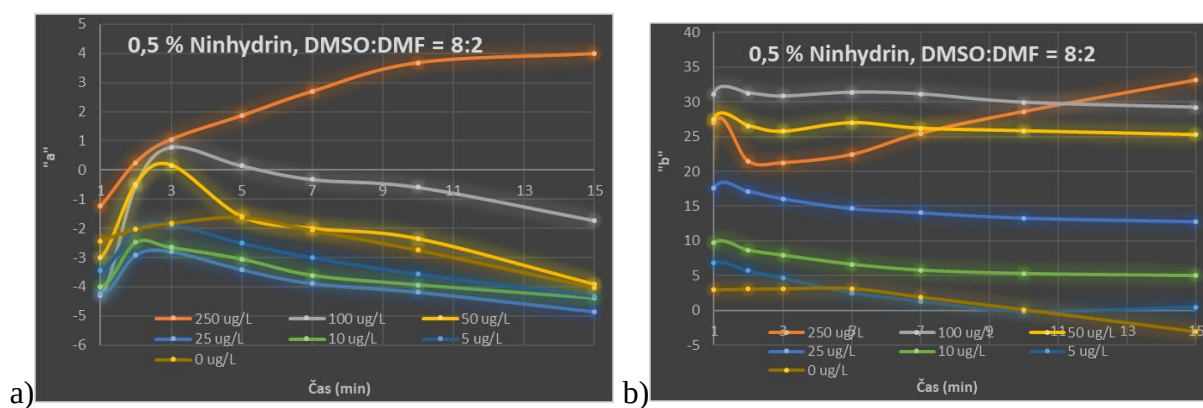
Obrázek 33 Reakční schéma rozkladu látky CS a reakce vzniklého malononitrilu s ninhydrinem (zdroj: autor).

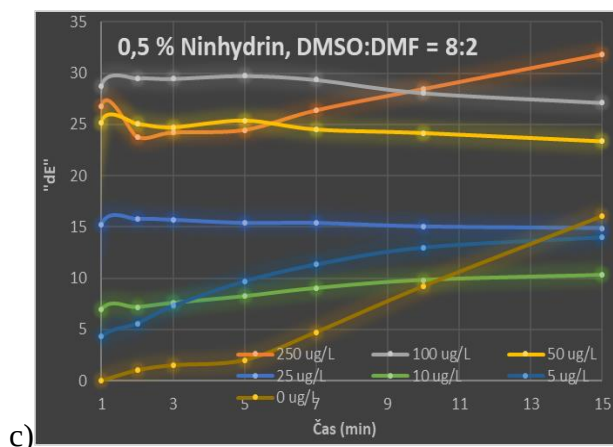
Obr. 34 a 35 ukazují závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s ninhydrinem (alternativně 1 a 0,5 %) na koncentraci látky CS v optimalizovaném prostředí nasyceného roztoku octanu amonného v DMSO/DMF. Už na první pohled je zřejmé, že vyhodnocení této závislosti není, na rozdíl od metody s isatinem, ani v jednom ze sledovaných objektivních barevných parametrů (a, b, ΔE) spolehlivé. Vliv koncentrace isatinu na barevnou změnu indikační vrstvy je dobře

patrný na obr. 34. Optimální koncentrace ninhydrinu je 1 %, koncentrace nižší než 0,5 % jsou pak analyticky zcela nevhodné (viz obr. 36).

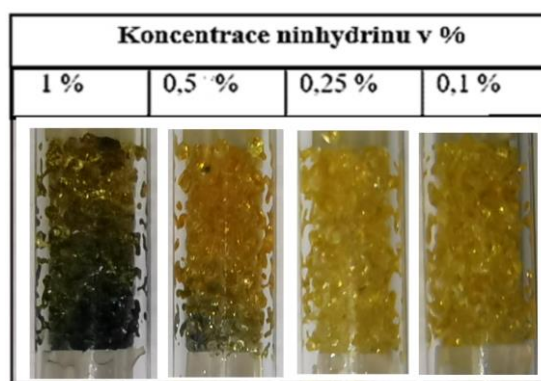


Obrázek 34 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s 1% ninhydrinem (nasycený roztok octanu amonného, DMSO/DMF 8:2) na koncentraci látky CS; a – parametr a , b – parametr b , c – parametr ΔE (zdroj: autor).





Obrázek 35 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s 0,5% ninhydrinem (nasycený roztok octanu amonného, DMSO/DMF 8:2) na koncentraci látky CS; a – parametr a, b – parametr b, c – parametr ΔE (zdroj: autor).



Obrázek 36 Závislost barevné změny indikační vrstvy na koncentraci ninhydrinu v optimálním prostředí octanu amonného a DMSO/DMF (100 μg látky CS) (zdroj: autor).

5.3.2.2 Citlivost a detekční limit

Výsledky studia citlivosti a detekčního limitu lze ilustrovat pomocí obr. 37, který znázorňuje barevné změny indikační vrstvy s 1% ninhydrinem. Na tomto obrázku je dobře vidět zejména netypický barevný přechod z oranžové (u nižších koncentrací ninhydrinu ze žluté) do šedé až černé. Závislost intenzity na změně zabarvení je výrazná (což svědčí o vysoké citlivosti) a přítomnost látky CS lze postřehnout pouhým okem už při koncentracích minimálně 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Citlivostí a detekčním limitem tak metoda s ninhydrinem předčí i metodu s isatinem.

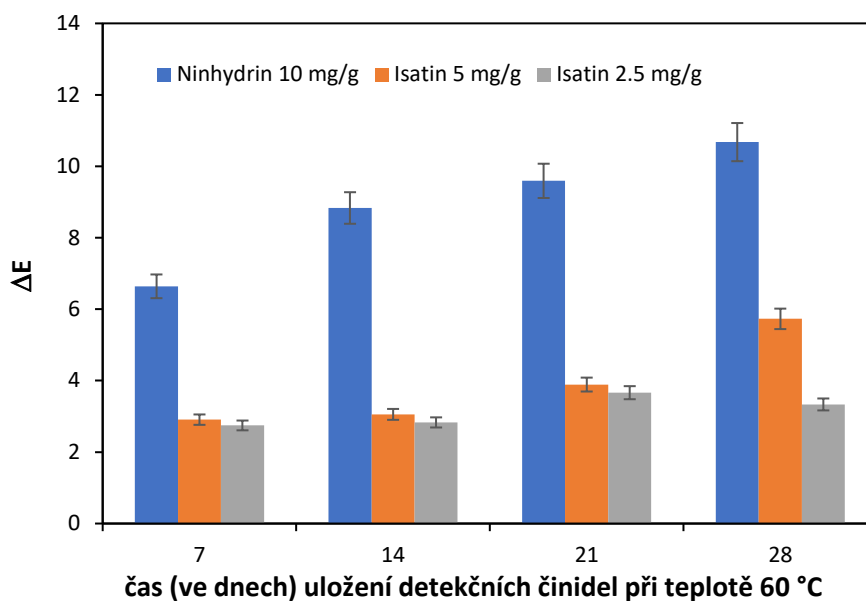
Množství látky CS (μg)						
0	5	10	25	50	100	250

Obrázek 37 Zabarvení indikační vrstvy s ninhydrinem 5 mg/g v závislosti na množství CS (zdroj: autor).

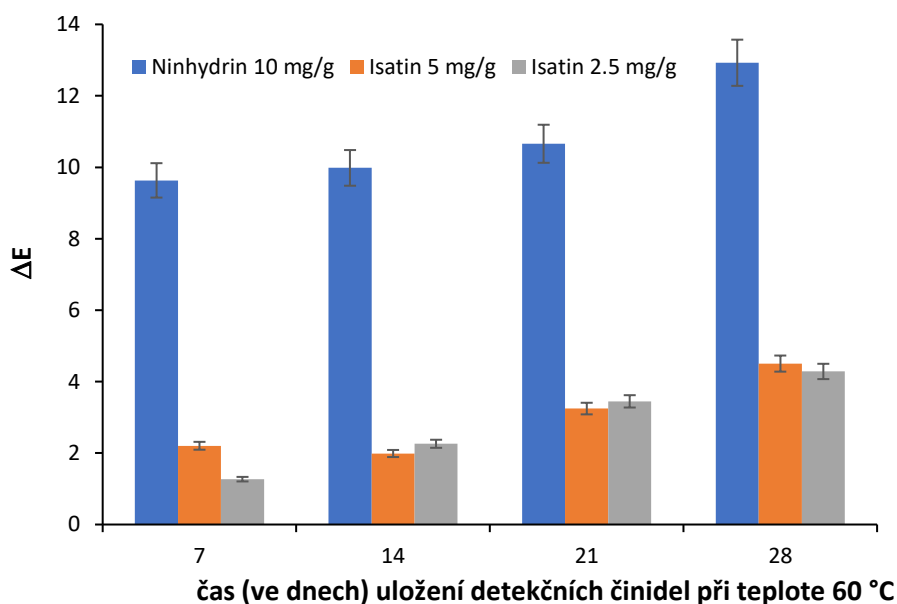
5.3.2.3 Tepelná stabilita metody s isatinem a ninhydrinem

Zvláštní pozornost byla věnována ověření tepelné stability analytického systému (jak s isatinem, tak i s ninhydrinem), který tvoří detekční trubičku. Tato stabilita ve zkráceném režimu umožňuje předpovědět dobu použitelnosti detekční trubičky a dobu skladování. Poskytuje také určité informace o možném chování detekční trubičky v extrémních klimatických podmínkách.

Experimentální měření probíhalo s isatinem o koncentraci 0,25 % a 0,5 % (tj. 2,5 mg/g a 5 mg/g na nosiči) a s 0,1% ninhydrinem (tj. 10 mg/g). Tepelné zatížení bylo při konstantní teplotě 60 °C po dobu 28 dnů, přičemž v pravidelném intervalu každých sedm dnů byl kontrolován vzhled jednotlivých vzorků a jejich funkčnost. Dosažené výsledky potvrzují poměrně dobrou stabilitu detekčního systému s isatinem. Po 28 dnech tepelného namáhání došlo k málo významnému ztmavnutí indikační náplně (změna ΔE o 4,7 %), jak ukazuje obr. 38, a ke snížení odezvy na látku CS o 9,8 % (obr. 39). Ve srovnání s tím byla stabilita indikační náplně s ninhydrinem nízká (vzhled 37,8 %, odezva na CS 25,5 %).



Obrázek 38 Tepelná stabilita analytického systému s isatinem a ninhydrinem při teplotě 60 °C ve sledovaném období 28 dnů (zdroj: autor).



Obrázek 39 Tepelná stabilita analytického systému s isatinem a ninhydrinem ve vztahu k odezvě na látku CS při teplotě 60 °C ve sledovaném období 28 dnů (zdroj: autor).

5.3.2.4 Detekční papíry

Analytická použitelnost metody byla experimentálně ověřena také na celulosovém filtračním papíru impregnovaném roztokem ninhydrinu, na který byla nanášena látka CS a detekční roztok octanu amonného v optimalizované směsi DMSO/DMF. Na obr. 40 si lze povšimnout zajímavé rozdíly v barevných odstínech v závislosti na koncentraci ninhydrinu i množství CS. Detekční limity jsou mnohem nižší než u detekčních papírů impregnovaných isatinem.

ninhydrin	Množství látky CS v μg									
	kontrolní vzorek	0,025	0,06	0,125	0,25	0,6	1,25	2,5	5,0	10
1 %										
0,5%										
0,25%										
0,1%										

Obrázek 40 Barevné změny na celulosovém filtračním papíru s ninhydrinem (0,1 až 1 %) v závislosti na množství látky CS v μg (zdroj: autor).

5.3.3 Dílčí závěry

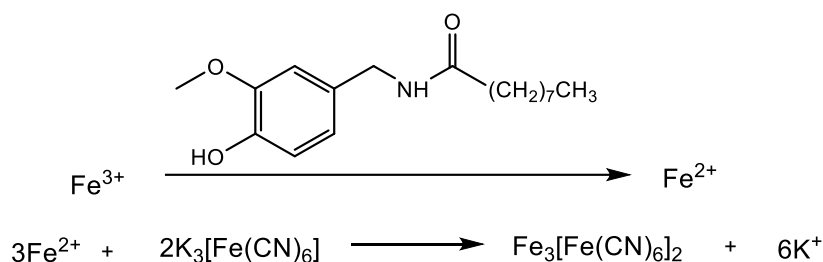
Pro detekci látky CS byly navrženy metody s komerčně dobře dostupnými činidly isatinem a ninhydrinem, v obou případech v kombinaci s nasyceným roztokem octanu amonného ve směsi DMSO a DMF, a ověřeny zejména pro detekční trubičky pro analýzu aerosolů a par. Během výzkumu se však ukázalo, že mohou být užitečné také pro přípravu detekčních papírů nebo pro spektrofotometrické stanovení v roztocích. Reakční podmínky navržených metod byly optimalizovány tak, aby zajišťovaly potřebnou citlivost, stabilitu a selektivitu. Z hlediska stability analytického systému a dlouhodobého praktického použití se jeví jako vhodnější použití isatinu, přestože použitím ninhydrinu bylo dosaženo vyšší citlivosti (resp. nižšího detekčního limitu).

5.4 NÁVRH NOVÝCH JEDNODUCHÝCH PROSTŘEDKŮ DETEKCE VANILYLAMIDU KYSELINY PELARGONOVÉ

5.4.1 Detekce s použitím reakce na Turnbullovu modř

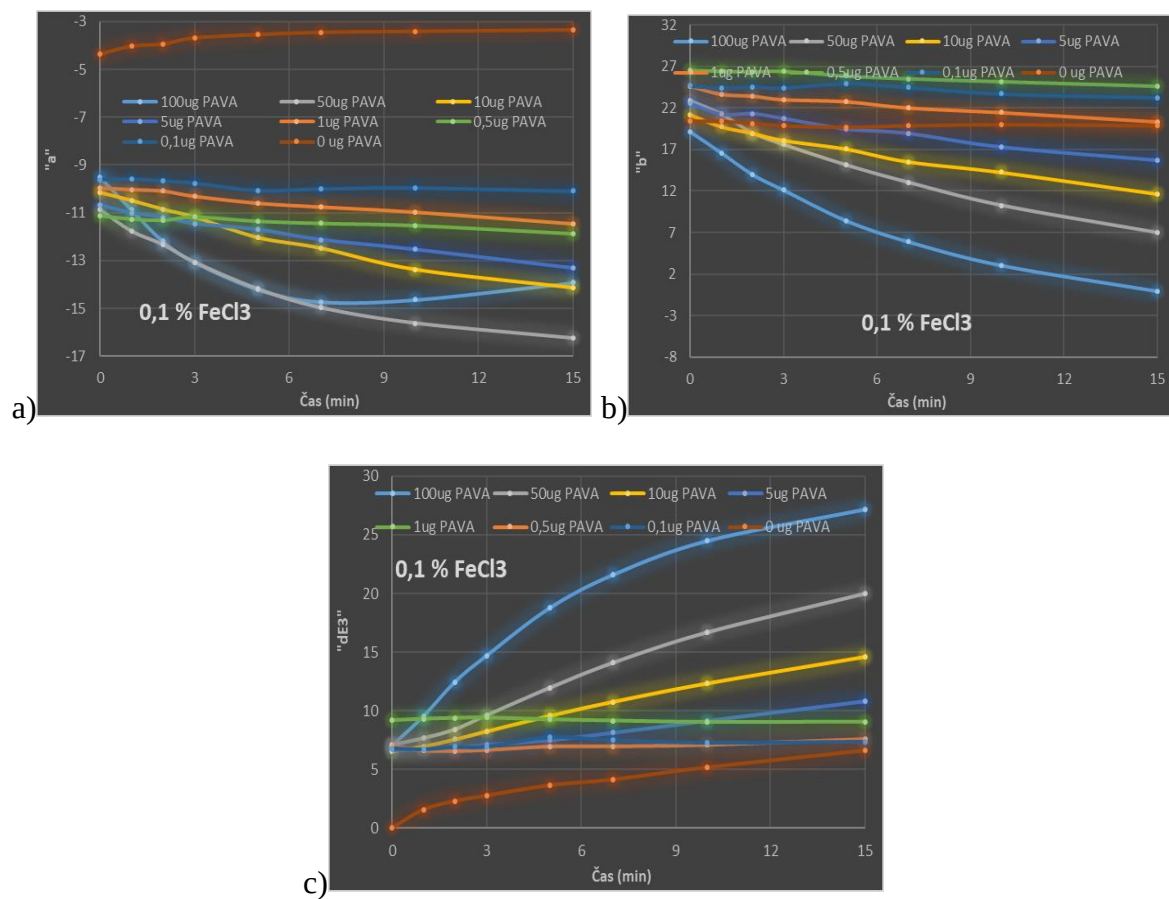
5.4.1.1 Princip reakce, reakční podmínky, citlivost a detekční limit

Navržená detekční trubička obsahuje indikační vrstvu se silikagelem impregnovaným chloridem železitým a ampulku s roztokem červené krevní soli. Metoda je založená na schopnosti PAVA (obecně kapsaicinoidů) redukovat ionty Fe^{3+} na ionty Fe^{2+} , které reagují s červenou krevní solí za vzniku Turnbullovy modři (obr. 41). Přítomnost PAVA se projeví v závislosti na koncentraci analytu prakticky okamžitě vznikem zeleného až modrého zbarvení indikační vrstvy.

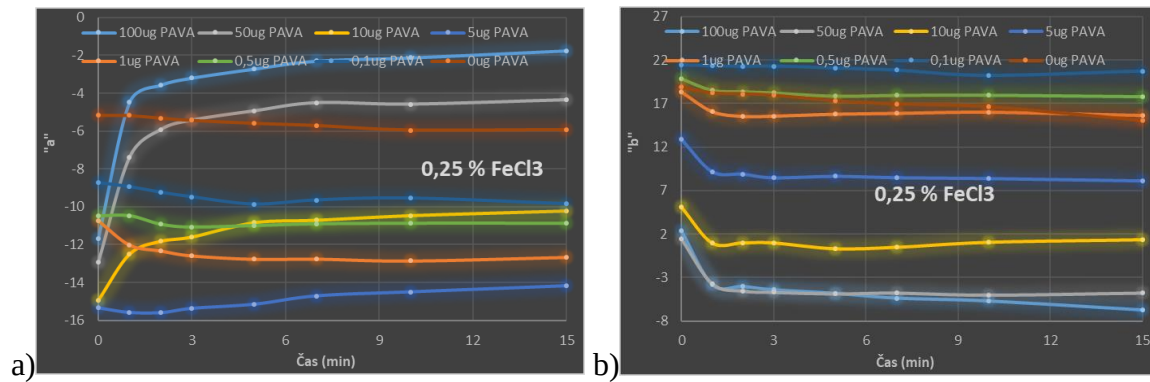


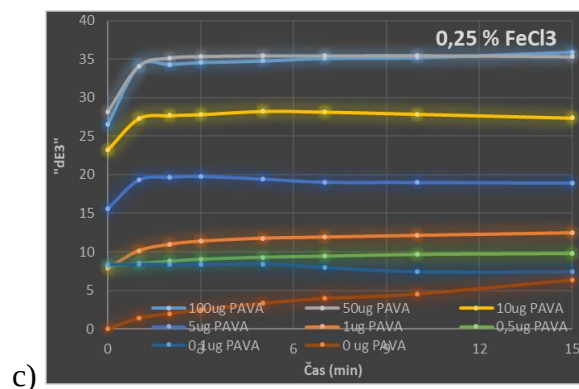
Obrázek 41 Reakční schéma redukce železitých iontů na železnaté ionty a jejich reakce s červenou krevní solí za vzniku Turnbullovy modři (zdroj: autor).

Během experimentálních prací byla optimalizována koncentrace chloridu železitého jako impregnačního roztoku i koncentrace detekčního roztoku červené krevní soli. Nejlepší výsledky poskytoval 0,25% roztok chloridu železitého v 80% ethanolu (tj. 2,5 mg/g nosiče) a 0,5% červená krevní sůl ve vodě. Výsledky optimalizace koncentrace chloridu železitého s použitím tristimulus kolorimetrie jsou uvedeny na obr. 42, 43 a 44. Výsledky optimalizace koncentrace červené krevní soli, pro změnu vyhodnocením pouhým okem, lze vidět na obr. 45. Z analýzy těchto výsledků lze odvodit, že detekční trubička je velmi citlivá, pouhým okem lze zjistit 0,1 μg PAVA, což při odběru 1 litru vzduchu odpovídá koncentraci 0,1 mg/m^3 . Detekční limit při vyhodnocení tristimulus kolorimetrem bude ještě nižší. Zabarvení je stabilní po dobu nejméně 15 minut.

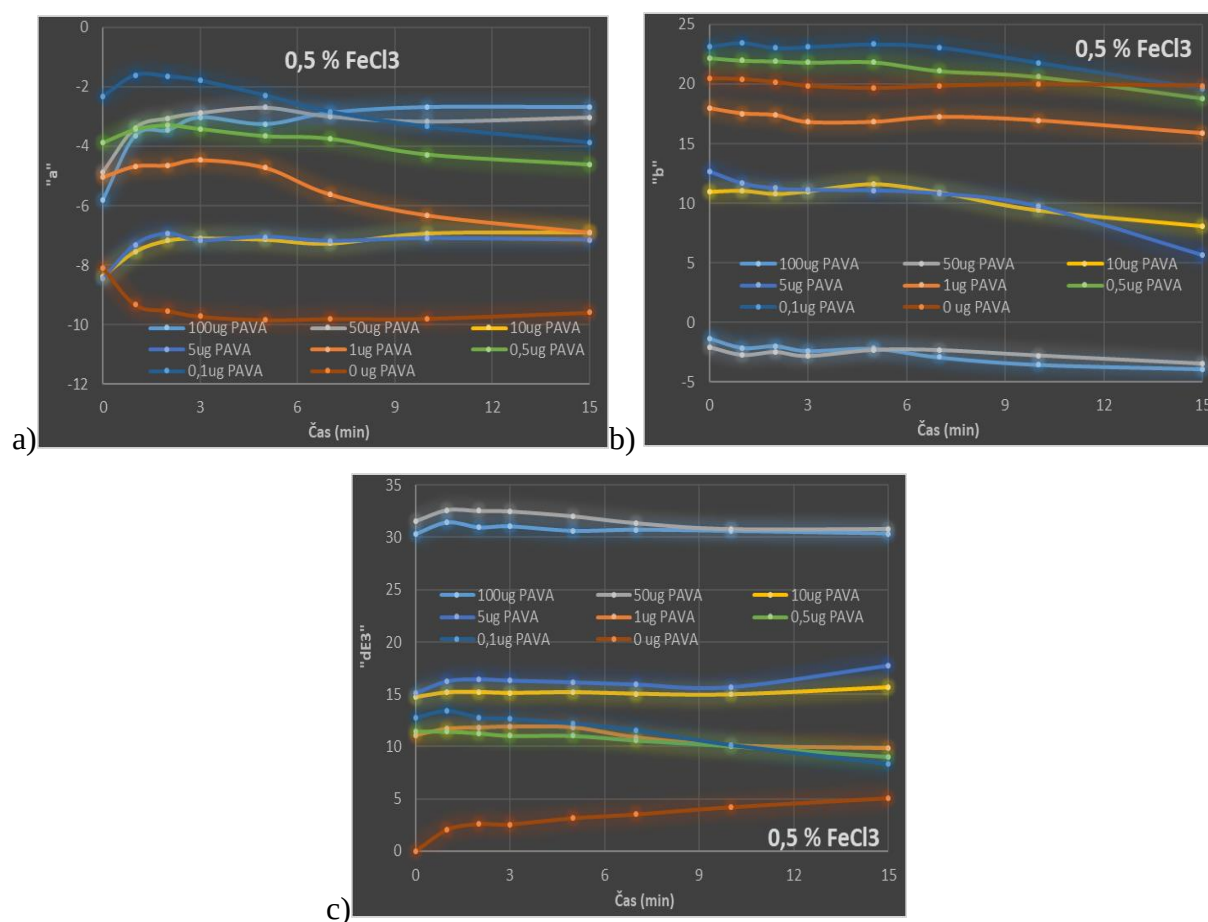


Obrázek 42 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy impregnované 0,1% roztokem chloridu železitého (s použitím 0,5% roztoku červené krevní soli) na množství látky PAVA; a – parametr a, b – parametr b, c – parametr ΔE (zdroj: autor).





Obrázek 43 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy impregnované 0,25% roztokem chloridu železitého (s použitím 0,5% roztoku červené krevní soli) na množství látky PAVA; a – parametr a, b – parametr b, c – parametr ΔE (zdroj: autor).



Obrázek 44 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy impregnované 0,5% roztokem chloridu železitého (s použitím 0,5% roztoku červené krevní soli) na množství látky PAVA; a – parametr a, b – parametr b, c – parametr ΔE (zdroj: autor).

Množství PAVA (μg)								
0	0.1	0.5	1	5	10	50	100	500

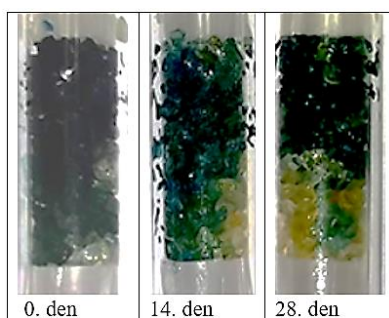
Obrázek 45 Změna zabarvení indikační vrstvy impregnované 0,5% roztokem chloridu železitého a s použitím 0,25% roztoku červené krevní soli v závislosti na množství PAVA (zdroj: autor).

5.4.1.2 Rušivé vlivy a tepelná stabilita

Navržený systém chlorid železitý/červená krevní sůl vykazuje relativně nízkou selektivitu, protože podobnou barevnou odezvu poskytují i dráždivá látka CR, psychoaktivní látka PCP a 2-Diethylaminoethanthiol, jeden z rozkladných produktů nervově paralytických BCHL série V (obr. 46). Naopak, obr. 47 dokládá, že se tento systém vyznačuje velmi dobrou stabilitou po tepelném zatížení při 50 °C po dobu 28 dnů. (obr. 47).

	kontrolní vzorek	Látka (100 μg)					
		PCP	BZ	CR	CS	PAVA	Thiol
Červená krevní sůl							

Obrázek 46 Barevné změny indikační vrstvy s použitím metody na Turnbullovu modř účinkem některých vybraných látek (zdroj: autor).

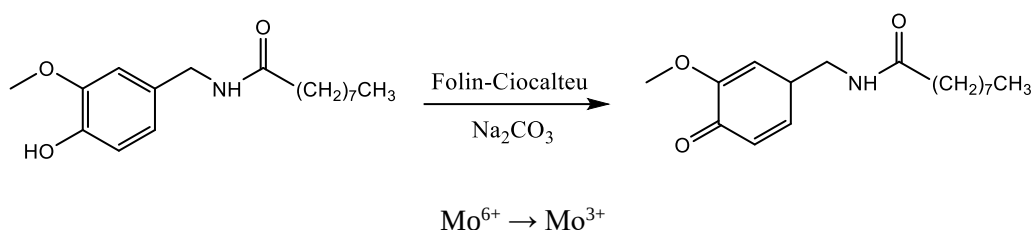


Obrázek 47 Změna zabarvení indikační vrstvy účinkem 100 μg PAVA po tepelném namáhání při teplotě 50 °C po dobu 28 dnů (zdroj: autor).

5.4.2 Detekce s použitím Folin-Ciocalteuova činidla

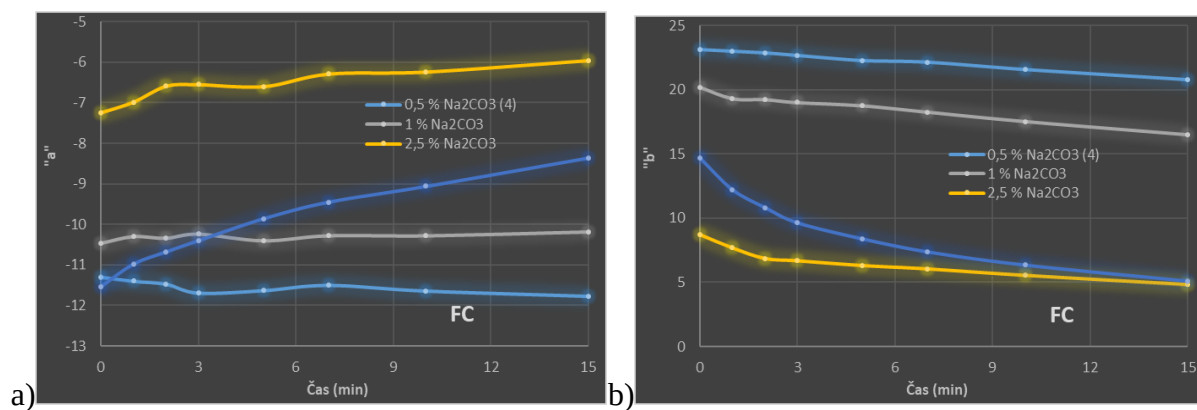
5.4.2.1 Princip reakce, reakční podmínky, citlivost a detekční limit

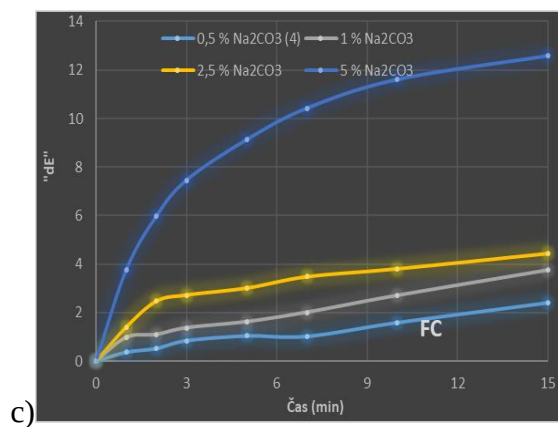
Princip je založen na redoxní reakci PAVA s Folin-Ciocalteuovým činidlem (směs fosfomolybdenanu a fosfowolframanu), která v alkalickém prostředí poskytuje modře zbarvený produkt. Během reakce dochází ke změně struktury PAVA a tvorbě molybdenové modři, na obr. 48 vyjádřené jako $\text{Mo}^{6+} \rightarrow \text{Mo}^{3+}$.



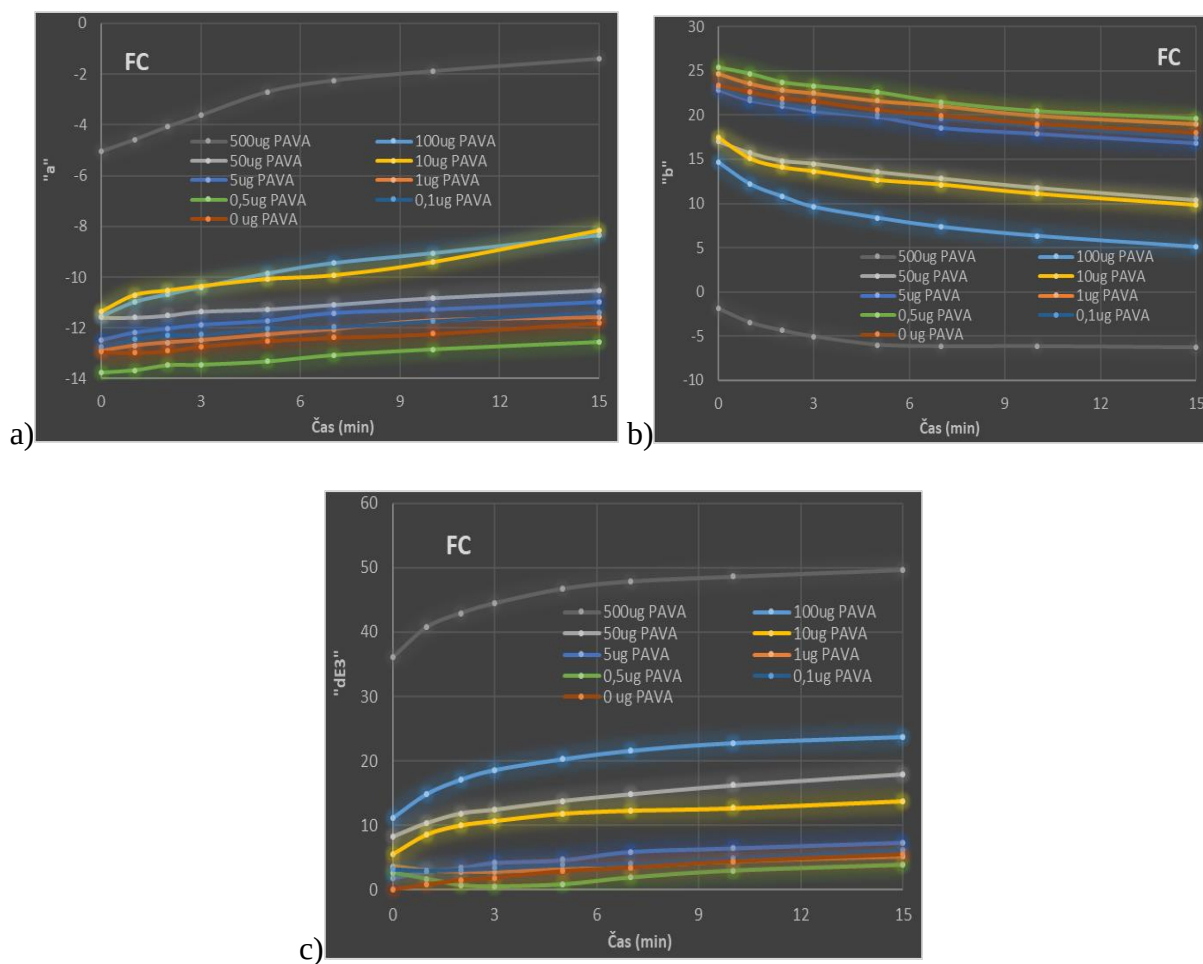
Obrázek 48 Schéma reakce PAVA s Folin-Ciocalteuovým činidlem (zdroj: autor).

Pro přípravu detekční trubičky bylo použito komerční Folin-Ciocalteuovo činidlo umístěné v ampulce nebo dávkováně na indikační vrstvu. Předběžné experimenty potvrdily, že optimalizace složení činidla není nutná. Potřebné alkalické prostředí bylo vytvořeno přímo na indikační vrstvě její impregnací vhodnou zásaditou látkou. Ukázalo se, že nejlepší výsledky poskytuje 5% roztok uhličitanu sodného. Vybraná data z optimalizace alkalického prostředí uvádí obr. 49. Odezvu analytického systému (zabarvení indikační vrstvy) na látku PAVA a její dynamický průběh znázorňuje obr. 50. Vzhled indikační vrstvy po analytické reakci si lze povšimnout na obr. 51.





Obrázek 49 Dynamická závislost intenzity zabarvení systému s Folin-Ciocalteuovým činidlem na koncentraci uhličitanu sodného (použita PAVA v množství 100 μg); a – parametr a, b – parametr b, c – parametr ΔE (zdroj: autor).



Obrázek 50 Dynamická závislost intenzity zabarvení systému s Folin-Ciocalteuovým činidlem a 5% uhličitane sodným na množství PAVA; a – parametr a, b – parametr b, c – parametr ΔE (zdroj: autor).

Množství látky PAVA (μg)						
0	1	5	10	50	100	500
						

Obrázek 51 Závislost zabarvení indikační vrstvy (5 % Na_2CO_3 , aplikace Folin-Ciocalteuova činidla) na množství PAVA (zdroj: autor).

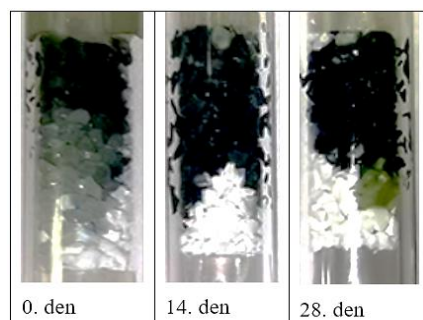
Jak je patrné z obr. 50, zabarvení se objevovalo ihned po přidavku činidla, ale k jeho plnému rozvoji docházelo až po 7 minutách. Reakce je tedy pomalejší než reakce za vzniku Turnbullovy modři. Citlivost metody je výrazně nižší než u metody na Turnbullovu modř, dosažený limit detekce při vyhodnocení pouhým okem je minimálně o jeden řád vyšší (5 μg PAVA, což odpovídá 5 mg/m³ v ovzduší při odběru 1 litru vzduchu). Objektivním vyhodnocením zabarvení tristimulus kolorimetrem lze však dosáhnout příznivějších výsledků.

5.4.2.2 Rušivé vlivy a tepelná stabilita

Folin-Ciocalteuovo činidlo je poměrně dobře prostudováno na rušivé účinky nejrozličnějších průmyslových látek nebo léčiv, proto byla pozornost zaměřena hlavně na málo známé reakce s vybranými látkami ze skupiny standardních a potenciálních BChL. Obr. 52 ukazuje, že většina těchto vybraných látek poskytuje podobné zabarvení jako PAVA, liší se pouze v intenzitě. Na druhé straně se ukázalo, že Folin-Ciocalteuovo činidlo je vysoce stabilní, svou funkčnost si udrželo i po 28 dnech vystavení teplotě 50 °C (obr. 53).

	kontrolní vzorek	Látka (100 μg)					
		PCP	BZ	CR	CS	PAVA	Thiol
Folin Ciocalteu							

Obrázek 52 Zabarvení indikační vrstvy účinkem vybraných látek (zdroj: autor).

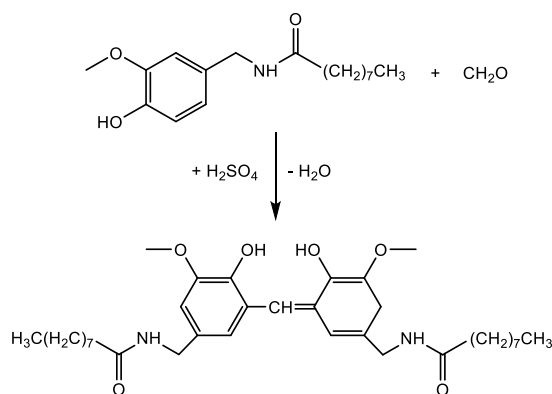


Obrázek 53 Funkčnost detektorů a odezva na 100 µg PAVA po tepelném namáhání při teplotě 50 °C po dobu 28 dnů (zdroj: autor).

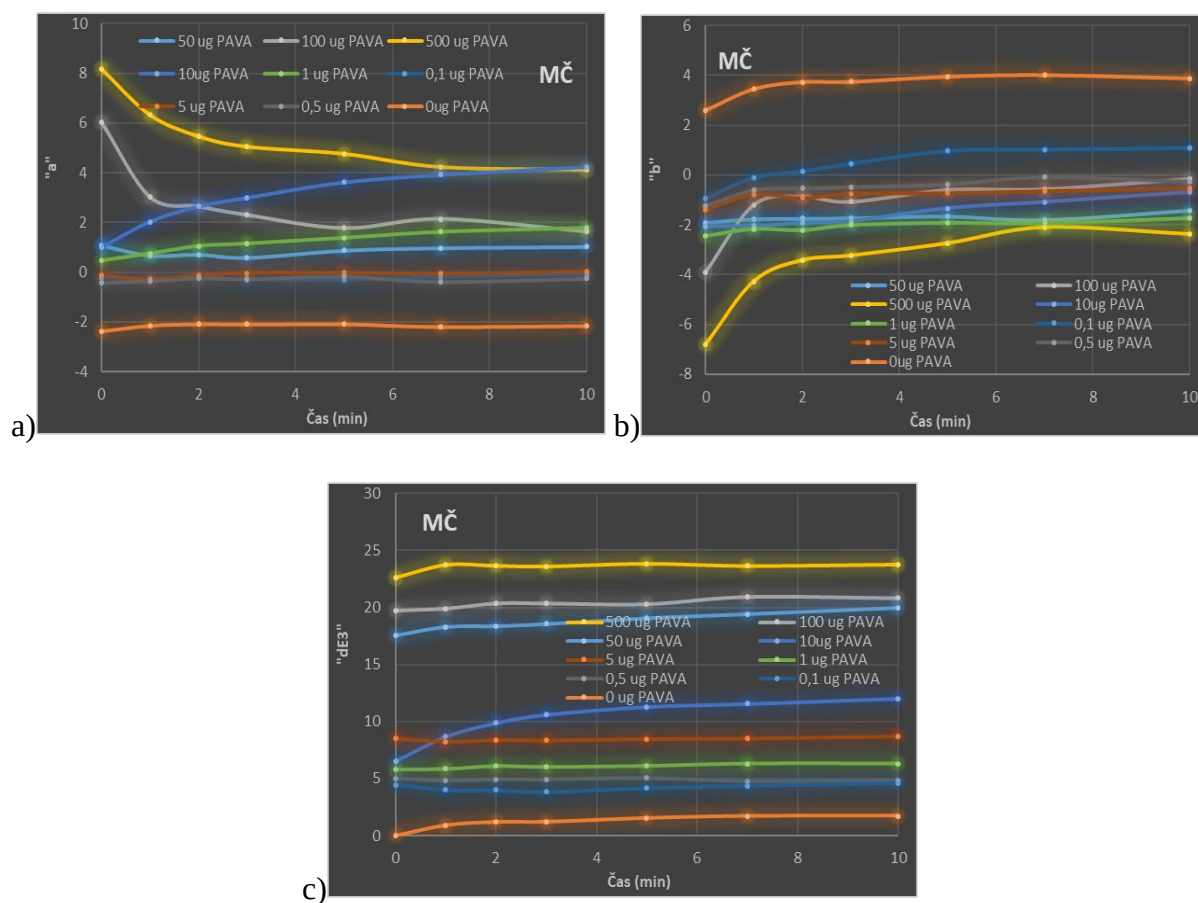
5.4.3 Detekce s použitím Marquisova činidla

5.4.3.1 Princip reakce, reakční podmínky, citlivost a detekční limit

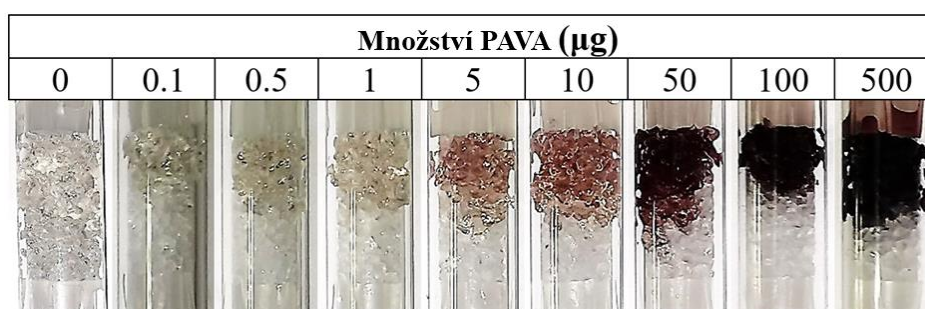
Princip spočívá v reakci látky PAVA s formaldehydem v prostředí koncentrované kyseliny sírové za vzniku fialového difenylmethanového barviva (obr. 54). Varianta detekční trubičky s Marquisovým činidlem je vůbec nejjednodušší ze všech navržených systému v disertační práci. Detektor obsahuje pouze vrstvu silikagelu a ampulku s Marquisovým činidlem. K práci bylo použito komerčně dostupné a dále nijak neupravované činidlo. Barevná odezva indikační vrstvy na různou koncentraci PAVA byla ověřena pomocí tristimulus kolorimetrie (obr. 55) i pouhým okem (obr. 56). Ze získaných výsledků vyplývá, že Marquisovo činidlo je na přítomnost PAVA (a zřejmě kapsaicinoidů obecně) velmi citlivé. Vizuálně (pouhým okem) je možné detekovat koncentraci 0,1 µg, což odpovídá koncentraci 0,1 mg/m³ v ovzduší při odběru 1 litru vzduchu. Kolorimetrickým měřením bylo dosaženo ještě vyšší citlivosti (bezpečně rozpoznatelná odezva měřicího systému byla u množství PAVA pod 0,1 µg). Zabarvení indikační vrstvy se objevuje prakticky ihned a je stabilní po dobu nejméně 15 minut.



Obrázek 54 Schéma reakce Marquisova činidla s PAVA (zdroj: autor).



Obrázek 55 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s Marquisovým činidlem na množství PAVA; a – parametr a , b – parametr b , c – parametr ΔE (zdroj: autor).



Obrázek 56 Intenzita zabarvení indikační vrstvy s Marquisovým činidlem v závislosti na množství PAVA (zdroj: autor).

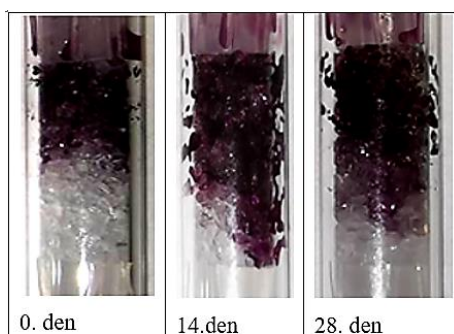
5.4.3.2 Rušivé vlivy a tepelná stabilita

Přestože Marquisovo činidlo obecně reaguje s běžnými aromatickými sloučeninami za vzniku barevných kondenzačních produktů, vůči látce PAVA vykazuje poměrně vysokou selektivitu. Ze souboru vybraných látek, uváděných v disertační práci jako srovnávací standardy, žádná z nich neposkytovala stejné nebo podobné zabarvení jako PAVA (obr. 57). Pozoruhodné

a velmi uspokojivé výsledky byly dosaženy i při testování odolnosti Marquisova činidla vůči zvýšeným teplotám, kdy si po dobu 28 dnů skladování při 50 °C zachovalo prakticky původní funkčnost (obr. 58).

	kontrolní vzorek	Látka (100 µg)					
		PCP	BZ	CR	CS	PAVA	Thiol
Marquisovo činidlo							

Obrázek 57 Výsledek zatížení Marquisova činidla PAVA rušivými vlivy (zdroj: autor).



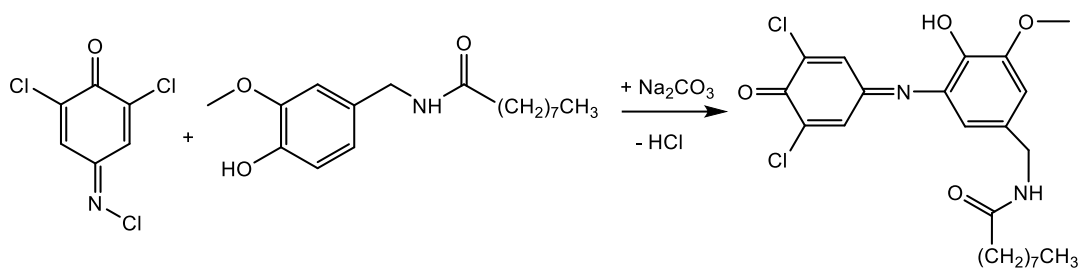
Obrázek 58 Odezva indikační vrstvy na 100 µg PAVA po tepelném namáhání při teplotě 50 °C po dobu 28 dnů (zdroj: autor).

5.4.4 Detekce s použitím Gibbsova činidla

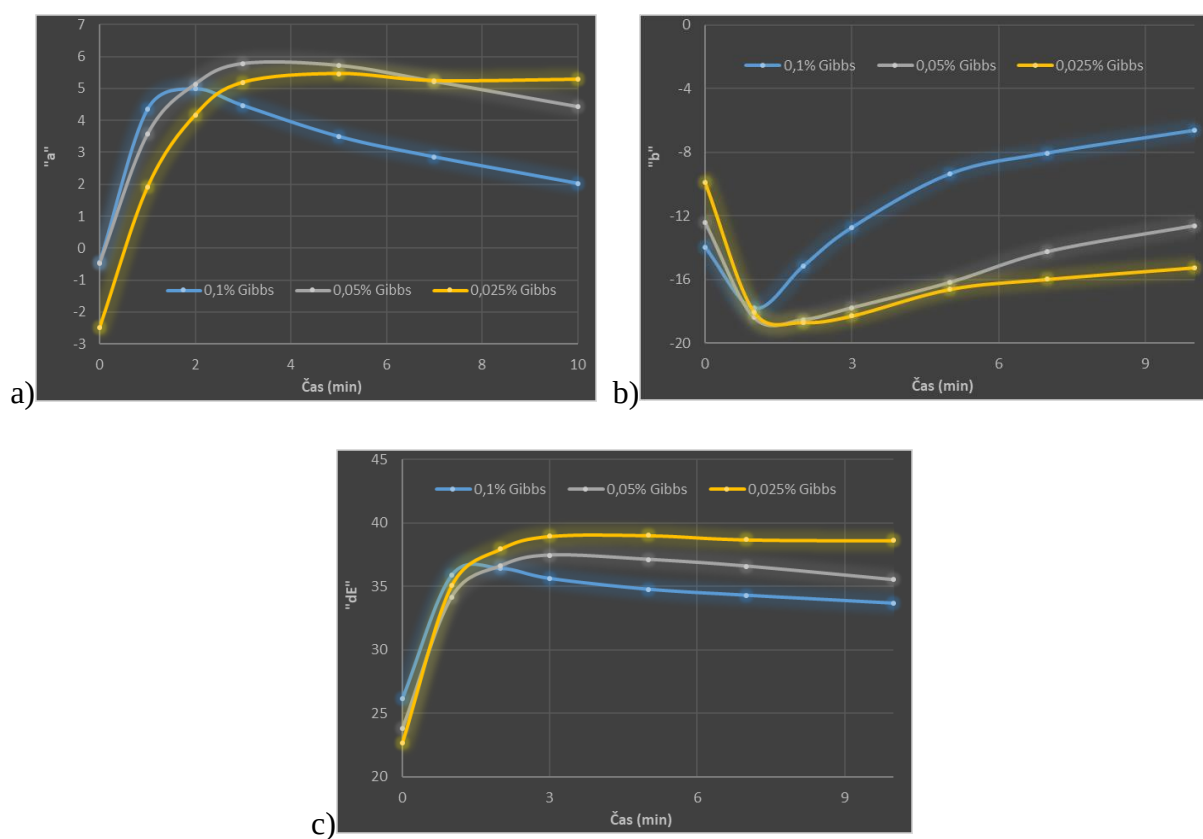
5.4.4.1 Princip reakce, reakční podmínky, citlivost a detekční limit

Princip metody je založený na reakci látky PAVA (obecně kapsaicinoidů) s Gibbsovým činidlem v zásaditém prostředí za vzniku modře zbarveného produktu (obr. 59). Na základě optimalizace reakčních podmínek byl navržen detektor, který obsahuje vrstvu silikagelu impregnovaného 0,025 až 0,05% roztokem Gibbsova činidla (tj. 0,25-0,5 mg/g nosiče) a ampulku s 1% roztokem uhličitanu sodného. Vyšší koncentrace roztoku uhličitanu sodného jsou nevhodné, protože rozkládají Gibbsovo činidlo za vzniku produktů, které indikační vrstvu zbarvují do šedé, a tím negativně ovlivňují správnost a přesnost detekce. Výsledky optimalizace koncentrace Gibbsova činidla v detekčním systému zahrnují obr. 60, 61 a 62. Barevná změna indikační vrstvy z bílé na modrou v přítomnosti látky PAVA je razantní a vizuálně velmi dobře pozorovatelná (obr. 63). Pouhým okem lze postřehnout minimálně 0,5 µg látky PAVA, což činí v přepočtu na 1 litr vzduchu 5 mg/m³. Objektivním měřením tristimulus kolorimetrem lze

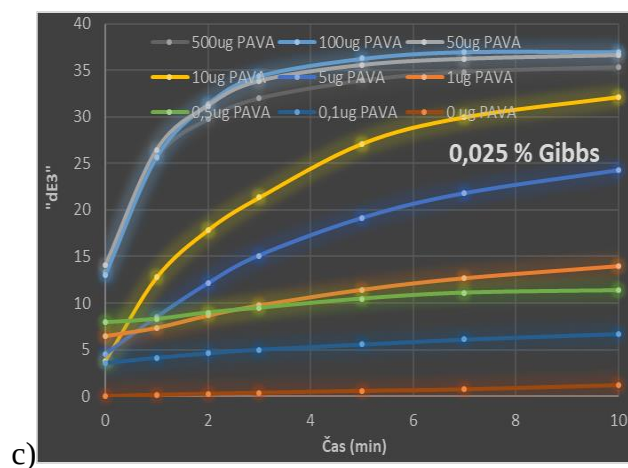
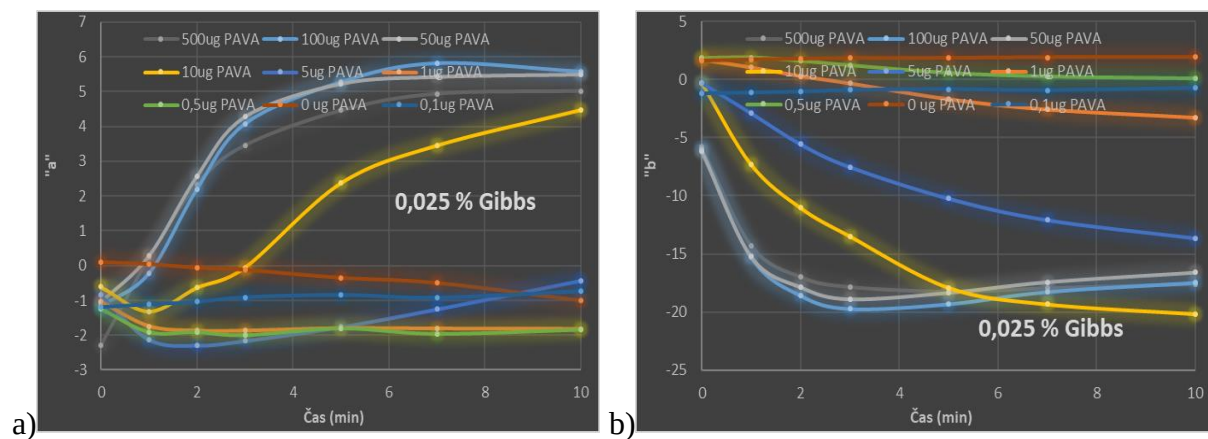
získat ještě citlivější výsledky. Nástup barevné reakce je pomalejší, ale už po 3 minutách dochází k plnému rozvoji zabarvení.



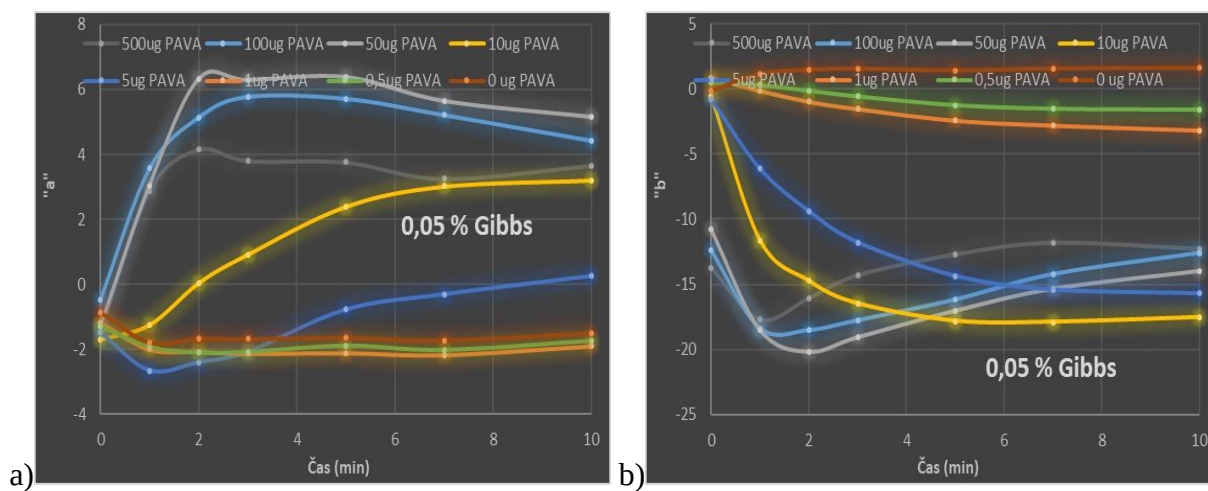
Obrázek 59 Schéma reakce PAVA s Gibbsoým činidlem (zdroj: autor).

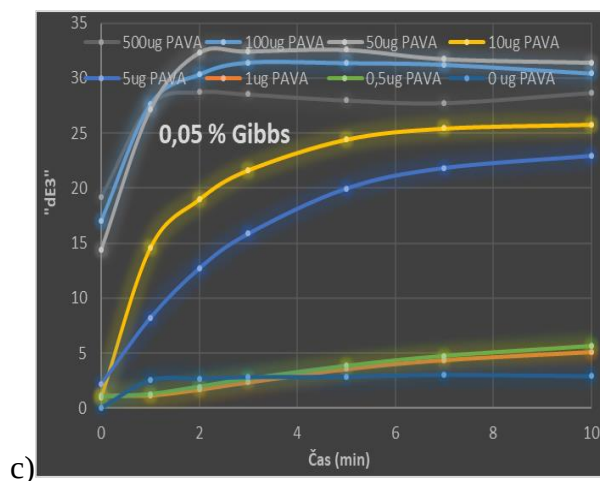


Obrázek 60 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy na koncentraci impregnačního roztoku s Gibbsoým činidlem (použit 0,1%, 0,025% a 0,05% roztok Gibbsova činidla), 1% roztok uhličitanu sodného a PAVA 100 μg ; a – parametr a, b – parametr b, c – parametr ΔE (zdroj: autor).



Obrázek 61 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s Gibbsovým činidlem (0,025% impregnační roztok) a 1% uhličitánem sodným na množství PAVA; a – parametr a, b – parametr b, c – parametr ΔE (zdroj: autor).





Obrázek 62 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s Gibbsoým činidlem (0,05% impregnační roztok) a 1% uhličitánem sodným na množství PAVA; a – parametr a , b – parametr b , c – parametr ΔE (zdroj: autor).



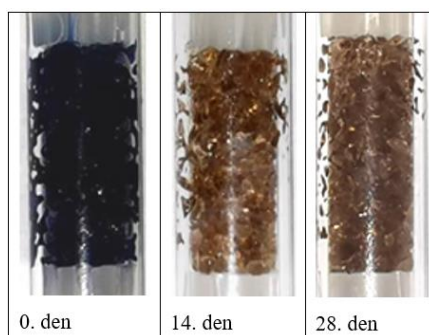
Obrázek 63 Intenzita zabarvení indikační vrstvy (0,05% Gibbsovo činidlo, 1% uhličitán sodný) v závislosti na množství PAVA (zdroj: autor).

5.4.4.2 Rušivé vlivy a tepelná stabilita

Gibbsovo činidlo v kombinaci s 1% roztokem uhličitánu sodného se vyznačuje vysokou selektivitou vůči souboru vybraných rušivých látek (obr. 64). Jednotlivé vybrané látky neposkytovaly žádné nebo odlišné zabarvení. Pozoruhodná je zejména reakce Gibbsova činidla s látkou CS, která by mohla být námětem na další samostatný výzkum. Problematickou se jeví nízká tepelná stabilita Gibbsova činidla při 50 °C, když ke zřetelnému poklesu intenzity zabarvení a změně jeho odstínu docházelo už po 2 týdnech skladování (obr. 65).

	kontrolní vzorek	Látka (100 µg)					
		PCP	BZ	CR	CS	PAVA	Thiol
Gibbsovo činidlo							

Obrázek 64 Odezva indikační vrstvy s Gibbsovým činidlem na vybrané rušivé látky (0,05% impregnační roztok Gibbsova činidla), 1% roztok uhličitanu sodného (zdroj: autor).



Obrázek 65 Odezva indikační vrstvy na 100 µg PAVA po tepelném namáhání při teplotě 50 °C po dobu 28 dnů (zdroj: autor).

5.4.4.3 Použití Gibbsova činidla pro detekci kapsaicinoidů v pálivých paprikách

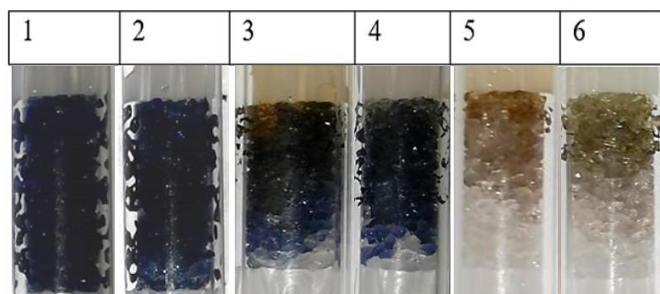
Metoda s Gibbsovým činidlem se ukázala jako vhodná a prakticky použitelná (např. v potravinářství) pro detekci extrahovaných kapsaicinoidů v paprikách *Capsicum anuum*, jejichž dráždivost je měřitelná podle jednotek SHU (Scovilleova stupnice). Při detekci bylo postupováno standardním způsobem (jako u PAVA). Jednotlivé vzorky paprik a extraktů jsou uvedeny na obr. 66 (zařazeny podle hodnoty SHU), orientační hodnoty SHU uvádí tab. 8. Experimenty prokázaly poměrně dobrou analytickou robustnost analytického systému a schopnost rozlišení jednotlivých vzorků, přestože tyto byly silně kontaminované různými barvivy obsaženými ve vzorcích paprik (viz obr. 66). Na obr. 67 lze vidět barevnou odezvu indikační vrstvy na vybrané vzorky paprik ve srovnání se standardem PAVA.



Obrázek 66 Vzorky použitých paprik a extraktů: 1-3 sladké papriky, 4 – feferonka, 5 – Habanero chocolate, 6 – Jalapeños, 7 – Atzeco, 8 – Carolina reaper (pozn. pěstitel L. Matějovský), 9 - Carolina reaper chocolate, 10 – Trinidad scorpion moruga, 11 – Dragon's breath (zdroj: autor).

Tabulka 8 Orientační hodnoty SHU použitých paprik (zdroj: zpracováno autorem dle literatury v seznamu č. 108, 109, 110, 172).

Název papriky	Dráždivost vyjádřená v SHU
Sladká paprika, kapie	0
Jalapeños	2500–8000
Feferonka	30000–50000
Atzeco	450 000
Trinidad scorpion moruga	1 200 000 – 2 500 000
Carolina Reaper	1 500 000 – 2 200 000
Carolina reaper chocolate	1 600 000 – 2 200 000
Dragon's breath	2 480 000

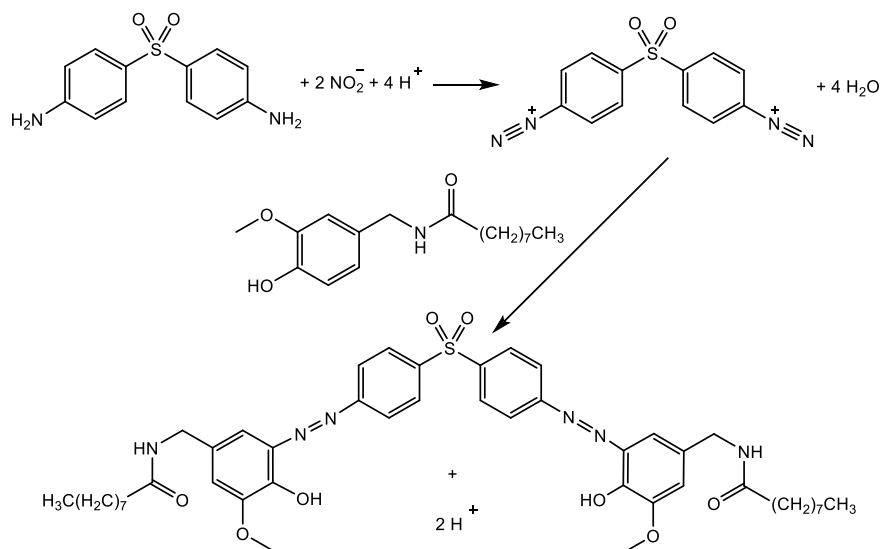


Obrázek 67 Barevná odezva indikační vrstvy s Gibbovým činidlem (plus přidavek uhličitanu sodného) na přítomnost PAVA a vybraných vzorků paprik: 1 – PAVA 500 µg; 2 PAVA 50 µg; 3 – Carolina reaper SHU cca 2,2 mil.; 4 – Dragonbreath SHU cca 2,5 mil.; 5 – Capsicum annum červená sladká; 6 – Capsicum annum zelená sladká (zdroj: autor).

5.4.5 Detekce s použitím diazotačně-kopulační reakce

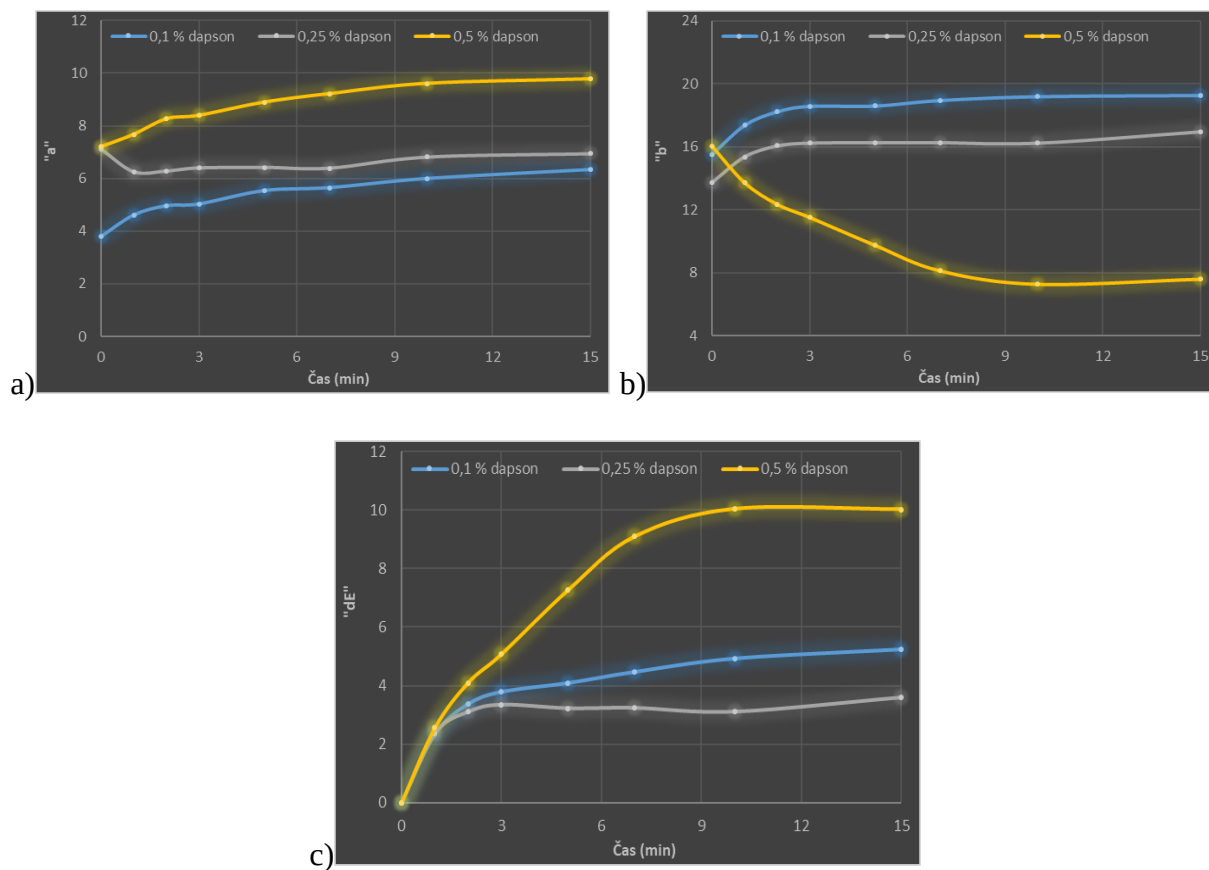
5.4.5.1 Princip reakce, reakční podmínky, citlivost a detekční limit

Princip je založen na diazotačně-kopulační reakci. Reakce probíhá ve dvou stupních, jak je znázorněno na obr. 68. Nejprve reaguje dusitan sodný s dapsonem v prostředí kyseliny chlorovodíkové za vzniku diazoniové soli, která má žluté zabarvení. Ve druhém stupni v zásaditém prostředí uhličitanu sodného reaguje diazoniová sůl s látkou PAVA (kapsaicinoidy) za vzniku oranžovo-červeného azobarviva. Z důvodu komplikovaného reakčního mechanismu musela být speciálně navržena i konstrukce detekční trubičky (viz obr. 3b, kap. 4.2.3.3).

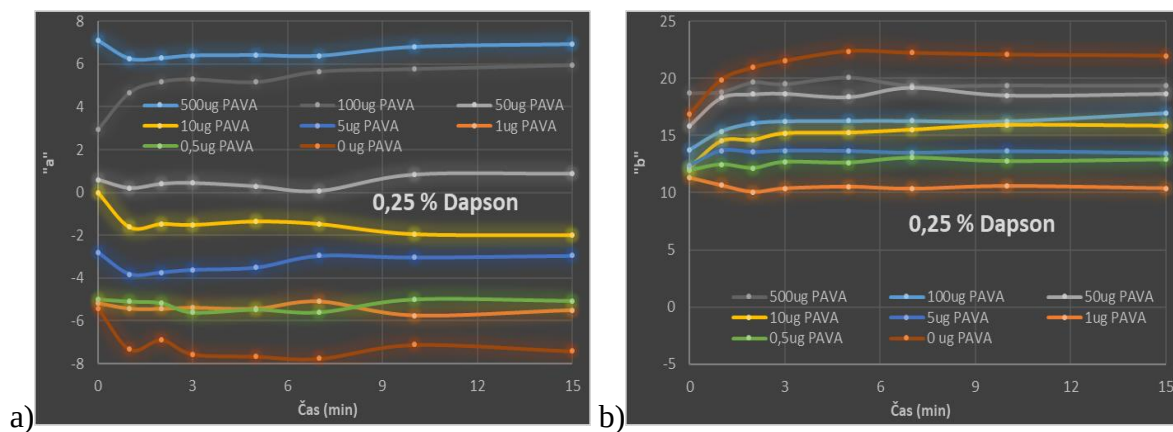


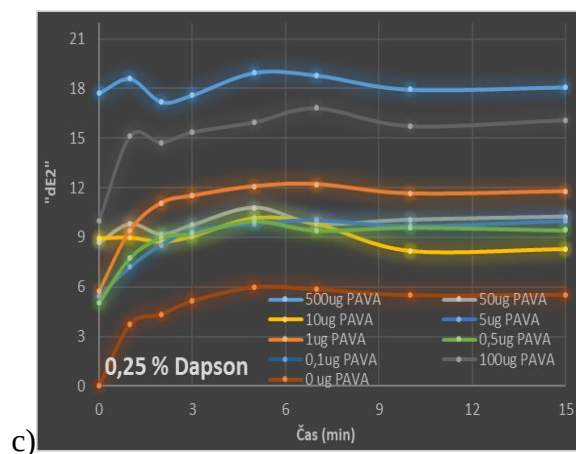
Obrázek 68 Schéma diazotačně-kopulační reakce (zdroj: autor).

Během prací byly optimalizovány jednotlivé složky na nosičích (dapson na drceném sklu a dusitan sodný na silikagelu) a v ampulkách. Optimální se ukázala impregnace 0,25 až 0,5% roztokem dapsonu v ethanolu a 1% roztokem dusitanu sodného ve vodě, resp. 0,05M kyselina chlorovodíková a 5% roztok uhličitanu sodného ve vodě. Některé výsledky optimalizace s použitím kolorimetrického měření uvádějí obr. 69, 70, a 71, barevné změny indikační vrstvy na přítomnost látky PAVA pozorovatelné pouhým okem jsou na obr. 72. Pouhým okem lze spolehlivě postřehnout 10 μg PAVA, což odpovídá koncentraci této látky v ovzduší cca 10 mg/m^3 (při odběru 1 litru vzorku vzduchu). Vyšší citlivosti lze dosáhnout při použití tristimulus kolorimetrie, kde je možné detekovat již 0,5 μg (tj. 0,5 mg/m^3).

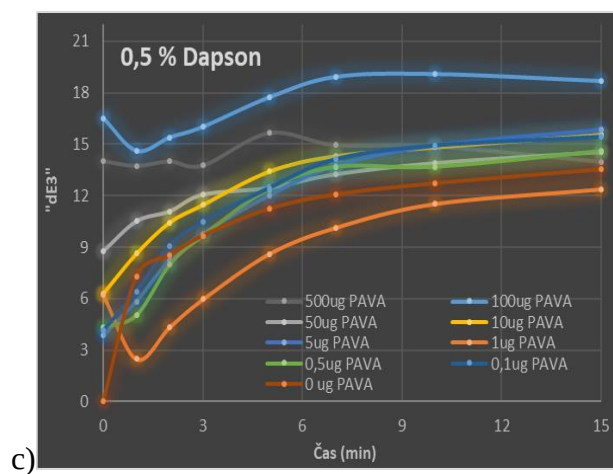
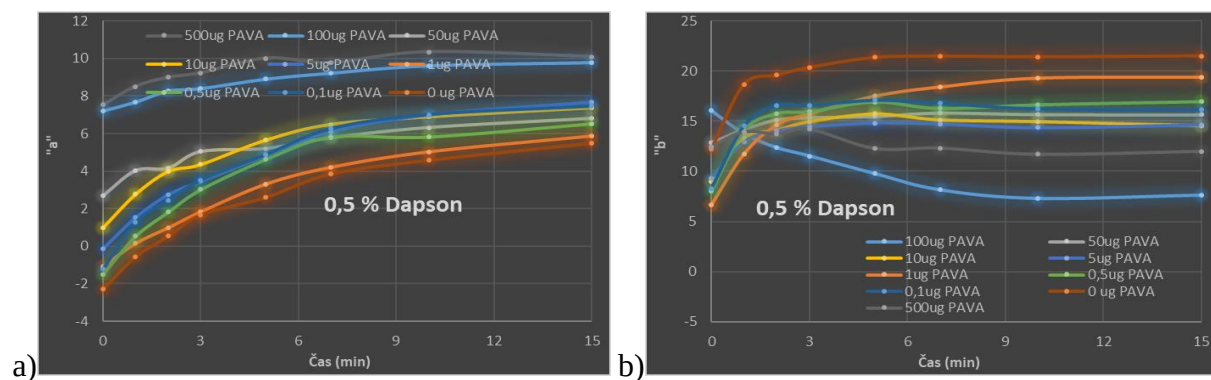


Obrázek 69 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy na koncentraci impregnačního roztoku dapsonu (1% dusitan sodný, 0,05M kyselina chlorovodíková, 5% uhličitan sodný, množství PAVA 100 μg); a – parametr a , b – parametr b , c – parametr ΔE (zdroj: autor).





Obrázek 70 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s 0,25% roztokem dapsonu na množství látky PAVA (1% dusitan sodný, 0,05M kyselina chlorovodíková, 5% uhličitan sodný): a – parametr a, b – parametr b, c – parametr ΔE (zdroj: autor).



Obrázek 71 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s 0,5% roztokem dapsonu na množství látky PAVA (1% dusitan sodný, 0,05M kyselina chlorovodíková, 5% uhličitan sodný): a – parametr a, b – parametr b, c – parametr ΔE (zdroj: autor).

Množství PAVA v μg							
500	100	50	10	5	1	0,5	kontrolní vzorek
							

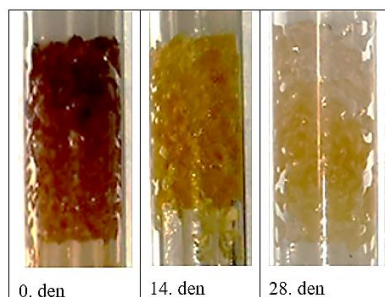
Obrázek 72 Závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy (0,5% dapson, 1% dusitan sodný, 0,05M kyselina chlorovodíková, 5% uhličitan sodný) na množství PAVA (zdroj: autor).

5.4.5.2 Rušivé vlivy a tepelná stabilita

Diazotačně-kopulační metoda měla ze všech navržených metod nejnižší odolnost vůči standardně ověřovaným rušivým vlivům (obr. 73). Jak je zřejmé z obr. 74, analytický systém ve srovnání s ostatními je značně citlivý na dlouhodobou tepelnou zátěž; k významnému snížení funkce detektoru došlo už po 2 týdnech.

	kontrolní vzorek	Látka (100 μg)					
		PCP	BZ	CR	CS	PAVA	Thiol
	Dapson						

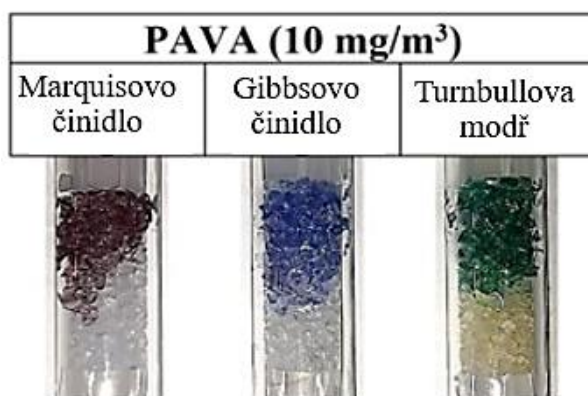
Obrázek 73 Barevná odezva indikační vrstvy na přítomnost vybraných rušivých látek (zdroj: autor).



Obrázek 74 Odezva indikační vrstvy na 100 μg PAVA po tepelném namáhání při teplotě 50 °C po dobu 28 dnů (zdroj: autor).

5.4.6 Ověření účinnosti detektorů na reálném vzorku PAVA ze vzduchu

Funkčnost detektorů byla ověřena na reálném vzorku PAVA ve vzduchu. V testovací komoře o objemu 2 m³ (v pracovišti Státního ústavu pro jadernou, chemickou a biologickou ochranu, Kamenná, Česká republika) bylo při stálé ventilaci při 150 °C odpařeno celkem 5 ml ethanolu s koncentrací PAVA 4 mg/ml; odhadovaná koncentrace PAVA ve vzduchu byla >5 mg/m³ a <10 mg/m³ (tj. předpokládaná účinná koncentrace jakožto RCA). Z komory byl ručně odebrán 1-litrový vzorek přímo na detekční trubici pomocí sacího zařízení a po rozbití ampulí a protřepání obsahu na indikační vrstvu byla pozorována její barevná změna. Výsledky jsou zdokumentovány na obr. 75. Porovnání intenzity zabarvení se vzorky PAVA v roztoku (obrázky výše) ukazuje, že zabarvení je brilantnější mimo jiné proto, že zde není vliv zbytkového rozpouštědla. Zároveň je délka zbarvených zón kratší, protože propustnost aerosolů a par přes vrstvu silikagelu je nižší než propustnost kapalného roztoku; nerovnoměrné ohraničení zbarvené zóny s Marquisovým činidlem je pak způsobeno nerovnoměrným rozložením činidla po rozbití ampule.



Obrázek 75 Zabarvení indikační vrstvy detektorů po expozici PAVA ve vzduchu (zdroj: autor).

5.4.7 Dílčí závěry

Pro kolorimetrickou detekci dráždivé látky PAVA se osvědčily detekční trubičky navržené na principu reakce s chloridem železitým a červenou krevní solí, ale také s Marquisovým činidlem a Gibbsovým činidlem. S využitím těchto reakčních principů bylo docíleno velmi nízkých detekčních limitů (pouhým okem 0,1 µg PAVA). Vysoká selektivita vůči jiným neletalným chemickým látkám byla zjištěna u Marquisova činidla a Gibbsova činidla. Vysokou teplotní stabilitu poskytovaly detekční trubičky s chloridem železitým a krevní červenou solí, s Folin-Ciocalteuovým činidlem a Marquisovým činidlem. U Gibbsova činidla byla zjištěna

problematická stabilita po jeho impregnaci na silikagelu. Stručný přehled vybraných parametrů uvádí tab 9.

Tabulka 9 Porovnání vybraných parametrů detekčních trubiček (zdroj: autor).

Činidla / systém	Detekční limit (pouhým okem), µg	Selektivita	Stabilita
Chlorid železitý, červená krevní sůl	<0,1	Nízká	Vysoká
Folin-Ciocalteu činidlo	5	Nízká	Vysoká
Marquisovo činidlo	0,1	Vysoká	Vysoká
Diazotace-kopulace	10	Nízká	Střední
Gibbsovo činidlo	0,5	Vysoká	Nízká

6 DISKUSE

6.1 DISKUSE OBECNĚ

Disertační práce se zabývá problematikou ochrany podzemních kolejových drah před chemickými toxickými látkami. Zároveň se zabývá dílčími otázkami jinak velmi širokého tématu, zejména vývojem jednoduchých kolorimetrických prostředků detekce dráždivých látek a analýzou vybraných organizačních prostředků protektivního charakteru. Ceccato (2015) považuje bezpečné a spolehlivé sítě veřejné dopravy za základní prvek udržitelných měst, jejichž růst je globálním trendem v současné převládající urbanizaci. Jedním z důvodů, který odrazuje stále relativně vysoké procento obyvatelstva používat městskou hromadnou dopravu, se dotýká pocitu nebezpečí a vnímání podzemních drah jako potenciálního kriminogenního faktoru [173]. Z rozsáhlé literární rešerše vyplývá, že podobným tématem jako disertační práce se zabývá množství odborných studií. Některé jsou velmi široké, snaží se obsáhnout co nejvíce bezpečnostních aspektů a hrozeb, jiné se pak orientují na úzkou část problému. Značná pozornost odborných publikací je věnována chemickým teroristickým útokům spáchaným především za použití nervově paralytických látek, ale i dusivých, všeobecně jedovatých a dalších. Avšak, relativně malé množství publikací se zabývá možností zneužití dráždivé látky pro chemický terorismus, případně pro jinou formu kriminálního jednání, které nemusí být nutně s terorismem spojeno. Odkazů na nervově paralytické látky dle klíčových slov (subway; nerve agents; terrorism) na Google Scholar bylo nalezeno 22 000. Na neletální látky (subway; non-lethal agents; terrorism) bylo nalezeno 5 060 odkazů.

Ochrana metra před chemickými toxickými látkami je jedním ze základních aspektů veřejné bezpečnosti a ochrany životů a majetku cestujících. Chemické útoky v metru měly v minulosti katastrofální následky a vyžadují komplexní přístup k prevenci, detekci a reakci na tuto hrozbu. Diskutovaná literatura se zabývá několika klíčovými oblastmi ochrany metra před chemickými toxickými látkami, které definujeme v úrovních prevence, jež je základním krokem k ochraně metra před chemickými útoky. Zahrnuje bezpečnostní opatření, jako jsou bezpečnostní kontroly, monitorování cestujících a zavazadel, a školení zaměstnanců v rozpoznávání podezřelých aktivit. Důležitou součástí prevence je také spolupráce s bezpečnostními složkami a zpravodajskými službami při sledování a monitorování potenciálních hrozeb. S prevencí souvisí detekce, protože rychlá detekce chemických toxických látek je vitální pro minimalizaci škod při chemických útocích. Systémy detekce chemických látek, jako jsou senzory a detektory umístěné v metru a na stanicích, umožňují rychlé zjištění nebezpečné látky a aktivaci

nouzových opatření. V případě úspěšné pozitivní detekce je zásadní následná bezchybná reakce. V případě chemického útoku je rychlá a koordinovaná reakce nezbytná k minimalizaci škod. Úkoly zahrnují okamžitou evakuaci postižených oblastí, poskytování lékařské pomoci zraněným a izolaci kontaminovaných oblastí. Kvalitní trénink zaměstnanců a pravidelné cvičení evakuace a nouzových procedur jsou podstatné pro úspěšnou reakci na chemické útoky. V celém komplexu dále považujeme za opodstatněné kvalitní vzdělávání a osvětu. Osvěta veřejnosti o bezpečnostních opatřeních, varovných znacích a postupech složek IZS v případě mimořádné události může zvýšit úspěšnost odezvy a zefektivnit záchranné a likvidační práce. Významná část disertační práce se přímo zabývá technickým rozvojem v oblasti prostředků detekce BCHL. Neustálý technický rozvoj detekce chemických látek a zdokonalování bezpečnostních opatření přináší nové možnosti ochrany metra před chemickými útoky. Investice do výzkumu a vývoje nových technologií umožňuje vytvoření pokročilých a efektivních systémů ochrany. Závěrem lze shrnout, že ochrana metra před chemickými útoky vyžaduje komplexní přístup, který zahrnuje prevenci, detekci, reakci, vzdělávání a technický rozvoj. Spolupráce mezi veřejnými orgány, dopravními společnostmi, bezpečnostními složkami a veřejností je klíčem k úspěšné ochraně metra před touto vážnou hrozbou.

6.2 DISKUSE K TERORISTICKÝM ÚTOKŮM

Pitschmann (2007) uvádí, že záměrem chemického teroristického útoku není způsobit masové ztráty na životech, ale zasít strach a hrůzu mezi obyvatelstvo. Následně způsobená úmrtí jsou z hlediska teroristů žádoucí a akcentují dopad spáchaného činu [41]. Autoři Santos et al. (2019) konstatují, že nezákonné použití dráždivých látek a případně pepřových sprejů v metru mělo za následek vyšší počet zraněných, než očekávali při stanovení prvních hypotéz ve své studii. Důvodem byl předpoklad, že dráždivé látky jsou považovány za nesmrtící [174]. Běžně užívaný termín „neletální látky“ (non-lethal) je však nepřesný, nereflektuje současný vývoj především ultrapotentních opioidů a měl by být významově revidován. Polemika vyplývá z definice jedu, kdy záleží pouze na jeho dávce či koncentraci a na kondici zdravotního stavu exponovaných osob, jejich věku a dalších individuálních parametrech. Druhým důvodem je skutečnost, že do skupiny jsou řazeny látky zneschopňující a kalmativa. Z těchto skupin se především syntetické opioidy fentanylového typu vyznačují vysokou toxicitou a nízkým terapeutickým indexem, přičemž v USA jsou již v případě nelékařského užití hodnoceny jako BCHL [174]. Ani označení "méně smrtící" není pro tyto látky zcela vhodné, protože mohou stále způsobit zranění nebo úmrtí, zejména při neodborném nebo nezákonném použití. Nicméně v souladu s již publikovanou literaturou (např. v seznamu literatury č. 176, 177, 178) by mělo dojít k odborné debatě a revizi předmětného názvu na přiléhavější, třeba na „méně než smrtící“ (less-than lethal) nebo alespoň již zmiňované „méně smrtící“ (less-lethal). Tím by měla být i laická veřejnost upozorněna, že tento druh látek sice primárně smrt nezpůsobí, ani pro uvedené důvody nebyly vyvinuty, avšak explicitně neletální nejsou.

Rozptyl chemických toxických látek se řídí fyzikálně-chemickými zákonitostmi, proto za důležitý faktor účinnosti chemických zbraní považujeme formu rozšíření. Předpoklad této znalosti je stěžejní pro další zajištění bezpečnosti metra a jeho cestujících v oblasti organizační i technické. Očekávaným úmyslem teroristických uskupení v případě napadení metra bude způsobit chaos, paralýzu městské hromadné dopravy, zasáhnout nejcitlivější místo v přepravním systému, ochromit brutalitou použitých prostředků a další negativně vnímané dopady. Disertační práce se zabývala BCHL ve formě aerosolů. Protože jsou aerosoly těžší než plyny nebo páry, vlivem gravitace a fyzikálně-chemických jevů se postupně usazují na povrchu. Prouděním vzduchu, které je v prostorech metra značné a nestálé (pohyb jízdních souprav, proudění vzduchu mezi stanicemi a povrchem), se budou aerosoly pohybovat různými směry:

- 1) Nejpravděpodobnější rozptyl aerosolů nastane prostřednictvím konvenční nálože, která způsobí rozmetání látky do okolí. Kromě toho, detonace způsobí i další nepříznivé následky v podobě zranění, vzniku davové paniky a zmatku. Výbuch (nebo výbušina) může být také mylně považován za primární zdroj ohrožení. Uvedení nálože do činnosti může nastat i prostřednictvím časového zpoždovače nebo dálkových elektronických systémů. Rozptyl, při němž se používá pyrotechnika, vytvoří jemná, snadno vdechovatelná oblaka látek. Většina složitějších molekul látek je však citlivá na vysoké teploty a při příliš dlouhé expozici může dojít k jejich rozkladu.
- 2) Použití některé formy binární (vícesložkové) munice, založené na dvou (a více) komponentech, které vzájemnou reakcí vytvoří cílenou BCHL. Tento zvažovaný typ by představoval určitou bezpečnostní výhodu pro útočníky, avšak museli by smíchat složky v okamžiku použití [41].
- 3) Ruční rozptýlení BCHL útočníkem, při kterém je předpoklad, že (sebevražedný) útočník sám zahyne nebo bude zneškodněn bezpečnostními složkami. Další variantou ručního rozptýlení by bylo uložení/shození nosiče (nádoby, kontejneru) s BCHL do větracích šachet, kudy by dopadla přímo do kolejiště. Jedoucí vlaková souprava by pak vlastním pohybem látku rozptýlila [169, 171].
- 4) Zvažujeme také nezákonné použití přístroje na bázi nebulizéru. V medicíně je užíván pro inhalační podání aerosolů fentanylu v případech, kdy z určitého důvodu není pro pacienta možná nebo vhodná jiná forma aplikace. Rozptýlení (nejen) aerosolu fentanylu nebulizérem by představovalo závažné riziko, neboť inhalační otravy těmito opioidy se vyznačují rychlým nástupem účinků [179, 180].

Pitschmann (2007) uvádí, že na výši rizika otrav v metru se významně podílí druh BCHL, jejich fyzikálně-chemické vlastnosti a způsob permeability do organismu. Za nejvíce rizikové, a tedy schopné způsobit hromadné otravy, uvádí BCHL s vysokým inhalačním účinkem (tj. včetně zkoumaných dráždivých látek). Naopak za nejméně rizikové považuje BCHL s percutánní toxicitou, protože pro dosažení letálního účinku by bylo potřeba vyvinout značné koncentrace. Současně je třeba u látek s inhalačním účinkem posuzovat také jejich bod varu, přičemž méně vhodné jsou látky s bodem varu vyšším než 200 °C. Současně upozorňuje na látky s nižší toxicitou (chlorpikrin), ale s kombinovaným účinkem dusivým a dráždivým, jejichž účinek může být v uzavřených prostorech metra výjimečný [41].

Kromě zvažovaných dráždivých BCHL jako látek vhodných k chemickému teroristickému útoku se aktuálně, převážně v USA, vede vážná debata o možnostech zneužití fentanylu [181].

V USA je již masivně zneužíván jako návyková látka a progresivně nahrazuje morfinanové alkaloidy nebo jeho polosyntetické varianty [182]. Zároveň se v nelegální produkci fentanylu významně etablovala mexická zločinecká uskupení [183]. Přímé použití fentanylu k chemickému teroristickému útoku není možné vyloučit [125, 184]. Zásadní důvody, proč zvažujeme použití fentanylu a jeho derivátů pro chemický teroristický útok, jsou následující: (i) Mikrodávky carfentanilu mají potenciál způsobit úmrtí nebo závažné stavy, které bez poskytnutí rychlé pomoci ke smrti vedou. (ii) Toxicita je srovnatelná s moderními nervově paralytickými BCHL. (iii) Omezující opatření pro nakládání s fentanylem a jeho analogy je regulováno „pouze“ na úrovni státních případně mezinárodních seznamů v oblasti návykových látek (u nás Nařízení vlády č. 463/2013 Sb., OSN Schedule I., IV.). (iv) Účinky a projevy otravy fentanylem jsou zaměnitelné a nesnadno identifikovatelné. K imobilizaci osob může dojít za několik minut bez pocitu bolesti a viditelných patologických projevů (například vznik puchýřů a destrukce tkáně jako u zpuchýřujících látek). (v) Dosud málo studií se komplexně zabývalo reálnými dopady zneužití fentanylů jako chemické zbraně včetně metod rozptylu a vlivů na šíření v podzemních krytých prostorech, existenci terénních detekčních prostředků, evakuací a dalšími aspekty. (vi) Dostupnost fentanylů je mnohonásobně snazší než je tomu u známých BCHL. Tím, že mají některá analoga fentanylů i legální využití, jsou bez rozporu s Úmluvou o zákazu chemických zbraní vyráběny řadou farmaceutických společností (jejich cílená výroba pro vojenské účely je ovšem nelegální). (vii) Dalším zvažovaným zdrojem jsou darknet markets, které činí předmětné látky relativně snadno dostupné, se současným zajištěním vysokého stupně anonymity kupujícího [185, 186].

6.3 DISKUSE K MOŽNOSTEM OCHRANY

Zabezpečení podzemních drah (nejen) před chemickým útokem je nutné vnímat prizmatem vynaložení značného množství organizačních a technických prostředků. Každodenní bezvadná funkce celého komplexu podzemních drah je složitou synergií řady oborů a funkcí. Primárním posláním podzemních drah je rychlý transport obyvatel po městě bez ohledu na zatíženost povrchové dopravy. To je činí nejvytíženějším druhem hromadné dopravy s nejvyšším denním množstvím přepravených pasažérů. Například v roce 2021 byl tento průměrný denní počet cestujících za 24 hodin: Madrid – 1,45 mil., Praha - 1,6 mil., Istanbul – 1,9 mil., New York 2,4 mil., Tokyo 12,3 mil. [187, 188, 189, 190, 191]. Pro svou složitost a závislost na vnějších faktorech jsou podzemní dráhy zranitelné jakýmkoli množstvím naturogenních i antropogenních událostí, včetně náhodných nebo úmyslných událostí. Kromě těchto zranitelností je metro zdrojem řady zdravotních a bezpečnostních rizik, které mohou ovlivnit jak pasažéry, tak i pracovníky v dopravě; mezi ně patří rizika fyzikální (např. hluk, vibrace, elektrické zdroje, extrémní teploty, elektromagnetické záření), chemická (např. expozice toxickým a dráždivým chemickým látkám, plynům, výparům, mikročásticím kovů a polokovů), biologická (např. přenos infekcí a nákaz, ať už šířením z člověka na člověka, nebo například přenášením vektory) a psychosociální (např. násilnosti, sebevraždy, drobná kriminalita, vandalismus, psychosociální pracovní stres atd.). Proto je zabezpečení metra nutné vnímat celostně z hlediska širokého komplexu činností, ale také z hlediska vzniku dalších mimořádných událostí, které s nimi mohou být přímo spojeny. Schopnost udržet každodenní bezpečnost v podzemních drahách při značném množství cestujících závisí nejen na mimořádně složité infrastruktuře metra, ale do značné míry i na dalších důležitých podpůrných systémech, jako jsou spolehlivé dodávky energie zajišťující přenos komunikace, osvětlení a odvětrávání. Vzhledem k míře své složitosti i závislosti na vnějších faktorech jsou systémy metra zranitelné naturogenními (např. nepříznivým počasím) a antropogenními (ať už náhodnými nebo úmyslnými) nebezpečími. Podzemní dráhy je z hlediska organizačního zabezpečení nutné vnímat jako prostor se značným množstvím lidí, kteří se pohybují, zvláště v dopravních špičkách, po silně zatížených cestách, stísněných nástupištích a přeplněných schodištích, eskalátorech, výtazích a přestupních stanicích. Síť metra s tunely a větracími šachtami může vlivem proudění vzduchu snadno distribuovat chemickou (nebo biologickou) látku skrz stanice a tunely pod zemí, ale také směrem vzhůru prostřednictvím větracích šachet a výstupy ze stanic nad zemí až do celého města.

Technické a organizační prostředky ochrany podzemních drah nebudou dostatečně efektivní, pokud je nebude řídit a obsluhovat kvalifikovaný personál napříč všemi pracovními pozicemi. Pro tyto potřeby považujeme za důležité stále zpracovávat a aktualizovat v souladu s vývojem okolních jevů materiál plánovací, vzdělávací a právní multioborové povahy, jehož klíčovým úkolem bude příprava na vznik této mimořádné události a adekvátní odezva. Součástí takových dokumentů bude také soubor činností, majících za cíl preventivně minimalizovat vznik mimořádných událostí na nejnižší možnou úroveň.

Za nezbytně nutná opatření netechnického charakteru v ochraně podzemních drah před chemickými toxickými látkami považujeme:

- 1) Aktualizované a v praxi ověřené krizové plány, které by měly být zpracované přímo pro případ rozptylu chemické toxické látky. Plán by měl především obsahovat postupy pro připravenost, detekci a reakci na chemické útoky. Dále odpovědnosti a výčet činností zaměstnanců dopravních podniků – podzemních drah.
- 2) Začít vážnou debatu o přehodnocení právního statutu podzemních drah z hlediska jejich zařazení jako objektů kritické infrastruktury.
- 3) Pravidelnou realizaci komplexně (složky IZS, zaměstnanci metra, zdravotnická zařízení, rozhlas atd.) i odděleně (pouze vybrané složky se zaměřením na konkrétní úsek řešení mimořádné události spojené s chemickým teroristickým útokem – např. evakuace zasažených osob) pojatých pravidelných cvičení v podzemních drahách.
- 4) Preventivní opatření, jakožto nedílnou součást celého komplexu bezpečnosti. Prevence v oblasti ochrany před chemickým teroristickým útokem v metru by mohla být zvažována z velmi širokého pohledu již na úrovni zpravodajských služeb. Avšak pro stanovení preventivních opatření v metru je to maximální možné vyloučení vzniku mimořádné události a v případě, že přesto nastane, preventivně předcházet rozvoji dalších škodlivých dopadů.

Podzemní dráhy představují v metropolích nedílnou součást městské integrované dopravy a její omezení, zhroucení či nefunkčnost může vést až k určitému stupni paralýzy celého města. Ochromení městského systému hromadné dopravy by nevyhnutelně vedlo k enormnímu zatížení povrchové silniční nekolejové dopravy, čímž by se výrazně snížila propustnost automobilové dopravy. Významná celospolečenská hrozba by tak nastala především z hlediska neprůjezdnosti složek IZS, které by vzhledem k omezení propustnosti nemohly plnit svoji úlohu

při odezvě na jakékoliv mimořádné nebo jiné škodlivé události (tedy nejen výlučně při řešení situace v metru).

Dalším sledovaným prvkem v oblasti ochrany podzemních drah před chemickým teroristickým útokem je nevhodné umístění stavebně-technických či architektonických prvků movitého (reklamní poutače, dočasně instalované zátarasy) i nemovitého (nosné sloupy, výtahové šachty zabudované do nástupiště) charakteru. Uvedené součásti, přítomné především na nástupištech, kde zpravidla dochází k největší koncentraci cestujících, mohou tvořit v momentu vzniku mimořádné události, včetně chemického teroristického útoku, nezanedbatelný škodlivý element. Vznik davového panického chování by z tohoto hlediska bylo umocněno: a) v celkovém poklesu průchodnosti nástupiště vlivem snížení jeho profilu, čímž by v úzkých místech docházelo k hromadění přecházejících cestujících a následným zraněním; b) v celkovém snížení objemu vzduchu vlivem zastavění plochy, takže při rozptýlu chemikálií nebo také v důsledku požáru by došlo ke zvýšení koncentrace škodlivin. Kubátová a Klouda (2008) věc vnímají jako faktory vzájemně propojených a ovlivňujících se vazeb s potenciálem zvýšit škodlivé dopady. V souvislosti se vznikem davové psychózy v metru upozorňují na další elementy, kterými jsou psychologické parametry pasažérů, profesionalita dispečera ve stanici metra, prostorové uspořádání metra, prostupnost východů, technické faktory ovlivňující tok pasažérů a čas dojezdu záchranných složek [170]. Autoři Brádka, Klouda, Neplechová (2007) vytypovali ve výzkumném problému faktory, které ovlivňují rychlost účinku a koncentraci škodliviny. Z hlediska stavebně-technického popsali vliv uspořádání stanic, prostupnosti východů, intenzity a směru přívodu vzduchu, sorpce a kondenzace škodliviny na použité stavební suroviny (kov, plasty, dřevo), rovněž parametry vzduchu uvnitř stanice i nad ní, nebo místo rozptýlu (nástupiště, eskalátory, traťový tunel) [169].

V oblasti organizační ochrany metra může být vhodně využíváno modelování mimořádných situací s velkým počtem osob. Pro odhad jejich chování lze pro plánování a řízení krizových situací v praxi využít referenčního modelu *The Model SimPan*. Systém je založený na modelování chování člověka na základě zavedených psychologických teorií a poznatků. Referenční model vnímá člověka jako bytost psychosomatickou, autonomně jednající s kognitivními schopnostmi, která je zasazena do dynamického prostředí [81]. Existují i jiné využitelné modely. *EvacuationSim* je simulátor evakuace, který modeluje chování lidí během mimořádných situací, včetně požárů, zemětřesení nebo teroristických útoků. Pomáhá zkoumat efektivnost evakuačních plánů. *Moses* (Multi-Agent Simulation Environment for Smart Evacuation) je nástroj pro simulaci evakuace, který umožňuje modelovat pohyb davu v různých

prostředích. Je určen pro výzkum v oblasti bezpečnosti a evakuace. *Pathfinder* je software pro simulaci evakuace a chování davu. Pomáhá analyzovat proudění lidí v budovách a na veřejných místech, včetně možnosti vzniku paniky. *AnyLogic* je obecný nástroj pro modelování a simulaci, který zahrnuje moduly pro simulaci chování davu. Může být použit pro modelování různých situací, včetně mimořádných událostí a evakuací. *STEPS* (Simulation of Transient Evacuation and Pedestrian Movements) je simulátor navržený pro modelování pohybu chodců v různých prostředích, včetně mimořádných událostí.

Bezpodmínečnou nutnost zabývat se organizačními náležitostmi ochrany metra je možné ilustrovat na příkladu metra v Daegu. V únoru 2003 byl spáchán v jihokorejském městě Daegu kriminální čin, během kterého útočník rozlil a následně zapálil v jedoucí soupravě mezi stanicemi Banwoldang a Jungangno hořlavé těkavé látky. Požár si vyžádal celkem 340 obětí - 192 mrtvých a 148 zraněných [192]. Literatura zmiňuje četná pochybení na úrovni managementu krizového řízení, která jsou shrnuta následovně:

- a) Nedostatečná bezpečnostní opatření uvnitř vlakové soupravy i na nástupištích. Zejména chybějící bezpečnostní vybavení a opatření v systému městské dopravy. Vlak nebyl vybaven detektory kouře nebo automatickými hasicími zařízeními, což zpomalilo reakci na požár.
- b) Evakuační plány a opatření byly neadekvátní situaci, při které došlo k rychlému šíření požáru v úzkém tunelu metra. Nedostatečné plánování a průběžné testování evakuačních scénářů přispělo k obtížné evakuaci a zvýšení počtu mrtvých a zraněných.
- c) Nedostatečná školení personálu v oblasti teorie i praxe se projevila v neschopnosti koordinovat záchranné a likvidační práce a harmonizovat činnost se záchrannými složkami.
- d) Neefektivní koordinace činností a komunikace mezi zasahujícími záchrannými složkami ztěžovala rychlou a účinnou reakci na událost.

Uvedená pochybení vedla k zásadním změnám v bezpečnostních standardech a opatřeních v městské dopravě v Koreji a k řádné přípravě na mimořádné situace. Panika a následná evakuace byly obtížné v důsledku hustoty lidí a úzkých prostor v metru. Hasiči spolu se záchrannými týmy se snažili co nejrychleji dostat k postiženým a potlačit požár. Tragédie vedla k posílení bezpečnostních opatření v městské dopravě v Koreji a k revizi evakuačních plánů. Někteří odpovědní činitelé byli později obviněni a odsouzeni za nedostatky v bezpečnosti, které přispěly k rozsahu mimořádné události [193, 194, 195, 196].

6.4 DISKUSE K NÁVRHŮM NOVÝCH PROSTŘEDKŮ DETEKCE

Se současným značným rozvojem nových instrumentálních postupů, chemické metody detekce založené na srážecích a barevných reakcích, prezentované v disertační práci, poněkud ustupují výzkumnému zájmu. Avšak navržené jednoduché prostředky v podobě detekčních trubiček umožňují přímo detekovat aerosoly a případně i páry dráždivých látek. Tuto schopnost drtivá většina dostupných prostředků nemá. Zpravidla proto musí být odebrán vzorek a analyzován (zvláště na místě nebo v laboratoři), což by však v případě mimořádné události vedlo k časovým prodlevám. Své opodstatnění tedy jednoduché chemické detektory nalézají nejen v rámci mimořádné situace, ale také ve forenzní praxi a v laboratorních podmínkách. Vyvinuté prostředky detekce v praxi například umožňují posoudit závažnost a rozsah nebezpečí, aby bylo možné rozlišit ještě bezpečné a již kontaminované oblasti. Navíc takto zjištěné informace předmětnými detektory poskytují velitelům a prvním zasahujícím jednotkám doporučení ohledně nasazování osobních ochranných prostředků, odběru vzorků, stejně jako lékařských opatření. Ideální detektor lze popsat tak, že dokáže selektivně detekovat plyny a aerosoly jak BChL, tak toxických průmyslových chemikálií v přijatelném čase. Je dostatečně citlivý na detekci koncentrací látek na nebo pod úrovněmi, které již představují zdravotní riziko, a neměl by být ovlivněn jinými faktory v prostředí. Měl by být rychlý (co nejrychlejší čas odezvy), přenosný, snadno ovladatelný a měl by poskytovat data, která jsou snadno interpretovatelná. Přestože vývoj celkové konstrukce ideálního detektoru je ekonomicky a časově nákladný, lze konstatovat, že vyvinuté systémy pro identifikaci PAVA a CS prokázaly svoji účinnost. Vyznačují se relativně vysokou citlivostí, odolností vůči rušivým vlivům a poskytují barevnou odezvu pozorovatelnou pouhým okem. Na druhou stranu, experimentální výsledky naznačují, že k vyhodnocení barevné odezvy lze použít i objektivní prostředky měření (v daném případě tristimulus kolorimetr). To se osvědčilo zejména při optimalizaci průběhu barevných reakcí, ale v budoucnu předpokládáme standardní využití při práci v terénu nebo v laboratoři. To bude vyžadovat získání ještě většího souboru experimentálních dat pro statické zpracování.

6.4.1 Poznámka k experimentálnímu vývoji nových prostředků pro terénní i laboratorní praxi

Vývoj nových detektorů byl realizován za pomoci skutečných dráždivých látek, protože poskytují přesnější a relevantnější výsledky a lépe reprezentují chování a vzájemnou interakci zkoumaných látek. Současně poskytují přesnější porovnání s již existujícími daty a poznatky

a usnadňují generalizaci výsledků. S tímto vědomím jsme přistupovali i k problematice detekce fentanylu, ale získat potřebný vzorek se nepodařilo. Legislativní opatření vztahující se k některým látkám včetně fentanylu a jeho derivátů (oprávnění s nakládáním, režim skladování apod.) jsou výrazně omezující a celkově zatěžující. Podle názoru autora jsou spíše krokem zpět a vedou pouze ke zbrždění vývoje nejen detekčních prostředků, ale také například testování odolnosti osobních ochranných prostředků v této důležité oblasti ochrany obyvatelstva. Proto by mělo by být ve veřejném zájmu zváženo právní zjednodušení tohoto systému především pro vysoké školy a výzkumné instituce.

7 ZÁVĚR

Metro je nedílnou součástí hromadné dopravy a hraje důležitou roli při udržování obyvatelnosti a udržitelnosti městského prostředí. Ačkoli mnoho potenciálních rizik a provozních charakteristik metra představuje výzvy nejen pro složky IZS, ale také pro cestující a pracovníky metra, v běžném, a tedy bezvadném funkčním stavu metra, jsou často ignorovány. Proto cílem disertační práce bylo svými dílčími výsledky přispět k zabezpečení metra a jeho cestujících v oblasti ochrany před chemickými toxickými látkami.

Přínosem je vývoj a praktické ověření funkčnosti sedmi jednoduchých detekčních prostředků, konstrukčně detekčních trubic založených na barevných chemických reakcích pro terénní zjišťování dráždivých látek CS a PAVA (kapsaicinoidů). Předložené řešení nabízí levnou, rychlou a účinnou variantu pro chemický průzkum/chemickou kontrolu prvosledovými složkami IZS a případně zaměstnanci metra. Laboratorní testování prokázalo relativně vysokou citlivost, selektivitu, tepelnou stabilitu, a především výsledek v podobě barevné změny vizuálně snadno interpretovatelný pouhým okem. Zároveň vyvinuté detektory rozšiřují škálu možností, na základě nichž je možné dostupnými metodami v terénních podmínkách identifikovat BCHL.

Empirické pozorování stavebně-technických prvků, především na nástupištích, odhalilo závadové elementy (reklamní poutače, zbytné konstrukce), které významně snižují volný prostor. Tím se jednak snižuje objem vzduchu (zvyšuje koncentrace škodliviny) a jednak snižuje průchodnost a orientace v případě vzniku mimořádné události. Na řadě klíčových míst, shodou okolností v exponovaných přestupních stanicích, vznikají pouze úzké prostupné koridory, které by ztěžovaly evakuaci a vedly k zahlcení míst prchajícími cestujícími. Rovněž byl zejména v centru hl.m. Prahy zjištěn nedostatečný prostor pro rozvinutí záchranné techniky, stanovišť pro rychlé třídění zraněných osob a míst pro dekontaminační práce. Další nedostatky byly zjištěny v podobě nevyhovujícího zabezpečení veřejných prostor před neautorizovaným vstupem.

Právní předpisy v oblasti ochrany metra před úmyslným i neúmyslným rozšířením chemických toxických látek se vyznačují nejednotností a odlišným výkladem zásadních pojmů. Bezpečnosti metra nepřispívá, že podzemní dráhy nesplňují podmínky zařazení mezi prvky kritické infrastruktury. Pozitivní obrat v tomto ohledu by však mohl být výrok deklarovaný v Bezpečnostní strategii ČR z roku 2023 o revizi oblastí ochrany kritické infrastruktury a aktualizaci kritérií pro jejich určení.

Současná (2024) bezpečnostní situace na území Evropy se v mnoha oblastech nevyvíjí pozitivně a řada jevů (migrace, kriminalita, organizovaný zločin, islámský radikalismus) ji zhoršují. Hrozba úmyslného rozšíření chemických toxických látek proti civilnímu obyvatelstvu v metru není vyloučena a historie ukázala, jaké katastrofické dopady na obyvatelstvo může tento čin znamenat.

8 ZÁVĚRY PRO PRAXI A DALŠÍ ROZVOJ VĚDY

Navržené jednoduché prostředky detekce vybraných látek lze použít nejen při ochraně metra, ale také u jiných objektů citlivé infrastruktury. Z hlediska technického zabezpečení podzemních drah by se další inženýrské práce měly zaměřit na praktické začlenění nově vyvinutých detekčních prostředků do stálého stavu ochrany metra. S tím souvisí ověření funkčnosti těchto prostředků v podmínkách blízkých provozu podzemních drah. K těmto účelům by mohl sloužit například cvičný polygon Státního ústavu jaderné, chemické a biologické ochrany, v.v.i. Z hlediska složek IZS, především Policie ČR, by měl být kladen větší důraz na terénní práci s jednoduchými detekčními prostředky a na pohyb v osobních ochranných prostředcích, formou periodicky se opakujících cvičení.

Další výzkum by měl být zaměřen také na detailnější určení parametrů navržených detekčních prostředků (zejména detekční limit, selektivita, spolehlivost, správnost, přesnost, životnost). Zvláštní pozornost by měla být věnována i detailnějšímu posouzení vhodnosti tristimulus kolorimetrie (použité v disertační práci zejména pro optimalizaci reakčních podmínek) k objektivnímu vyhodnocování analytického signálu detektorů v místě zásahu. Vývoj robustních prostředků detekce a identifikace hrozeb chemickými toxickými látkami by měly mít vysokou prioritou pro zasahující složky. Rychlejší informace o případné expozici se promítá do účinnosti aplikovaných protiopatření. Čím robustnější je detektor proti falešnému poplachu, tím méně prostředků musí být vynaloženo na protiopatření (výjezd složek IZS, evakuace apod.) Měl by být také zkoumán vliv vnitřního prostředí prostoru metra na účinnost detekčních prostředků. Metro je ze své povahy kontaminováno celou řadou anorganických a organických látek a směsí, které mohou výsledek analýzy ovlivnit. Za perspektivní považujeme také vývoj jednoduchých kolorimetrických prostředků pro terénní detekci fentanylu a jeho nejznámějších analog.

Další výzkum a vývoj by se mohl zaměřit na nové formy detektorů. Z nových technologií se progresivně prosazuje využití nanočástic jako prvků nové generace kolorimetrických detekčních prostředků. Jedná se například o nanočástice zlata a dalších ušlechtilých kovů, nanočástice v kombinaci s enzymy nebo v kombinaci s fluorescenčními látkami. Dále mohou být rozvíjeny chromo/fluorogenní detektory, biosenzory založené na enzymatických nebo imunochemických reakcích. Jako dostupná a levná varianta se jeví integrace kolorimetrických detekčních technologií se smart telefony, které byly okrajově použity i v této disertační práci. Vzhledem k současnému stavu umělé inteligence může být i tento fenomén použit k propojení

monitoringu vstupu a výstupů pomocí kamerového systému, k dohledu nad senzory chemických látek a vyhodnocování neobvyklých vzorů (pády osob na zem, dým, hromadění osob v jednom bodě) za pomoci algoritmů. Do integrace by mohl být zapojen i systém face-recognition, používaný již na řadě letišť (včetně pražského letiště Ruzyně) nebo jenž již funguje v rámci skenu biometrických údajů z cestovních dokladů. Praktické využití pro bezpečnostní složky by našel v případech identifikace hledaných osob nebo může automatizovaně upozornit na vstup osob do metra, které mají předchozí závadové záznamy za narušení bezpečnosti. Rovněž by bylo možné zamezit neautorizovaným osobám vstoupit do neveřejných míst. Umělá inteligence by mohla rozsáhlým sběrem dat vyhodnotit situaci *ex post* rozptylu chemické toxické látky a vytvořit analýzu.

V oblasti organizačního zabezpečení metra by měl být proveden výzkum, jakou měrou se na mimořádné události negativně podílí zbytné stavebně-konstrukční prvky (reklamní poutače, lavičky, nemovité přístavby) a jakými směry proudí vzduch. Zvláštní zřetel by měl být v dalším rozvoji vědního oboru věnován také zkoumání všech aspektů davového panického chování ve zvláštních podmínkách podzemních staveb.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ANPP - 4-Anilino-*N*-fenethylpiperidin

BCHL – Bojová chemická látka

BS – Bezpečnostní strategie České republiky

BZ - 3-Chinuklidinylbenzilát

CAS – Chemical Abstract Service

CBRN – Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (weapons)

CS – *o*-chlorbenzylidenmalononitril

CSI – Common Security Indicators

CSM – Common Security Measures

CST – Common Security Targets

CN – Chloracetofenon

CNS – Centrální nervová soustava

CR - Dibenzo[*b,f*]-1,4-oxazepin

CWC – Chemical Weapons Conventions

ČR – Česká republika

DMF – *N,N*-dimethylformamid

DMSO – Dimethylsulfoxid

DP – Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s.

EMA – European Medicines Agency

EP a R – Evropský Parlament a Rada

GABA – Kyselina gama-aminomáselná

GTD – Global Terrorism Database

IZS – Integrovaný záchranný systém

LD₅₀ – Lethal Dose/ Letální dávka

NPP – *N*-fenethylpiperidin

OC – Oleoresin capsicum

OPCW – Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons

PAVA – Pelargonic acid vanillylamide (vanilylamid kyseliny pelargonové)

PROVAS – Protichemický varovný systém

RCA – Riot Control Agents

SHU – Scoville Heat Units

STČ13 – Katalogový soubor – typová činnost složek IZS při společném zásahu: STČ 13/IZS –
Reakce na chemický útok v metru

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

TATP – Triaceton triperoxid

TNT – Trinitrotoluen

TRPV1 – Transient Receptor Potential Vanilloid 1

TSI – Technical Specification for Interoperability

VX – S-(2-(diisopropylamino)ethyl)-O-ethylmethylfosfonothiolát

WHO – World Health Organization

ZHN – Zbraně hromadného ničení

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] The New York Times. Excerpts from interview with Kissinger: Eight years in Washington evaluated. 1977. <https://www.nytimes.com/1977/01/20/archives/Excerpts-from-interview-with-Kissinger-Eight-years-in-Washington-evaluated> (accessed Aug. 30, 2023).
- [2] KLAUS, Václav, 2021. *Transformace v ČR: cesta ke svobodě a prosperitě*. Praha: Oeconomica, nakladatelství VŠE. ISBN 978-80-245-2418-4.
- [3] BRUNTON, Gillian a Tim, WILSON, 2020. Terrorism. *Contemporary Voices: St Andrews Journal of International Relations*. **1**(1), 1-88. ISSN 2516-3159.
- [4] Ministerstvo vnitra České republiky. Dokumenty – terorismus, 2009. <https://www.mvcr.cz/clanek/definice-pojmu-terorismus.aspx> (accessed Feb. 10, 2023)
- [5] EICHLER, Jan, 2009. *Mezinárodní bezpečnost v době globalizace*. 1. vyd., Praha: Portál. ISBN 978-80-7367-540-0.
- [6] SIMAK, Ladislav a Jozef, RISTVEJ, 2009. The Present Status of Creating the Security System of the Slovak Republic after Entering the European Union. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*. **6**(1). ISSN 1547-7355.
- [7] KUDRNA, Jan, 2017. Ústavní rámec zajišťování bezpečnosti České republiky – zhodnocení současného stavu a úvahy de lege ferenda. *AUC IURIDICA*. **2017**(4), 159-174. ISSN 2336-6478.
- [8] KRULÍK, Vladimír a Antonín, RAŠEK, 2015. Bezpečnostní systém: optimalizace, nebo nová koncepce? *Vojenské rozhledy*, **24**(56), 23–34. ISSN 1210-3292.
- [9] CRAWFORD, Adam a Steven, HUTCHINSON, 2016. The Future(s) of Security Studies. *British Journal of Criminology*. **56**(6), 1049-1067. ISSN 0007-0955.
- [10] ROBEJŠEK, Petr, 2023. Máme druhořadé elity, kterým jde jen o peníze, ale ne o svoji zemi a ideály. In: Youtube online. <https://www.youtube.com/watch?v=BHrb3jkUlqs&list=TLPQMTgxMjIwMjMD7rj2d5BihA&index=2> (accessed Dec.18, 2023).
- [11] RENN, Ortwin, 1992. Risk communication: Towards a rational discourse with the public. *Journal of Hazardous Materials*. **29**(3), 465-519. ISSN 03043894.
- [12] Ministerstvo vnitra ČR – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2015. OCHRANA OBYVATELSTVA A KRIZOVÉ ŘÍZENÍ – skripta. ISBN 978-80-86466-62-0.
- [13] MIKA, Otakar, 2012. Ochrana obyvatelstva: malé kompendium ochrany obyvatelstva. 1. vyd. Jihlava: Vysoká škola polytechnická. ISBN 9788087035672.
- [14] *Ochrana obyvatelstva v případě krizových situací a mimořádných událostí nevojenského charakteru*, 2014. Brno: Tribun EU. ISBN 978-802-6307-211.
- [15] INSPQ Public health expertise and reference centre, 2018. Definition of the concept of safety. <https://www.inspq.qc.ca/en/quebec-collaborating-centre-safety-promotion-and-injury-prevention/definition-concept-safety> (accessed Feb. 19, 2023).
- [16] IVANČÍK, Radoslav, 2021. Treatise on Postulates of Security Theory. *Security science journal*. **2**(1), 103-118. ISSN 27379493.

- [17] LUKAS, Ludek; Martin, HROMADA a Lukas, PAVLIK, 2016. The Key Theoretical Models for the Safety and Security Ensuring. *2016 Third International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and in Industry (MCSI)*. IEEE, 2016, 61-65. ISBN 978-1-5090-0973-2.
- [18] ZHANG, Xun; Min, JIN; Jingying, FU; Mengmeng, HAO; Chongchong, YU a Xiaolan, XIE, 2018. On the Risk Assessment of Terrorist Attacks Coupled with Multi-Source Factors. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 7(9), 354-373. ISSN 2220-9964.
- [19] KRIEGER, Tim a Daniel, MEIERRIEKS, 2011. What causes terrorism? *Public Choice*. 147(1-2), 3-27. ISSN 0048-5829.
- [20] BRZYBOHATÝ, Marian, 1999. Terorismus I. 1. vyd. Praha: Police history. ISBN 8090267017.
- [21] EICHLER, Jan, 2007. *Terorismus a války na počátku 21. století*. V Praze: Karolinum. ISBN 9788024613178.
- [22] HOFFMAN, Bruce, 1997. Terrorism and WMD: some preliminary hypotheses. *Nonproliferation Review*. 4(1), 45-53. ISSN 1073-6700.
- [23] NĚMEC, Miroslav. *Organizovaný Zločin: Aktuální problémy organizované kriminality a boje proti ní*. 1. vyd. Naše vojsko: Praha. 1995. ISBN 8020604723.
- [24] ČÍRTKOVÁ, Ludmila, 2006. Policejní psychologie. 1. vyd. Plzeň: Nakladatelství Aleš Čeněk. ISBN 8086898733.
- [25] BIRD, Graham; S., Brock, BLOMBERG a Gregory, D., HESS, 2008. International Terrorism: Causes, Consequences and Cures. *The World Economy*. 31(2), 255-274. ISSN 0378-5920.
- [26] FOLTIN, Pavel a David, ŘEHÁK, 2005. Důvody realizace a formy terorismu. *Obrana a strategie*. 4(1) 33-42. ISSN 1802-7199.
- [27] SVOBODA, Ivo, 2016. Možnosti kriminalistického zkoumání projevů extremismu a terorismu v trestním řízení z pohledu soudního znalce. In. *Sborník vědeckých sdělení z 2. ročníku mezinárodní vědecké konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, s. 263-270. ISBN 978-80-7408-134-7.
- [28] ACKERMAN, Gary A. a Michael, BURNHAM, 2021. Towards a Definition of Terrorist Ideology. *Terrorism and Political Violence*. 33(6), 1160-1190. ISSN 0954-6553.
- [29] PITSCHMANN, Vladimír, 2014. Overall View of Chemical and Biochemical Weapons. *Toxins*. 6(6), 1761-1784. ISSN 2072-6651.
- [30] ZEMAN, Tomáš; Jan, BŘEŇ a Rudolf, URBAN, 2018. PROFILE OF A LONE WOLF TERRORIST: A CRISIS MANAGEMENT PERSPECTIVE. *Journal of Security and Sustainability Issues*. 8(1), 5-18. ISSN 20297025.
- [31] PITSCHMANN, Vladimír, 2010. *Šamani, alchymisté, chemici a válečníci*. Praha: Naše vojsko. ISBN 9788020611109.
- [32] PALMER, Ian, 2004. The Psychological Dimension Of Chemical, Biological, Radiological And Nuclear (CBRN) Terrorism. *Journal of the Royal Army Medical Corps*. 150(1), 3-9. ISSN 0035-8665.
- [33] OGAWA, Yasatuka; YAMAMURA, Yumi a ANDO, Hideo, et al., 1999. An Attack with Sarin Nerve Gas on the Tokyo Subway System and Its Effects on Victims. *Natural and Selected Synthetic Toxins*. Washington, DC: American Chemical Society, 1999-12-20, 333-355. ACS Symposium Series. ISBN 0-8412-3630-5.

- [34] TU, T., Anthony, 2008. TOXICOLOGICAL AND CHEMICAL ASPECTS OF SARIN TERRORISM IN JAPAN IN 1994 AND 1995. *Toxin Reviews*. **26**(3), 231-274. ISSN 1556-9543.
- [35] OKUDERA, Hiroshi; Hiroshi, MORITA; Tomomi, IWASHITA; Tatsuhiko, SHIBATA; Tetsutaro, OTAGIRI; Shigeaki, KOBAYASHI a Nobuo, YANAGISAWA, 1997. Unexpected nerve gas exposure in the city of Matsumoto: Report of rescue activity in the first sarin gas terrorism. *The American Journal of Emergency Medicine*. **15**(5), 527-528. ISSN 07356757.
- [36] SZINICZ, Ladislaus, 2005. History of Chemical and Biological Warfare Agents. *Toxicology*. **214**(3), 167–181. ISSN 0300483X.
- [37] PITSCHMANN, Vladimír, 1999. Historie chemické války. 1. vyd. Praha: Military System Line. ISBN 8090266908.
- [38] AAS, Pål, 2003. The Threat of Mid-Spectrum Chemical Warfare Agents. *Prehospital and Disaster Medicine*. **18**(4), 306-312. ISSN 1049-023X.
- [39] KUČA, Kamil a Miroslav, POHANKA, 2010. Chemical warfare agents. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*. Basel: Birkhäuser Basel, 2010, 543-558. Experientia Supplementum. ISBN 978-3-7643-8337-4.
- [40] United Nations Treaty Collection, Multilateral Treaties Deposited with the Secretary-General, 2021. https://treaties.un.org/pages/Treaties.aspx?id=6&subid=A&clang=_en (accessed Jan, 21, 2024)
- [41] PITSCHMANN, Vladimír, 2007. Kontaminace prostoru metra: Reakce na teroristický útok s použitím bojové otravné látky na pražské metro. MV-GŘ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva Lázně Bohdaneč.
- [42] Česká republika. Zákon č. 19 ze dne 24. ledna 1997, o některých opatřeních souvisejících se zákazem chemických zbraní.
- [43] GUPTA, C., Ramesh, 2020. Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents, 3rd Edition. Academic Press. ISBN 978-0-12-819090-6.
- [44] OPCW, OPCW Releases Scheduled Chemicals Database, 2009. <https://www.opcw.org/media-centre/news/2009/05/opcw-releases-scheduled-chemicals-database> (accessed Feb. 26, 2023).
- [45] Chemeurope.com, Strasbourg Agreement (1675), 2023. https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/Strasbourg_Agreement_%281675%29.html (accessed Feb. 19, 2023).
- [46] SCHINDLER, Dietrich a Jiri, TOMAN, 2004. *The Laws of Armed Conflicts: A Collection of Conventions Resolutions and Other Documents*. 4th ed. Leiden (Netherlands): Martinus Nijhoff. Pp 22-34. ISBN 9789004138186.
- [47] KRÍŽKOVÁ, Jaroslava a Tereza, VITVAROVÁ, 2017. 20 Let úmluvy O zákazu chemických Zbraní. *Chemické Listy*. **111**(4), 285-289. ISSN 1213-7103.
- [48] United Nations Office for Disarmament Affairs (UNODA), UN Security Council Resolution 1540, 2004. <https://www.un.org/disarmament/wmd/sc1540/>. (accessed Feb. 19, 2023).
- [49] OPCW, About Us, 2023. <https://www.opcw.org/about-us> (accessed Feb. 22, 2023).

- [50] Státní úřad pro jadernou bezpečnost, o SÚJB, 2023. <https://www.sujb.cz/o-sujb> (accessed Feb. 22, 2023).
- [51] Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Zpráva o výsledcích činnosti státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky 2021. https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/zpravy/vyrocní_zpravy/ceske/2021/cast-I.pdf (accessed Feb. 22, 2023).
- [52] PID.cz. Metro, 2013. <https://pid.cz/metro/> (accessed Jan. 28, 2024).
- [53] Stavebniserver.cz. Brno hledá zpracovatele studie na podzemní kolejovou dráhu, 2020. <https://www.stavebniserver.com/zpravodajstvi/brno-hleda-zpracovatele-studie-na-podzemni-kolejovou-drahu/> (accessed Jan. 28, 2024).
- [54] Česká republika, 1994. Zákon č. 266/1994 Sb. Zákon o drahách. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266> (accessed Aug. 4, 2023).
- [55] VOJÁČKOVÁ, Radka, 2004. 10 nejstarších, nejdelších a nepoužívanějších podzemních drah na světě. 21. století. <https://21stoleti.cz/2004/06/22/10-nejstarsich-nejdelsich-a-nepouzivanejsich-podzemnich-drah-na-svete/> (accessed Jan. 10, 2023).
- [56] GERSHON, Robin, 2005. Health and Safety Hazards Associated with Subways: A Review. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*. **82**(1), 10-20. ISSN 1099-3460.
- [57] GRAVIT, Marina; Artem, VAITITCKII a Alexandra, SHPAKOVA, 2016. Subway Constructions Fire Safety Regulatory Requirements. *Procedia Engineering*. **165**, 1667-1672. ISSN 18777058.
- [58] DE CILLIS, Francesca; Maria, Carla, DE MAGGIO; Concetta, PRAGLIOLA a Roberto, SETOLA, 2013. Analysis of Criminal and Terrorist Related Episodes in Railway Infrastructure Scenarios. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*. **10**(2). ISSN 1547-7355.
- [59] FOJTÍK, Pavel, 2004. *30 let pražského metra*. 2., rozš. vyd. Praha: Dopravní podnik hl. m. Prahy. ISBN 80-239-2704-3.
- [60] Dopravní podnik hlavního města Prahy. Podrobnosti o metru D, 2023. <https://www.dpp.cz/metro-d> (accessed May 25, 2023).
- [61] RCD Radiokomunikace. Řešení metro, 2020. <https://www.rcd.cz/cs/systemova-reseni-metro.html> (accessed May 25, 2023).
- [62] Technická správa komunikací hl. m. Prahy. *Ročenka dopravy Praha 2019*. Praha: [s.n.], 2020. 84 s.
- [63] VELCOVÁ, Tereza, 2019. Analýza vybraných bezpečnostních rizik pražského metra. Kladno, květen 2019, 122 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze – Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce: kpt. Ing. René Mildorf.
- [64] KATALOG TYPOVÝCH ČINNOSTÍ INTEGROVANÉHO ZÁCHRANNÉHO SYSTÉMU, 2013. Reakce na chemický útok v metru STČ 13/IZS.
- [65] MEDOVÁ, Marie, 2020. *Následky výpadku elektrické energie v pražském metru*. Kladno, květen 2020, 75 s. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze – Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce: plk. RNDr. Tomáš Holec.
- [66] Evropská unie, 2013. PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 402/2013 ze dne 30. dubna 2013 o společné bezpečnostní metodě pro hodnocení a posuzování rizik. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:121:0008:0025:CS:PDF> (accessed Aug. 4, 2023).

- [67] Evropská unie, 2004. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/49/ES ze dne 29. dubna 2004 o bezpečnosti železnic Společenství a o změně směrnice Rady 95/18/ES o vydávání licencí železničním podnikům a směrnice 2001/14/ES o přidělování kapacity železniční infrastruktury, zpoplatnění železniční infrastruktury a o vydávání osvědčení o bezpečnosti (Směrnice o bezpečnosti železnic) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=celex:32004L0049> (accessed Aug. 4, 2023).
- [68] Evropská unie, 2020. Prováděcí nařízení Komise (EU) 2020/572 ze dne 24. dubna 2020 o systému podávání zpráv, který má být dodržován pro účely zpráv o vyšetřování železničních nehod a mimořádných událostí https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=uriserv:OJ.L_.2020.132.01.0010.01.CES (accessed Aug. 4, 2023).
- [69] Česká republika, 1994. Zákon č. 266/1994 Sb. Zákon o drahách. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266> (accessed Aug. 4, 2023).
- [70] Česká republika, 2000. Zákon č. 239/2000 Sb. Zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239> (accessed Aug. 4, 2023).
- [71] Česká republika, 2009. Zákon č. 40/2009 Sb. Zákon trestní zákoník. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-40> (accessed Aug. 4, 2023).
- [72] Česká republika, 1995. Vyhláška č. 100/1995 Sb. Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se stanoví podmínky pro provoz, konstrukci a výrobu určených technických zařízení a jejich konkretizace (Řád určených technických zařízení). <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-100> (accessed Aug. 4, 2023).
- [73] Česká republika, 1995. Vyhláška č. 173/1995 Sb. Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává dopravní řád drah <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-173> (accessed Aug. 4, 2023).
- [74] HAUPT, Brittany, 2021. The Use of Crisis Communication Strategies in Emergency Management. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*. **18**(2), 125-150. ISSN 1547-7355.
- [75] Česká republika, 2006. Vyhláška č. 376/2006 Sb. Vyhláška o zajišťování bezpečnosti provozování dráhy a drážní dopravy a postupech při vzniku mimořádných událostí na dráhách <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-376> (accessed Aug. 4, 2023).
- [76] Drážní inspekce, 2022. Výroční zpráva Drážní inspekce za rok 2022. <https://www.dicr.cz/tiskovy-servis/vyrocní-zpravy/vyrocní-zprava-drazní-inspekce-za-rok-2022> (accessed Aug. 4, 2023).
- [77] SHELLEY, I., Louise a John, T., PICARELLI, 2005. Methods and motives: Exploring links between transnational organized crime and international terrorism. *Trends in Organized Crime*. **9**(2), 52-67. ISSN 1084-4791.
- [78] PUTTONEN, Riikka a Flavia, ROMITI, 2022. The Linkages between Organized Crime and Terrorism. *Studies in Conflict & Terrorism*. **45**(5-6), 331-334. ISSN 1057-610X.
- [79] Vláda ČR, 2023. BEZPEČNOSTNÍ STRATEGIE ČESKÉ REPUBLIKY 2023. <https://vlada.gov.cz/cz/ppov/brs/dokumenty/vyznamne-dokumenty-v-oblasti-bezpecnosti-ceske-republiky-18963/> (accessed Aug. 4, 2023).
- [80] QUARANTELLI, L., Enrico, 1954. The Nature and Conditions of Panic. *American Journal of Sociology*. **60**(3), 267-275. ISSN 0002-9602.
- [81] SCHNEIDER, Bernhard, 2008. The Reference Model SimPan Agent-Based Modelling of Human Behaviour in Panic Situations. *Tenth International Conference on Computer Modeling and Simulation (uksim 2008)*. IEEE, 2008, 599-604. ISBN 978-0-7695-3114-4.
- [82] HELBING, Dirk; Illés, FARKAS a Tamás, VICSEK, 2000. Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*. **407**(6803), 487-490. ISSN 0028-0836.

- [83] HAGHANI, Milad; Emiliano, CRISTIANI; Nikolai, William, F., BODE, Maik, BOLTES a Alessandro, CORBETTA, 2019. Panic, Irrationality, and Herding: Three Ambiguous Terms in Crowd Dynamics Research. *Journal of Advanced Transportation*. **2019**, 1-58. ISSN 0197-6729.
- [84] LANGER, J., Ellen a Susan, SAEGERT, 1977. Crowding and cognitive control. *Journal of Personality and Social Psychology*. **35**(3), 175-182. ISSN 1939-1315.
- [85] LATANÉ, Bibb, 1981. The psychology of social impact. *American Psychologist*. **36**(4), 343-356. ISSN 1935-990X.
- [86] DRURY, John, 2018. The role of social identity processes in mass emergency behaviour: An integrative review. *European Review of Social Psychology*. **29**(1), 38-81. ISSN 1046-3283.
- [87] KELLEY, H., Harold; John, C., CONDRY; Arnold, E., DAHLKE a Arthur, H., HILL, 1965. Collective behavior in a simulated panic situation. *Journal of Experimental Social Psychology*. **1**(1), 20-54. ISSN 00221031.
- [88] HELIÖVAARA, Simo; Harri, EHTAMO; Dirk, HELBING a Timo, KORHONEN, 2013. Patient and impatient pedestrians in a spatial game for egress congestion. *Physical Review E*. **87**(1). ISSN 1539-3755.
- [89] SCHEP, J., Leo; Robin, J., SLAUGHTER a David, Ian, MCBRIDE, 2015. Riot control agents: the tear gases CN, CS and OC—a medical review. *Journal of the Royal Army Medical Corps*. **161**(2), 94-99. ISSN 0035-8665.
- [90] WEIGERND, A., Dennis, 1969. Cutaneous reaction to the riot control agent CS. *Military Medicine*. **134**(6), 437-440. ISSN 0226-4075.
- [91] PUNTE, Charles L.; Edmund, J., OWENS a Philip, J., GUTENTAG, 1963. Exposures to Ortho-Chlorobenzylidene Malononitrile. *Archives of Environmental Health: An International Journal*. **6**(3), 366-374. ISSN 0003-9896.
- [92] UPSHALL, G., David, 1973. Effects of o-chlorobenzylidene malononitrile (CS) and the stress of aerosol inhalation upon rat and rabbit embryonic development. *Toxicology and Applied Pharmacology*. **24**(1), 45-59. ISSN 0041008X.
- [93] BALLANTYNE, Bryan a Dennis, W., SWANSTON, 1973. The Irritant Potential of Dilute Solutions of ortho-Chlorobenzylidene Malononitrile (CS) on the Eye and Tongue. *Acta Pharmacologica et Toxicologica*. **32**(3-4), 266-277. ISSN 00016683.
- [94] PANDE, Ambuja; Kumaran, GANESAN; Asheesh, Kumar, JAIN; Pradeep, Kumar, GUPTA a Ramesh, Chandra, MALHOTRA, 2005. A Novel Eco-Friendly Process for the Synthesis of 2-Chlorobenzylidenemalononitrile and ITS Analogues Using Water As a Solvent. **9**(2), 133-136. ISSN 1083-6160.
- [95] World Health Organization. HEALTH ASPECTS OF CHEMICAL AND BIOLOGICAL WEAPONS: Report of a WHO Group of Consultants. Geneva, 1970. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39444/24039.pdf;jsessionid=8F42AAE665F06C829ABFF3D5F287A637?sequence=1> (accessed Feb, 8, 2023).
- [96] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2014. O-Chlorobenzylidene malononitrile. <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/2698411.html> (accessed Feb, 8, 2024)
- [97] ISSA, M., Fatima; ISSA, Yousry M.; Zeidan, H., YOUSSEF a Rafaat, M., ISSA, 1975. Spectrophotometric determination of arylidenemalononitrile derivatives using m-dinitrobenzene. *Z. Anal. Chem.* (**277**)125. ISSN 0003-2700

- [98] WIACEK, Katarzyna, Zbigniew, MAKLES a Z., RURKA, 1979. Wskaznikova do wykrywania dwunitrylu o-chlorobenzylidenomalonowego i nitrilu malonowego. *PL* 83 474 (15. 11. 1979).
- [99] PITSCHMANN, Vladimír; HALÁMEK, Emil a Zdeněk, KOBLIHA, 2005. Detector tube with benzofurazane derivates to detect of irritants in air. *Sborník Univerzity obrany Brno (B)* 1, 179.
- [100] HALÁMEK, Emil; KOBLIHA, Zdeněk a Vladimír, PITSCHMANN, 2009. Analysis of chemical warfare agents. *University of Defence*, Brno, 2009.
- [101] LUDEMANN, D., William, Martin, H., STUTZ a Samuel, SASS, 1969. Qualitative thin-layer chromatography of some irritants. *Anal. Chem.* **41**, 679. ISSN 0003-2700.
- [102] PITSCHMANN, Vladimír, 1997. Detection of 2-chlorobenzylidenemalononitrile in air. *Chemické listy*. **(91)**2, 125-127. ISSN 1213-7103.
- [103] DÍAZ, José; Federico, POMAR; Angeles, BERNAL a Fuencisla, MERINO, 2004. Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry Reviews*. **3**(1-2), 141-157. ISSN 1568-7767.
- [104] WESELOVSKA, Aneta; Dorota, JADCZAK a Monika, GRZESZCZUK, 2011. CHEMICAL COMPOSITION OF THE PEPPER FRUIT EXTRACTS OF HOT CULTIVARS *Capsicum annuum* L. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. **10**(1), 171–184. <https://czasopisma.up.lublin.pl/index.php/asphc/article/view/3190> (accessed Feb, 12, 2023)
- [105] REYES-ESCOGIDO, Maria; Edith, G., GONZALEZ-MONDRAGON a Erika, VAZQUEZ-TZOMPANTZI, 2011. Chemical and Pharmacological Aspects of Capsaicin. *Molecules*. **16**(2), 1253-1270. ISSN 1420-3049.
- [106] GOVINDARAJAN, V. Srivastara a Maharana N., SATHYANARAYANA, 1991. Capsicum — production, technology, chemistry, and quality. Part V. Impact on physiology, pharmacology, nutrition, and metabolism; structure, pungency, pain, and desensitization sequences. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. **29**(6), 435-474. ISSN 1040-8398.
- [107] BATCHELOR, D., James a Bradley, T., JONES, 2000. Determination of the Scoville Heat Value for Hot Sauces and Chilies: An HPLC Experiment. *Journal of Chemical Education*. **77**(2). ISSN 0021-9584.
- [108] BUCHANAN, Mark, 2020. Some like it hot. *Nature Physics*. **16**(1), 112-112. ISSN 1745-2473.
- [109] WAHYUNI, Yuni; Ana-Rosa, BALLESTER; Enny, SUDARMONOWATI; Raoul, J., BINO a Arnaud, G., BOVY, 2011. Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: Variation in health-related compounds and implications for breeding. *Phytochemistry*. **72**(11-12), 1358-1370. ISSN 00319422.
- [110] FORMICOLA, Jessica, 2023. The Scoville Scale. <https://www.savoryexperiments.com/scoville-scale/> (accessed Jul. 25, 2023)
- [111] NANYANG POLYTECHNIC; PHOON, Chee, Wee a Xuming, GUO, Patent: WO2010/144055 A1, 2010; Location in patent: Page/Page column 45-46; 50.
- [112] BARBERO, F., Gerardo; José, M., G., MOLINILLO, Rosa; Miguel, VARELA; Miguel, PALMA, Francisco, A., MACÍAS a Carmelo, G., BARROSO, 2010. Application of Hansch's Model to Capsaicinoids and Capsinoids: A Study Using the Quantitative Structure–Activity Relationship. A Novel Method for the Synthesis of Capsinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **58**(6), 3342-3349. ISSN 0021-8561.

- [113] JHAVERI, D., Maulik; Steven, J., R., ELMES; David, A., KENDALL a Victoria, CHAPMAN, 2005. Inhibition of peripheral vanilloid TRPV1 receptors reduces noxious heat-evoked responses of dorsal horn neurons in naïve, carrageenan-inflamed and neuropathic rats. *European Journal of Neuroscience*. **22**(2), 361-370. ISSN 0953816X.
- [114] FATTORI, Victor; Miriam, HOHMANN; Ana, ROSSANEIS; Felipe, PINHO-RIBEIRO a Waldiceu, VERRI, 2016. Capsaicin: Current Understanding of Its Mechanisms and Therapy of Pain and Other Pre-Clinical and Clinical Uses. *Molecules*. **21**(7). ISSN 1420-3049.
- [115] ARNOLD, T., Josh a Stewart, BRUCE-LOW, 2016. Oral Capsaicin Ingestion: A Brief Update-Dose, Tolerance and Side Effects. *Research and Reviews: Journal of Herbal Sciences*. **5**(2), 1–5. ISSN 2278-2257.
- [116] SINGH, Satyavan; Robert, JARRET; Vincent, RUSSO; Georg, MAJETICH; Joel, SHIMKUS; Rodney, BUSHWAY a Brian, PERKINS, 2009. Determination of Capsinoids by HPLC-DAD in Capsicum Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **57**(9), 3452-3457. ISSN 0021-8561.
- [117] LOW, Kah, Hin; Shariffudin, ZAIN; Radzi, Bin, ABAS a Mustafa, Ali, MOHD, 2008. Classification of chilli sauces: multivariate pattern recognition using selected GCMS retention time peaks of chilli sauce samples. *The Malaysian Journal of Analytical Science*. **12**(1) 210-216. ISSN 1394-2506.
- [118] BAJAJ, L., Krishan a Gurdeep, KAUR, 1979. Colorimetric determination of capsaicin in capsicum fruits with the Folin-Ciocalteu reagent. *Microchim. Acta.*, **71**, 81-86.
- [119] RYU, Wang-Kyun; Hee-Woong, KIM; Geun-Dong, KIM a Hae-Ik, RHEE, 2017. Rapid determination of capsaicinoids by colorimetric method. *Journal of Food and Drug Analysis*. **25**(4), 798-803. ISSN 10219498.
- [120] RAMOS PALACIO, José, Jorge, 1979. Further study of the spectroscopic determination of capsaicin. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*. **62**, 1168-1170. ISSN 1944-7922.
- [121] BAJAJ, L., Krishan, 1980. Colorimetric determination of capsaicin in capsicum fruits. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*. **63**, 1314-1316. ISSN 1944-7922.
- [122] MANDAI, Shintaro; Poonam, SUNEJA a Denksi, K., HORE, 1998. Colorimetric method for estimation of capsaicin in chilli fruits. *Indian Journal of Plant Genetic Resources*. **11**(02), 213-218. ISSN 0971-8184.
- [123] SPANYÁR, Paul a Márta, BLAZOVICH, 1969. A thin-layer chromatographic method for the determination of capsaicin in ground paprika. *The Analyst*. **94**(1125), 1084-1089. ISSN 0003-2654.
- [124] LI, Junkui, Min ZUO, Wen ZHANG, Xiaobo ZOU a Zongbao SUN, 2022. Diazo Coupling-Based Ultrasensitive SERS Detection of Capsaicin and Its Application in Identifying Gutter Oil. *Food Analytical Methods*. **15**(12), 3468-3478. ISSN 1936-9751.
- [125] PITSCHMANN, Vladimír a Zdeněk, HON, 2023. Drugs as Chemical Weapons: Past and Perspectives. *Toxics*. **11**(1). ISSN 2305-6304.
- [126] PEARSON, Alan; Marie, CHEVRIER a Mark, WHEELIS, 2007. Incapacitating Biochemical Weapons: Promise or Peril? Lanham: Lexington Books. ISBN 978-0739114391.
- [127] BALALI-MOOD, Mahdi; Mohammad, MOSHIRI a Leila, ETEMAD, 2014. Nonlethal Weapons. *Encyclopedia of Toxicology*. Elsevier. 603-608. ISBN 9780123864550.

- [128] WEXLER, Philip, 2014. *Encyclopedia of Toxicology, Four Volume Set*. Academic Press. ISBN: 9780127453545.
- [129] VAN BEVER, F., M., Willem; Carlos, J., E., NIEMEGEREERS a Paul, A., J., JANSSEN, 1974. Synthetic analgesics. Synthesis and pharmacology of the diastereoisomers of N-[3-methyl-1-(2-phenylethyl)-4-piperidyl]-N-phenylpropanamide and N-[3-methyl-1-(1-methyl-2-phenylethyl)-4-piperidyl]-N-phenylpropanamide. *Journal of Medicinal Chemistry*. **17**(10), 1047-1051. ISSN 0022-2623.
- [130] PASTERNAK, Gavril a Ying-Xian, PAN, 2011. Mu opioid receptors in pain management. *Acta Anaesthesiologica Taiwanica*. **49**(1), 21-25. ISSN 18754597.
- [131] WILDE, Maurice; Simona, PICHINI; Roberta, PACIFICI; Adriano, TAGLIABRACCI; Francesco, Paolo, BUSARDÒ; Volker, AUWÄRTER a Renata, SOLIMINI, 2019. Metabolic Pathways and Potencies of New Fentanyl Analogs. *Frontiers in Pharmacology*. **10**. ISSN 1663-9812.
- [132] KOZÁK, Jiří; Jan, LEJČKO a Ivan, VRBA, [2021]. *Opioidy*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Maxdorf. Jessenius. ISBN 978-80-7345-664-1.
- [133] NEMEŠKALOVÁ, Alžběta a Martin, KUCHAR, 2016. Přírodní a syntetické opiáty. *Drugs & Forensics Bulletin Národní protidrogové centrály SKPV PČR*. **22**(4), 11-17. ISSN 1211-8834.
- [134] DEA Issues Carfentanil Warning To Police And Public, 2016. US Drug Enforcement Administration. <https://www.dea.gov/divisions/hq/2016/hq092216.shtml> (accessed Sept. 20, 2020).
- [135] HESS, Ladislav, 2018. Carfentanil – nejsilnější známý opioid. *Drugs & Forensics Bulletin Národní protidrogové centrály SKPV PČR*. **24**(2), 7-13. ISSN 1211-8834.
- [136] WORSLEY, H. Michael; David, A., MACLEOD; M., J., BRODIE; A., J., ASBURY a C., CLARK, 1990. Inhaled fentanyl as a method of analgesia. *Anaesthesia*. **45**(6), 449-451. ISSN 0003-2409.
- [137] MACLEOD, B., David; Ashraf, S., HABIB; Keita, IKEDA; Daniel, A., SPYKER; James, V., CASSELLA; Kok, Yuen, HO a Tong, J., GAN, 2012. *Inhaled Fentanyl Aerosol in Healthy Volunteers*. **115**(5), 1071-1077. ISSN 0003-2999.
- [138] Global Terrorism Database, 2022. <https://www.start.umd.edu/gtd/search/Results.aspx?page=6&search=subway&expanded=no&charttype=line&chart=overtime&ob=GTDID&od=desc#results-table> (accessed Jan. 20, 2023).
- [139] SHVETSOV, V., Alexey a Svetlana, V., SHVETSOVA, 2017. Research of a Problem of Terrorist Attacks in the Metro (Subway, U-Bahn, Underground, MRT, Rapid Transit, Metrorail). *European Journal for Security Research*. **2**(2), 131-145. ISSN 2365-0931.
- [140] PELEG, Kobi, Limor AHARONSON-DANIEL, Michael STEIN, Moshe MICHAELSON, Yoram KLUGER, Daniel SIMON a Eric K., NOJI, 2004. Gunshot and Explosion Injuries. *Annals of Surgery*. **239**(3), 311-318. ISSN 0003-4932.
- [141] ZUCKERMAN, Solly, 1940. Experimental Study of Blast Injuries to the Lungs. *The Lancet*. **236**(6104), 219-224. ISSN 01406736.
- [142] WIGHTMAN, M., John a Sheri, L., GLADISH, 2001. Explosions and blast injuries. *Annals of Emergency Medicine*. **37**(6), 664-678. ISSN 01960644.

- [143] O'BRIEN, J., Daniel; Donald, W., WALSH; Colleen, M., TERRIFF a Alan, H., HALL, 2011. Empiric Management of Cyanide Toxicity Associated with Smoke Inhalation. *Prehospital and Disaster Medicine*. **26**(5), 374-382. ISSN 1049-023X.
- [144] ANSEEUW, Kurt; Nicolas, DELVAU; Guillermo, BURILLO-PUTZE; Fabio, DE IACO; Götz, GELDNER; Peter, HOLMSTRÖM; Yves, LAMBERT a Marc, SABBE, 2013. Cyanide poisoning by fire smoke inhalation. *European Journal of Emergency Medicine*. **20**(1), 2-9. ISSN 0969-9546.
- [145] The Canadian Press, 2012. Smoke bombs cripple Montreal subway system. <https://www.cp24.com/smoke-bombs-cripple-montreal-subway-system-1.808316> (accessed Mar 20, 2021).
- [146] EICHLER, Jan a Tomáš, KRATINA, 2023. Současná bezpečnostní situace ve Francii v souvislosti s terorismem a drogovou trestnou činností. *Drugs & Forensics Bulletin NPC*. **29**(4) 17-24. ISSN 1211-8834.
- [147] LIN, Ying; Jiefang, SUN; Mei, TANG, et al., 2021. Synergistic Recognition-Triggered Charge Transfer Enables Rapid Visual Colorimetric Detection of Fentanyl. *Analytical Chemistry*. 2021-04-27, **93**(16), 6544-6550. ISSN 0003-2700.
- [148] LEONARD, Jennifer; Abed, HADDAD; Omar, GREEN; Ronald, L., BIRKE; Thomas, KUBIC; Ali, KOCAK a John, R., LOMBARDI, 2017. SERS, Raman, and DFT analyses of fentanyl and carfentanil: Toward detection of trace samples. *Journal of Raman Spectroscopy*. **48**(10), 1323-1329. ISSN 0377-0486.
- [149] LEARY, E. Pauline; Koby, L., KIZZIRE; Rebecca, CHAN CHAO; Michael, NIEDZIEJKO; Noah, MARTINEAU a Brooke, W., KAMMRATH, 2023. Evaluation of portable gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) for the analysis of fentanyl, fentanyl analogs, and other synthetic opioids. *Journal of Forensic Sciences*. **68**(5), 1601-1614. ISSN 0022-1198.
- [150] RAB, Edmund; Robert, J., FLANAGAN a Simon, HUDSON, 2019. Detection of fentanyl and fentanyl analogues in biological samples using liquid chromatography–high resolution mass spectrometry. *Forensic Science International*. **300**, 13-18. ISSN 03790738.
- [151] NOBLE, Carolina; Petur, WEIHE DALSGAARD; Sys, STYBE JOHANSEN a Kristian, LINNET, 2018. Application of a screening method for fentanyl and its analogues using UHPLC-QTOF-MS with data-independent acquisition (DIA) in MS E mode and retrospective analysis of authentic forensic blood samples. *Drug Testing and Analysis*. **10**(4), 651-662. ISSN 1942-7603.
- [152] SOFALVI, Szabolcs; Harold, E., SCHUELER; Eric, S., LAVINS, et al., 2017. An LC–MS-MS Method for the Analysis of Carfentanil, 3-Methylfentanyl, 2-Furanyl Fentanyl, Acetyl Fentanyl, Fentanyl and Norfentanyl in Postmortem and Impaired-Driving Cases. *Journal of Analytical Toxicology*. **41**(6), 473-483. ISSN 0146-4760.
- [153] RAPPERT, Brian, 2002. *Assessing Chemical Incapacitant Sprays*. **4**(2), 115-126. ISSN 1461-3557.
- [154] HUNDHAMMER, Tobias; Regina, LINDNER, Leopold; CACCIA, Hannes; LANGBEHN, Walter, PETERMICHL; Michael, DITTMAR a Michael, GRUBER, 2023. Management of decontamination in chemical accidents: a laboratory model. *Scientific Reports*. **13**(1). ISSN 2045-2322.
- [155] OUDEJANS, Lukas; David, SEE; Carissa, DODDS; Melany, CORLEW a Matthew, MAGNUSON, 2021. Decontamination options for indoor surfaces contaminated with realistic fentanyl preparations. *Journal of Environmental Management*. **297**. ISSN 03014797.

- [156] QI, Lihong; Zhenxing, CHENG; Guomin, ZUO; Shanmao, LI; a Qiping, FAN, 2011. Oxidative Degradation of Fentanyl in Aqueous Solutions of Peroxides and Hypochlorites. *Defence Science Journal*. **61**(1), 30-35. ISSN 0011748X.
- [157] LAMBROPOULOS, John; George, A., SPANOS; Nick, V., LAZARIDIS; Thomas, S., INGALLINERA a Vonda, K., RODRIGUEZ, 1999. Development and validation of an HPLC assay for fentanyl and related substances in fentanyl citrate injection, USP. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. **20**(4), 705-716. ISSN 07317085.
- [158] HOFFMANN, Tomáš, 2017. Možnosti ochrany příslušníků Hasičského záchranného sboru ČR – vyšetřovatelů požárů před nebezpečnými látkami vznikajícími při požáru. Kladno, květen 2017, 98 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze – Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce: plk. Mgr. Radek Kislinger.
- [159] GANESAN, Kumar; Sehar, K., RAZA a Rajagopalan, VIJAYARAGHAVAN, 2010. Chemical warfare agents. *Journal of Pharmacy And Bioallied Sciences*. **2**(3). ISSN 0975-7406.
- [160] DIMITROGLOU, Yiannis; George, RACHOTIS a Christos, HADJICHRISTODOULOU, 2015. Exposure to the Riot Control Agent CS and Potential Health Effects: A Systematic Review of the Evidence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. **12**(2), 1397-1411. ISSN 1660-4601.
- [161] RUSSELL, David, 2006. Clinical management of casualties exposed to lung damaging agents: a critical review. *Emergency Medicine Journal*. 2006-06-01, **23**(6), 421-424. ISSN 1472-0205.
- [162] SALEM, Harry; Bryan, BALLANTYNE a Sidney A., KATZ, 2005. Riot Control Agents. *Encyclopedia of Toxicology*. Elsevier, 706-723. ISBN 9780123694003.
- [163] LYNCH, Michael J.; Joe, SUYAMA a Francis, X., GUYETTE, 2018. Scene Safety and Force Protection in the Era of Ultra-Potent Opioids. *Prehospital Emergency Care*. **22**(2), 157-162. ISSN 1090-3127.
- [164] BOYER, Edward, W., 2012. Management of Opioid Analgesic Overdose. *New England Journal of Medicine*. **367**(2), 146-155. ISSN 0028-4793.
- [165] KHARASCH, Evan D., 2015. Opioid Half-lives and Hemlines. *Anesthesiology*. **122**(5), 969-970. ISSN 0003-3022.
- [166] RZASA LYNN, Rachael a Jeffrey, L., GALINKIN, 2018. Naloxone dosage for opioid reversal: current evidence and clinical implications. *Therapeutic Advances in Drug Safety*. **9**(1), 63-88. ISSN 2042-0986.
- [167] Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2024. I. P. Pavlova. <https://www.dpp.cz/cestovani/bezbarierove-cestovani/metro/trasa-c/i-p-pavlova> (accessed Jan. 10, 2024).
- [168] KLOUDA, Karel; Hana, KUBÁTOVÁ; Jiří, CEJPEK; Markéta, WEISHEITLOVÁ a Věra, WITKOWSKÁ, 2012. Možné ohrožení členů ZZS sekundární kontaminací a doporučení k jejímu snížení. *Sborník přednášek XXI. ročníku mezinárodní konference – POŽÁRNÍ OCHRANA 2012*. ISBN 9788073851156.
- [169] KLOUDA, Karel; BRÁDKA, Stanislav a Jana, NEPLECHOVÁ, 2007. Informace o průběhu modelování šíření otravné látky ve stanici pražského metra. In: *Sborník přednášek XVI. Ročníku mezinárodní konference Požární ochrana 2007*. ISBN 978-80-7385-009-8.

- [170] KUBÁTOVÁ, Hana a Karel, KLOUDA, 2008. Lze očekávat hromadné chování cestujících při útoku toxickou látkou v prostoru metra? *Sborník přednášek z konference – OCHRANA OBYVATEL 2008*. ISBN 9788073850340
- [171] KLOUDA, Karel; Petr, ŠARBOCH; Kamil, PODZEMSKÝ a Jana, VEČERKOVÁ, 2011. Analýza možného ohrožení konkrétních podzemních staveb. *Sborník přednášek X. ročníku mezinárodní konference OCHRANA OBYVATELSTVA – DEKONTAM 2011*. ISBN 9788073850968.
- [172] CRAPNELL, D., Robert a Craig, E., BANKS, 2021. Electroanalytical overview: the pungency of chile and chilli products determined via the sensing of capsaicinoids. *The Analyst*. **146**(9), 2769-2783. ISSN 0003-2654.
- [173] CECCATO, Vania; Oded, CATS a Qian, WANG, 2015. The Geography of Pickpocketing at Bus Stops: An Analysis of Grid Cells. *Safety and Security in Transit Environments*. London: Palgrave Macmillan UK. 76-98. ISBN 978-1-349-57179-6.
- [174] SANTOS, Cynthia; Tharwat, EL ZAHARAN; Jessica, WEILAND, Mehruba, ANWAR a Joshua, SCHIER, 2019. Characterizing Chemical Terrorism Incidents Collected by the Global Terrorism Database, 1970-2015. *Prehospital and Disaster Medicine*. **34**(04), 385-392. ISSN 1049-023X.
- [175] SOSSAI, Mirko, 2010. Drugs as Weapons: Disarmament Treaties Facing the Advances in Biochemistry and Non-Lethal Weapons Technology. *Journal of Conflict and Security Law*. **15**(1), 5-24. ISSN 1467-7954.
- [176] COUPLAND, M., Robin, 1997. "Non-lethal" weapons: precipitating a new arms race. *BMJ*. **315**(7100), 72-72. ISSN 0959-8138.
- [177] MACDONALD, M., John; Robert, J., KAMINSKI a Michael, R., SMITH, 2009. The Effect of Less-Lethal Weapons on Injuries in Police Use-of-Force Events. *American Journal of Public Health*. **99**(12), 2268-2274. ISSN 0090-0036.
- [178] SHEPPARD, G., Keller a Brandon C., WELSH, 2022. Can police use of less-than-lethal weapons reduce harm during violent police-citizen encounters? A systematic review and directions for future research. *Aggression and Violent Behavior*. **64**. ISSN 13591789.
- [179] THOMPSON, P., Joshua a Dennis, F., THOMPSON, 2016. Nebulized Fentanyl in Acute Pain. *Annals of Pharmacotherapy*. **50**(10), 882-891. ISSN 1060-0280.
- [180] MATHER, E. Laurence; Annie, M., WOODHOUSE; Elizabeth, WARD; Stephen, J., FARR; Reid, A., RUBSAMEN a Lorne, G., ELTHERINGTON, 1998. Pulmonary administration of aerosolised fentanyl: pharmacokinetic analysis of systemic delivery. *British Journal of Clinical Pharmacology*. **46**(1), 37-43. ISSN 0306-5251.
- [181] TIN, Derrick; Zachary, KALLENBORN; Alexander, HART, Attila, J., HERTELENDY a Gregory, R., CIOTTONE, 2021. Opioid Attack and the Implications for Counter-Terrorism Medicine. *Prehospital and Disaster Medicine*. **36**(6), 661-663. ISSN 1049-023X.
- [182] KRATINA, Tomáš. Úmrtí spojená s novými psychoaktivními substancemi. In: *Ochrana obyvatelstva v případech krizových situací a mimořádných událostí nevojenského charakteru VII*. Kladno: ČVUT, Fakulta biomedicínského inženýrství, 2019. p. 111-130. ISBN 978-80-01-06651-5.
- [183] FRYDRYCH, Jakub, 2021. Výroční zpráva Národní protidrogové centrály SKPV PČR 2021. <https://www.policie.cz/clanek/vyrocní-zpráva-npc-2021.aspx> (accessed Aug. 10, 2023).

- [184] CAVES, P., James, 2019. Fentanyl as a Chemical Weapon. Center for the Study of Weapons of Mass Destruction
<https://wmdcenter.ndu.edu/Portals/97/CSWMD%20Proceedings%20Dec%202019.pdf> (accessed Aug. 10, 2023).
- [185] KRATINA, Tomáš a Vladimír, PITSCHMANN, 2021. Dostupnost fentanylu pro zločinné účely na Darknet markets. *Nové přístupy k obraně státu 15. ročník doktorandské konference*. 108-120. Univerzita obrany v Brně. ISBN 978-80-7582-104-1
- [186] KALIVODA, Ondřej, 2023. Drogy v poštovních zásilkách. *Drugs & Forensics Bulletin Národní protidrogové centrály SKPV PČR*. **29**(1), 4-13. ISSN 1211-8834.
- [187] Metro Istanbul, 2022. Ridership record from Metro Istanbul!
<https://www.metro.istanbul/en/news/detail/ridership-record-from-metro-istanbul-1504> (accessed Dec. 22, 2023).
- [188] Metro de Madrid, 2021. The number of passengers using the Metro on a daily basis is 1,458,853, which is 61.2 % of the number before the onset of Covid-19. <https://www.metromadrid.es/en/news/the-number-of-passengers-using-the-metro-on-a-daily-basis-is-1-458-853-which-is-61-2-of-the-number-before-the-onset-of-covid-19> (accessed Dec. 22, 2023).
- [189] Prague City Line, 2021. Poznej Prahu sám – Městská hromadná doprava v Praze.
<http://www.praguecityline.cz/doprava-v-praze/mestska-hromadna-doprava-v-praze> (accessed Dec. 22, 2023).
- [190] Statista.com, 2023. Average daily number of passengers carried via major subway systems in Japan from fiscal year 2013 to 2021. <https://www.statista.com/statistics/1315276/japan-major-subways-passenger-number-average-daily/> (accessed Dec. 22, 2023).
- [191] Metropolitan Transportation Authority, 2021. Subway and bus ridership for 2021. <https://new.mta.info/agency/new-york-city-transit/subway-bus-ridership-2021> (accessed Dec. 22, 2023).
- [192] JEON, Gyuyeob a Wonhwa, HONG, 2018. Characteristic Features of the Behavior and Perception of Evacuees from the Daegu Subway Fire and Safety Measures in an Underground Fire. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. **8**(2), 415-422. ISSN 1347-2852.
- [193] LIANG, Chunyang; Chenghao, YANG; Jianping, YOU, Gui, FU; a Wei, JIANG, 2017. Behavior and Psychology of Daegu Subway Fire Accident in Korea. *Proceedings of the 2017 International Conference on Management Science and Management Innovation (MSMI 2017)*. Paris, France: Atlantis Press. ISBN 978-94-6252-369-2.
- [194] LIN, Xiaofei; Shouxin, SONG; Huaiyuan, ZHAI; Pengwei, YUAN a Mingli, CHEN, 2020. Using catastrophe theory to analyze subway fire accidents. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. **11**(1), 223-235. ISSN 0975-6809.
- [195] LEE, Myungsung a Nahmekeon, HUR, 2012. A DETAILED CFD SIMULATION OF THE 2003 DAEGU METRO STATION FIRE. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*. **20**(03), 12-23. ISSN 2010-1325.
- [196] CHENG, Lianhua a Yuhang, GAO, 2019. Evaluation Model of Emergency Evacuation Capacity of Subway Station Based on Grounded Theory. *World Journal of Engineering and Technology*. **7**(2), 27-37. ISSN 2331-4222.

11 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma vazby mezi hrozbou a rizikem, dělení rizika

Obrázek 2 Vyznačení rozdílu v chemické struktuře mezi a) kapsaicinem; b) PAVA

Obrázek 3 Konstrukce detekčních trubiček

Obrázek 4 Grafické znázornění teroristických útoků v podzemních drahách v období 1990–2020

Obrázek 5 Počet teroristických útoků spáchaných v podzemních drahách v období 1990–2020 v jednotlivých státech

Obrázek 6 Slepá mapa, na které jsou červenými body vyznačeny státy, kde byly provedeny teroristické útoky v podzemních drahách v období 1990–2020

Obrázek 7 Lehká varianta ochranného obleku

Obrázek 8 Varianta účinnějšího plastového obleku s uzavřeným přívodem vzduchu

Obrázek 9 Příklady typů nástupišť v pražském metru

Obrázek 10 Ukázka prvků členitosti terénu omezující proudění vzduchu i průchodnost

Obrázek 11 Ukázka vestavěných nemovitých objektů snižující objem vzduchu a omezující orientaci

Obrázek 12 Označení protichůdných směrů proudění vzduchu uvnitř nástupiště

Obrázek 13 Příklad zcela omezeného prostoru v pražském metru

Obrázek 14 Snížení průchodnosti na nástupišťích

Obrázek 15 a) Příklad razantního snížení průchodnosti na přestupní stanici Muzeum

Obrázek 16 Nedostatečné zajištění prostoru se zákazem vstupu do kritických prostor nástupiště

Obrázek 17 Příklad obtížného rozvinutí složek IZS u stanice metra I. P. Pavlova

Obrázek 18 Příklad kombinovaného příchodu/odchodu z nástupiště

Obrázek 19 Příklad pohyblivé bariéry umístěné na zastávce Anděl

Obrázek 20 Příklady výduchů umístěných přímo do městské zástavby

Obrázek 21 Reakční schéma rozkladu látky CS a reakce vzniklého malononitrilu s isatinem

Obrázek 22 Závislost rozpustnosti octanu amonného na vzájemném poměru DMSO:DMF

Obrázek 23 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy detektoru na koncentraci isatinu a poměrů DMSO/DMF

Obrázek 24 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy (ΔE) na koncentraci látky CS

Obrázek 25 Intenzita zabarvení indikační vrstvy s 0,25% isatinem v závislosti na množství látky CS

Obrázek 26 Intenzita zabarvení indikační vrstvy s 0,5% isatinem v závislosti na množství látky CS

Obrázek 27 Odezva indikační vrstvy s isatinem na látky BZ, CN, CR, OC, PAVA a CS

Obrázek 28 Barevné změny na celulosovém filtračním papíru s isatinem v závislosti na dávce látky CS

Obrázek 29 Závislost zabarvení roztoku s obsahem 0,5 % isatinu v nasyceném roztoku octanu amonného ve směsi DMSO/DMF (v poměru 8:2) na přidavku látky

Obrázek 30 Absorbanční křivky reakčního produktu isatinu v závislosti na koncentraci látky CS

Obrázek 31 Demonstrace vyjádření barev na stupnici HUE se detekčními trubicemi

Obrázek 32 Vyjádření barevné změny indikační vrstvy detekčních trubic při experimentu s látkou CS v systému isatin, DMSO/DMF, octan amonný

Obrázek 33 Reakční schéma rozkladu látky CS a reakce vzniklého malononitrilu s ninhydrinem

Obrázek 34 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s 1% ninhydrinem

Obrázek 35 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s 0,5% ninhydrinem

Obrázek 36 Závislost barevné změny indikační vrstvy na koncentraci ninhydrinu v optimálním prostředí octanu amonného a DMSO/DMF

Obrázek 37 Zabarvení indikační vrstvy s ninhydrinem 5 mg/g v závislosti na množství CS

Obrázek 38 Tepelná stabilita analytického systému s isatinem a ninhydrinem při teplotě 60 °C ve sledovaném období 28 dnů

Obrázek 39 Tepelná stabilita analytického systému s isatinem a ninhydrinem ve vztahu k odezvě na látku CS při teplotě 60 °C ve sledovaném období 28 dnů

Obrázek 40 Barevné změny na celulosovém filtračním papíru s ninhydrinem

Obrázek 41 Reakční schéma redukce železitých iontů na železnaté ionty a jejich reakce s červenou krevní solí za vzniku Turnbullovy modři

Obrázek 42 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy impregnované 0,1% roztokem chloridu železitého

Obrázek 43 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy impregnované 0,25% roztokem chloridu železitého

Obrázek 44 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy impregnované 0,5% roztokem chloridu železitého

Obrázek 45 Změna zabarvení indikační vrstvy impregnované 0,5% roztokem chloridu železitého a s použitím 0,25% roztoku červené krevní soli v závislosti na množství PAVA

Obrázek 46 Barevné změny indikační vrstvy s použitím metody na Turnbullovu modř účinkem některých vybraných látek

Obrázek 47 Změna zabarvení indikační vrstvy účinkem 100 µg PAVA po tepelném namáhání při teplotě 50 °C po dobu 28 dnů

Obrázek 48 Schéma reakce PAVA s Folin-Ciocalteu činidlem

Obrázek 49 Dynamická závislost intenzity zabarvení systému s Folin-Ciocalteu činidlem

Obrázek 50 Dynamická závislost intenzity zabarvení systému s Folin-Ciocalteu činidlem a 5% uhličitanem sodným

Obrázek 51 Závislost zabarvení indikační vrstvy (5 % Na₂CO₃, aplikace Folin-Ciocalteu činidla) na množství PAVA

Obrázek 52 Zabarvení indikační vrstvy účinkem vybraných látek

Obrázek 53 Funkčnost detektorů a odezva na 100 µg PAVA po tepelném namáhání při teplotě 50 °C po dobu 28 dnů

Obrázek 54 Schéma reakce Marquisova činidla s PAVA

Obrázek 55 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s Marquisovým činidlem na množství PAVA

Obrázek 56 Intenzita zabarvení indikační vrstvy s Marquisovým činidlem v závislosti na množství PAVA

Obrázek 57 Výsledek zatížení Marquisova činidla PAVA rušivými vlivy

Obrázek 58 Odezva indikační vrstvy na 100 µg PAVA po tepelném namáhání při teplotě 50 °C po dobu 28 dnů

Obrázek 59 Schéma reakce PAVA s Gibbsovým činidlem

Obrázek 60 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy na koncentraci impregnačního roztoku s Gibbsovým činidlem

Obrázek 61 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s Gibbsovým činidlem (0,025% impregnační roztok)

Obrázek 62 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s Gibbsovým činidlem (0,05% impregnační roztok)

Obrázek 63 Intenzita zabarvení indikační vrstvy (0,05% Gibbsovo činidlo, 1% uhličitan sodný) v závislosti na množství PAVA

Obrázek 64 Odezva indikační vrstvy s Gibbsovým činidlem na vybrané rušivé látky

Obrázek 65 Odezva indikační vrstvy na 100 µg PAVA po tepelném namáhání při teplotě 50 °C po dobu 28 dnů

Obrázek 66 Vzorčky použitých paprik a extraktů

Obrázek 67 Barevná odezva indikační vrstvy s Gibbsovým činidlem

Obrázek 68 Schéma diazotačně-kopulační reakce

Obrázek 69 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy na koncentraci impregnačního roztoku dapsonu

Obrázek 70 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s 0,25% roztokem dapsonu na množství látky PAVA

Obrázek 71 Dynamická závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy s 0,5% roztokem dapsonu na množství látky PAVA

Obrázek 72 Závislost intenzity zabarvení indikační vrstvy (0,5% dapson, 1% dusitan sodný, 0,05M kyselina chlorovodíková, 5% uhličitan sodný) na množství PAVA

Obrázek 73 Barevná odezva indikační vrstvy na přítomnost vybraných rušivých látek

Obrázek 74 Odezva indikační vrstvy na 100 µg PAVA po tepelném namáhání při teplotě 50 °C po dobu 28 dnů

Obrázek 75 Zabarvení indikační vrstvy detektorů po expozici PAVA ve vzduchu

12 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 Přehled členění BCHL s jejich hlavními zástupci

Tabulka 2 Biologická odezva expozici látky CS v závislosti na koncentraci a času

Tabulka 3 Dráždivost izolovaných fytochemických složek vyjádřená v jednotkách Scoville Heat Unit

Tabulka 4 Vazba frekventovaných opioidů na opioidní receptory

Tabulka 5 Impregnace trubičkových detektorů a reakční prostředí jednotlivých variant

Tabulka 6 Specifikace teroristických útoků spáchaných v podzemních drahách v období 1990–2020

Tabulka 7 a) Vyhodnocení sledovaných prvků dokumentů mezinárodní povahy

Tabulka 7 b) Vyhodnocení sledovaných prvků právních dokumentů národního charakteru právní i plánovací povahy

Tabulka 8 Orientační hodnoty SHU použitých paprik

Tabulka 9 Porovnání vybraných parametrů detekčních trubiček

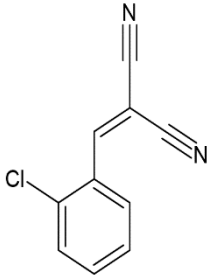
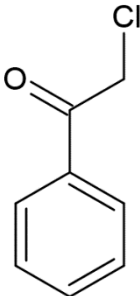
13 SEZNAM PŘÍLOH

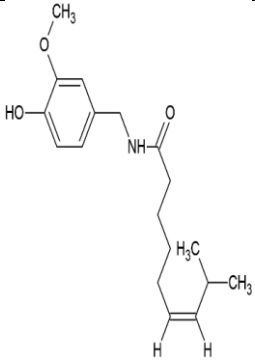
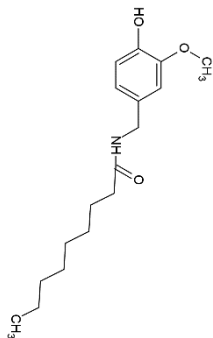
Příloha 1 Fyzikálně-chemická charakteristika a vybrané toxické účinky látek CS, CN, OC, PAVA a některých analog fentanylu

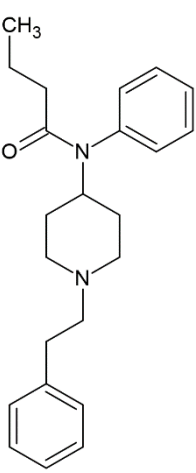
Příloha 2 Analgetický potenciál frekventovaných derivátů vůči fentanylu (násobky)

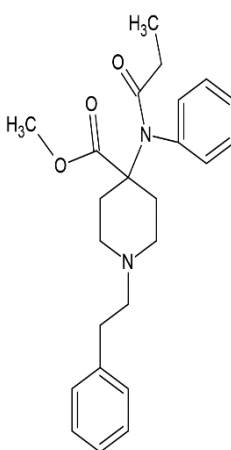
Příloha 3 Frekventované fentanyly a jejich známé metabolity

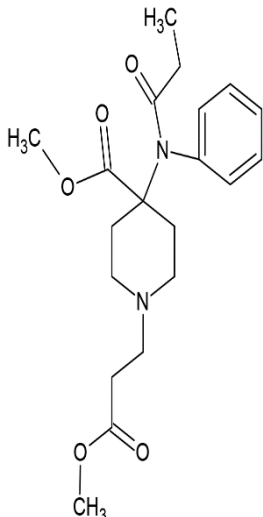
Příloha 1: Fyzikálně-chemická charakteristika a vybrané toxické účinky látek CS, CN, OC, PAVA a některých analog fentanylu (zdroj: zpracováno autorem, chemické struktury zpracovány autorem v Chemscketch) [125, 132, 133].

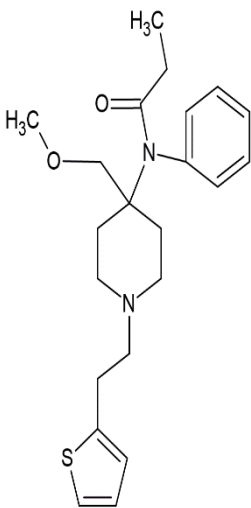
Název	Sumární ch. vzorec	Mol. hmotnost	Rozpustnost	Vzhled/zápach	Letální koncentrace	Symptomy expozice
Látka CS	<chem>C10H5ClN2</chem> 	188.61	Aceton, methylenchlorid, ethylacetát, benzen, ethanol, málo rozpustná ve vodě	Bílá pevná krystalická látka s dráždivým zápachem po pepři	52 000 – 61 000 mg.min/m ³	podráždění očí, zánět spojivek, nadměrné slzení, blefarospasmus, pálení v nose a krku, bolest jazyka pocit tlaku na hrudi, kýchání a záchvaty kašle, zúžení průdušek, pocit pálení nebo bodání na odhalené kůži a možné podráždění kůže.
Látka CN	<chem>C8H7ClO</chem> 	154.59	Rozpustná v ethanolu, ethyléteru, benzenu, acetonu, chloroformu. Téměř nerozpustná ve vodě, glycerinu, propylenglykolu	Bezbarvá až nažedivělá pevná krystalická látka s ostrým dráždivým zápachem	8 500 – 25 000 mg.min/m ³	Podráždění dýchacího ústrojí, kašel, kýchání, svírání na hrudi, křeč hlasivek způsobující potíže s dýcháním, dušnost a pocit dušení, pálení a bolest nosu a úst, sípání, slinění, kovová pachut' na jazyku, nauzea až zvracení, tachykardie, hypertenze
Název	Sumární ch. vzorec	Mol. hmotnost	Rozpustnost	Vzhled/zápach	Letální koncentrace	Symptomy expozice
OC	<chem>C18H27NO3</chem>	305.4	Nerozpustný ve studené vodě. Dobře rozpustný v ethanolu, éteru, benzenu. Slabě rozpustný v kyselině	Tmavě červená pevná látka se štiplavým zápachem	Letální koncentrace aerosolu ve vzduchu není známa. LD50 orálně považována	silně dráždí a způsobuje pálení nebo bodavou bolest na kůži. Požití většího množství může

			chloro- vodíkové.		0,5 – 5 g/kg	způsobit nevolnost, zvracení, bolesti břicha a pálivý průjem. Expozice očí vyvolává intenzivní slzení, bolest, zánět spojivek a blefaro- spasmus.
PAVA	 <chem>C17H27NO3</chem>	293.4	Slabě rozpustný ve vodě. Rozpustný v ethanolu, methanolu, DMSO	Bílá až nažloutlá krystalická nebo práškovitá látka se štiplavým zápachem	Letální koncentrace aerosolu ve vzduchu není známa. Nonivamid má zřejmě nízkou akutní toxicitu. LCt50 myš 413mg/m ³	Podráždění očí, dýchacího ústrojí a kůže. Může se objevit alergická reakce připomínající astmatický záchvat, namáhavé dýchání, pocit pálení v místech kontaktu s tkání

Název	Sumární vzorec	ch.	Mol. hmotnost	Rozpustnost	Vzhled/zápach	Letální koncentrace	Symptomy expozice
Fentanyl	 <chem>C22H28N2O</chem>		336.5	Rozpustný v methanolu a ve vodě, slabě rozpustný v chloroformu Syntetické opioidy mají různou rozpustnost ve vodě a alkoholech, která je specifická pro analoga a formu soli.	Bílá krystalická látka bez zápachu	LCt není známa. Letální dávka je odhadována na 2 mg	respirační deprese, mióza, somnolence, stupor, kóma, ochablost kosterního svalstva, chladná a lepkavá kůže, plicní edém, bradykardie, hypotenze, obstrukce dýchacích cest, atypické chrápání a smrt.

Carfentanil	$C_{24}H_{30}N_2O_3$ 	394.5	Rozpustný ve vodě, chloroformu, dichlormethanu, ethylacetátu	Bílá krystalická látka bez zápachu	LCt není známa. Těžká respirační deprese nastává již při dávce 0,7 – 1,4 ug/kg intramuskulárně. Výrazná sedace nazálně 0,25 ug/kg	Viz výše jako fentanyl
-------------	--	-------	--	------------------------------------	---	------------------------

Název	Sumární ch. vzorec	Mol. hmotnost	Rozpustnost	Vzhled/zápach	Letální koncentrace	Symptomy expozice
Remifentanyl	$C_{20}H_{28}N_2O_5$ 	376.4	Rozpustný ve vodě, methanolu, ethylacetátu	Bílý až nažedivělý prášek bez zápachu	Není známa	Viz výše jako fentanyl
Sufentanil	$C_{22}H_{30}N_2O_2S$	386.6	Rozpustný ve vodě, ethanolu	Bílá krystalická látka bez zápachu	Není známa	Viz výše jako fentanyl

						
--	---	--	--	--	--	--

Příloha 2: Analgetický potenciál frekventovaných derivátů vůči fentanylu (zdroj: zpracováno autorem) [131,132].

Název analogu fentanylu	Přibližný analgetický potenciál derivátů fentanylu vůči fentanylu v násobcích
Alfentanil	0,3
Remifentanil	1
Carfentanil	100
Sufentanil	10
α -Methylfentanil	1
Ocfentanil	2,5
cis(+) α -methylfentanil	22
Butyrfentanil	0,1
Furanylfentanil	7

Příloha 3: Frekventované fentanyly a jejich známé metabolity (zdroj: zpracováno autorem) [131,132].

Název analogu fentanylu	Název příslušného metabolitu
Fentanil	norfentanil; 4'-hydroxyfentanil; hydroxypropionyl-fentanil; hydroxypropionyl-norfentanil
Sufentanil	norsufentanil; <i>N</i> -fenylpropanamid; demethylsufentanil; hydroxy metabolity
Carfentanil	norcarfentanil; alkyl/aryl hydroxy metabolity, carfentanil kyselina; keto-carfentanil
Remifentanil	remifentanil kyselina
Alfentanil	noralfentanil
α -Methylfentanil (China white)	norfentanil; despropionyl- α -methylfentanil; alkyl/aryl hydroxy metabolity
Ocfentanil	demethylocfentanil; alkyl/aryl hydroxy metabolity
Furanylfentanil	4-Anilino- <i>N</i> -fenethylpiperidin; norfuranylfentanil; alkyl/aryl hydroxy metabolity
Butyrfentanil	norbutyrfentanil; carboxybutyrfentanil; 4-Anilino- <i>N</i> -fenethylpiperidin; 4'-hydroxy-3'-methoxy-butyrfentanil