

VHODNOST POUŽITÍ SIMULANTŮ SÍROVÉHO YPERITU PRO TESTOVÁNÍ IZOLAČNÍCH FÓLIÍ PROSTŘEDKŮ INDIVIDUÁLNÍ OCHRANY

THE ELIGIBILITY OF MUSTARD GAS SIMULANTS EMPLOYMENT FOR TESTING INDIVIDUAL PROTECTIVE EQUIPMENT INSULATING FOLIO

Stanislav FLORUS, Pavel OTRŽÍSAL
stanislav.florus@unob.cz

Abstract

Testing of constructional materials against chemical warfare agents is a used practice within individual protective equipment in a scope of the Czech Armed Forces Chemical Corps and Fire Rescue System. High toxicity of chemical warfare agents, necessity of protective garments employment, special regime of work in laboratories and finally even necessity to fulfill demands coming out from valid legislature leads to the fact that as test chemicals simulants are used. In the paper there are introduced results of measurements of resistivity with simulants that are used for testing constructional materials of individual protective equipment. As constructional materials were used such as materials that are used for construction of the body surface protective garments. Practical measurements of construction material resistance for 2-chloroethyl ethyl sulfide, methyl salicylate and 1,6-dichlorohexane thus substances that are recommended as simulants of the sulphur mustard, have shown that for these substances used construction materials have less chemical resistance than for sulfur mustard. The differences were so significant and from that reason listed substances are not possible to recommend as the simulants of the sulphur mustard to measure of the chemical resistance of individual protection equipment construction materials.

Key words

Sulfur mustard; 2-chloroethyl ethyl sulfide; methyl salicylate; 1,6-dichlorohexane; simulant, PIEZOTEST; chemical resistance; breakthrough time; constructional material.

ÚVOD

Důvěra v ochranné vlastnosti prostředků individuální ochrany je základním atributem při práci v kontaminovaném prostředí bez ohledu na skutečnost, jsou-li tyto prostředky používány specialisty Armády České republiky (AČR) nebo Hasičského záchranného sboru (HZS). Platí to dvojnásob při práci v prostředí kontaminovaném bojovými chemickými látkami. Vysoká toxicita bojových chemických látek, nutnost vytvořit odpovídající laboratorní podmínky pro práci s nimi, zabezpečení kvalitních ochranných prostředků k ochraně osob i splnění požadavků vyplývajících z platné legislativy vede k hledání vhodných náhradních látek – simulantů, které by byly schopny odstranit překážky související s laboratorním použitím reálných bojových chemických látek a přitom poskytovaly srovnatelné výsledky. Cílem použití simulantů je tedy odstranit problémy spojené s manipulací s vysoce toxickými látkami, umožnit testování pracovištím, které nemají povolení pro nakládání s bojovými chemickými a jinými vysoce toxickými látkami a současně experimentálně změřit ochranné vlastnosti konstrukčních materiálů a uzlů prostředků individuální ochrany. Jakkoliv se zdá být použití simulantů pro

testování konstrukčních materiálů a uzlů prostředků individuální ochrany výhodné, nemusí výsledky experimentů se simulanty odpovídat výsledkům testování s reálnou bojovou chemickou látkou.

K testování konstrukčních materiálů prostředků individuální ochrany je tradičně používána bojová chemická látka sírový yperit, bis(2-chlorethyl)sulfid; (CAS 505-60-2). Tato látka má poměrně jednoduchou chemickou strukturu, ze skupiny stálých bojových chemických látek je nejméně toxická, je relativně dostupná, má malý molární objem ve srovnání s ostatními stálými bojovými chemickými látkami a je dobře detekovatelná jednoduchými detekčními prostředky, které mohou být využity k detekci prošlé testovací chemikálie konstrukčními materiály.

Použití konkrétní náhradní látky závisí na účelu použití. Jako simulant sírového yperitu je používána celá řada látek, jako jsou (2-chlorethyl)ethylsulfid (CAS 693-07-2) [1–3], bis(2-chlorethyl)ether (CAS 111-44-4) [4, 5], 1,6-dichlorhexan (CAS 2163-00-0) [4, 6], bis(4-chlorbutyl)ether (CAS 6334-96-9) [4], *n*-oktan (CAS 111-65-9) [4], (2-chlorethyl)fenylsulfid (CAS 5535-49-9) [2, 3, 6–8], 1,5-dichlorpentan (CAS 628-76-2) [9], dibutylsulfid (CAS 628-76-2) [10, 11], ethyl(2-hydroxyethyl)sulfid (CAS 110-77-0) [10], methylsalicylát (CAS 119-36-8) [3, 12], ethylenglykol [4], směs thiodiglykolu (CAS 111-48-8) a kyseliny chlorovodíkové (CAS 7647-01-0) [13], diethyladipát (CAS 141-28-6) [3], diethylpimelát (CAS 2050-20-6) [3], dimethyladipát (CAS 627-93-0) [3], diethylmalonát (CAS 105-53-3) [3], (2-chlorethyl)ethylether (CAS 628-34-2) [14], bis(2-bromethyl)sulfid (CAS 7617-64-3) [14], thiodiglykol (CAS 111-48-8) [14], (2-chlorethyl)methylsulfid (CAS 542-81-4) [14]. Je zřejmé, že v porovnání se sírovým yperitem se často jedná o látky s velmi rozdílnou chemickou strukturou, odlišnými fyzikálními i chemickými vlastnostmi a rozdílnou toxicitou.

Ke zjišťování odolnosti konstrukčních materiálů prostředků individuální ochrany je jako náhradní látka pro sírový yperit uváděn 1,6-dichlorhexan [6, 14] a methylsalicylát [14, 15]. Lavoie [3] k výběru vhodných simulantů sírového yperitu použil počítačový program využívající chemometrické nástroje. Pomocí Tanimotova koeficientu podobnosti a Euklidovské vzdálenosti mezi chemickou látkou a simulantem ukázal, že ideálním simulantem je látka s podobnou chemickou strukturou. V případě sírového yperitu je jako nejvhodnější simulant pro obě testované hodnoty uváděn (2-chlorethyl)ethylsulfid, následován (2-chlorethyl)methylsulfidem. Methylsalicylát byl v obou případech vyhodnocen jako nejméně vhodná látka. Ačkoliv použitá metoda byla vyvinuta k výběru sloučenin schopných imitovat farmakologickou aktivitu syntetických nebo přírodních léčiv tím, že vychází ze souboru fyzikálně-chemických vlastností, jako je například molekulová hmotnost, index lomu, rozpustnost, dipólový moment, teplota tání, teplota varu, tlak nasycených par, disociační konstanta, spektrální charakteristiky atd., je možné uvedené závěry využít i pro látky využívané při testování konstrukčních materiálů ochranných prostředků povrchu těla a dýchacích orgánů.

Cílem práce bylo experimentálně změřit a srovnat výsledky testování chemické odolnosti, vyjádřených tzv. rezistenční dobou, u dvou typů izolačních ochranných materiálů užívaných ke konstrukci ochranných prostředků povrchu těla, kdy jeden materiál byl tvořen polyamidovou textilií opatřenou oboustranným zátěrem butylkaučukovou polymerní směsí a druhý představoval samonosnou fólii zhotovenou z polyetylen-vinylacetátu, pro vybrané simulanty, uvedené v tabulce 1, s chemickou odolností obou ochranných materiálů pro sírový yperit.

Tabulka 1
Vybrané fyzikální veličiny zkušebních chemikálií

Zkušební chemikálie	Molární hmotnost M , [g.mol ⁻¹]	Teplota tání t_t , [°C]	Teplota varu t_v , [°C]	Hustota ρ , [g.cm ⁻³]	Molární objem V_m , [cm ³ .mol ⁻¹]	Relativní permitivita ¹⁶ ϵ_r , (°C) [-]
bis(2-chlorethyl)sulfid	159,07	14	228	1,27	125,251	-
(2-chlorethyl)ethylsulfid	124,63	- 48,66	154,73	1,07	116,477	-
1,6-dichlorhexan	155,07	-13	116-117	1,07	144,925	8,60 (35 °C)
methylsalicylát	152,149	-8	220-224	1,184	128,504	8,80 (41,3°C)

Výsledky experimentálních měření zejména u polyamidové textilie s butylkaučukovým zátěrem mohou být přínosné pro testování v podmínkách AČR i HZS, protože tento typ tkaniny je používán pro konstrukci ochranných oděvů OPCH-05 a OPCH-90 PO.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Přístroje a zařízení

Vzorky konstrukčních materiálů byly vyseknuty pomocí výsečnicku (Marbach spol. s r. o., Brno, Česká republika) a hydraulického lisu (Polymertest, spol. s r. o., Zlín, Česká republika), tloušťka vzorků byla měřena pomocí rychlého tloušťkoměru Mitutoyo, typ 542-401 (Mitutoyo Corporation, Japonsko), k měření odolnosti bylo použito zařízení k měření rezistenčních dob PIEZOTEST (Gryf HB spol. s r. o., Havlíčkův Brod, Česká republika) a jako termostatovací zařízení k ohřevu vzorků konstrukčních materiálů a permeačních cel zařízení PIEZOTEST byl použit biologický termostat Friocell 111 (Brněnská medicínská technika Brno, Česká republika).

Chemikálie

K testování odolnosti byl použit bis(2-chlorethyl)sulfid – sírový yperit (VOZ 072, Zemianské Kostolany, Slovenská republika, obsah účinné látky 96,7 %) a jako simulanty (2-chlorethyl)ethylsulfid, 98 % (Sigma-Aldrich, Německo), methylsalicylát, ReagentPlus (Sigma-Aldrich, Německo) a 1,6-dichlorhexan, pro syntézu (Merck-Schuchard, Německo).

Testovaný materiál

Jako testovaný materiál byla použita izolační ochranná textilie TP-RUB-001-06 tvořená polyamidovou textilií oboustranně nanosovanou butylkaučukem (Rubena, a. s., Hradec Králové, Česká republika) a samonosná izolační ochranná fólie zhotovená z polyethylenvinylacetátu (Fatra a. s. Napajedla, Česká republika).

Pracovní postupy

Z izolačních ochranných materiálů byly pomocí vysekávače a hydraulického lisu vyseknuty zkušební vzorky, které byly pro jejich identifikaci očíslovány. Pomocí rychlého

tloušťkoměru byla ve středu zkušebních vzorků změřena jejich tloušťka v milimetrech s přesností na tři desetinná místa a hodnoty zaznamenány. Ze zkušebních vzorků byly z každého typu ochranného materiálu sestaveny čtyři sady vzorků. Každá sada obsahovala stejné zastoupení vzorků o určité tloušťce měřené ve středové části vzorku, tedy v části, kde byla dávkována zkušební chemikálie – sírový yperit nebo simulant. Vzorky byly upevněny do zkušební části permeačních cel zařízení PIEZOTEST, zkušební a měřicí části permeačních cel byly zkompletovány a poté byly cely vloženy do biologického inkubátoru a po dobu 30 minut vyhřívány na teplotu 30 °C, což je normovaná teplota pro zkoušení odolnosti konstrukčních materiálů prostředků individuální ochrany. Po vyhřátí byly permeační cely připojeny k zařízení PIEZOTEST, do pracovního prostoru cely byla v množství 2 cm³ nadávkována zkušební chemikálie a poté ihned spuštěn program, který zabezpečoval sběr a ukládání výsledků měření a jejich grafickou prezentaci v podobě výstupní permeační křivky. Po získání výstupní permeační křivky, bylo zařízení zastaveno a z grafické závislosti (v případě zařízení PIEZOTEST změny pracovní frekvence piezodetektoru na čase) byla odečtena rezistenční doba testovaného materiálu pro zkušební chemikálii.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Zkušební izolační ochranné materiály byly z hlediska tloušťky poměrně homogenní, o čemž svědčí střední hodnoty tlouštěk (tabulka 2). Pro hodnocení kvality izolačních ochranných materiálů určených pro konstrukci prostředků individuální ochrany má však větší vypovídající hodnotu minimální tloušťka materiálu [mm] získaná na základě statistického vyhodnocení. Minimální tloušťky pro sady vzorků se lišily jen nepatrně, což umožnilo provést vzájemné srovnání rezistenční doby pro daný typ izolačního ochranného materiálu a vybrané zkušební chemikálie.

Tabulka 2

Statistické vyhodnocení tloušťky sady vzorků izolačních ochranných materiálů pro zkušební chemikálie

Statistický údaj	HD		CEES		DCH		MS	
	BK	PEVA	BK	PEVA	BK	PEVA	BK	PEVA
Střední hodnota	0,337	0,109	0,336	0,108	0,339	0,108	0,340	0,107
Chyba střední hodnoty	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001
Medián	0,337	0,109	0,338	0,108	0,337	0,108	0,342	0,107
Směrodatná odchylka	0,005	0,002	0,004	0,003	0,020	0,003	0,005	0,004
Počet vzorků	12	11	12	12	15	11	10	14
Hladina spolehlivosti (95,0%)	0,003	0,002	0,002	0,002	0,006	0,002	0,003	0,002
Minimální hodnota tloušťky	0,334	0,107	0,334	0,106	0,333	0,106	0,337	0,105

Pozn.: HD – sírový yperit, CEES – (2-chlorethyl)ethylsulfid;
 DCH – 1,6-dichlorhexan, MS – methylsalicylát;
 BK – textilie oboustranně nánosovaná butylkaučukem;
 PEVA – fólie zhotovená z polyetylen-vinylacetátu.

Výsledky měření rezistenční doby konstrukčních ochranných materiálů pro zkušební chemikálie jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3

Výsledky měření rezistenční doby konstrukčních ochranných materiálů pro zkušební chemikálie

Statistický údaj	HD		CEES		DCH		MS	
	BK	PEVA	BK	PEVA	BK	PEVA	BK	PEVA
Sřední hodnota	574,1	22,1	37,9	6,3	87,4	12,5	321,5	14,2
Chyba střední hodnoty	11,3	0,9	2,0	0,3	4,1	0,4	16,5	0,4
Medián	590,0	21,5	37,0	6,2	87,3	12,3	336,0	14,3
Směrodatná odchylka	39,0	2,8	7,0	1,2	15,8	1,4	52,2	1,5
Počet vzorků	12	11	12	12	15	11	10	14
Hladina spolehlivosti (95,0%)	24,8	1,9	4,4	0,8	8,8	0,9	37,3	0,9
Minimální hodnota RD	549,3	20,2	33,5	5,5	78,7	11,6	284,2	13,3

Při hodnocení ochranných vlastností konstrukčních materiálů prostředků individuální ochrany má větší praktický význam minimální hodnota rezistenční doby, která lépe specifikuje jejich reálné ochranné vlastnosti proti chemickým látkám. Jak je patrné z výsledků měření, obě izolační ochranné fólie měly největší rezistenci proti sírovému yperitu. U fólie z PEVA byla odolnost vůči sírovému yperitu výrazně nižší. Ačkoliv byla tloušťka této fólie ve srovnání s textilií s butylkaučukovou bariérovou vrstvou třetinová a dosažené výsledky pro oba konstrukční materiály není proto možné přímo porovnávat, výsledky měření rezistenčních dob ukázaly, že tento materiál je málo chemicky odolný pro všechny použité zkušební chemikálie. Naopak, butylkaučuk, který patří do skupiny nepolárních polymerů, má pro sírový yperit vysokou chemickou rezistenci. U sírového yperitu se v dostupné literatuře nepodařilo nalézt hodnotu relativní permitivity, která udává polaritu látky, a která by mohla poskytnout jistou představu o odolnosti konstrukčních materiálů vůči této látce. Určitý odhad hodnoty relativní permitivity sírového yperitu je možné provést na základě srovnání relativní permitivity látky s podobnou chemickou strukturou. Zde se jako možnost jeví využití kyslíkatého analogu sírového yperitu – bis(2-chlorethyl)etheru. Tato látka má relativní permitivitu rovnu 21,20 (20 °C) a jedná se tedy o látku silně polární. Kovalentní polární vazby u této sloučeniny jsou mezi uhlíkem a chlorem (rozdíl elektronegativit $\Delta X_{C-Cl} = 0,61$) a mezi uhlíkem a kyslíkem ($\Delta X_{C-O} = 0,89$), což pravděpodobně způsobuje vysokou polaritu této sloučeniny. Ačkoliv není možné vyvodit jednoduchou analogii mezi relativní permitivitou obou sloučenin, protože vazba C-S má charakter vazby kovalentní nepolární ($\Delta X_{C-S} = 0,03$) a celkovou polaritu sírového yperitu pravděpodobně výrazněji neovlivňuje, přítomnost chlorovaného ethylu s kovalentní polární vazbou mezi uhlíkem a chlorem u obou sloučenin pravděpodobně výrazně ovlivňuje jejich polaritu. Je proto možné předpokládat, že sírový yperit bude mít výrazně polární charakter. Tomuto předpokladu odpovídají i vysoké hodnoty chemické odolnosti izolační ochranné fólie s butylkaučukovou bariérovou vrstvou pro tuto látku.

Jiná situace je u 1,6-dichlorhexanu. Tato sloučenina má dvojici vazeb Cl-C a tyto vazby mají charakter kovalentní polární vazby ($\Delta X_{C-Cl} = 0,61$). Ačkoliv se jedná podle hodnoty relativní permitivity (tab. 1) o látku nepolární, její nepolární charakter není tak výrazný jako například u benzenu ($\epsilon_r = 2,2825$; 20 °C) či tetrachlormethanu ($\epsilon_r = 2,2379$; 20 °C), pro které má

butylkaučuk velmi malou chemickou odolnost, řádově minuty, pro tloušťky odpovídající konstrukčním materiálům prostředků individuální ochrany. Nepochopitelnému charakteru 1,6-dichlorhexanu odpovídala i rezistenční doba textilie s butylkaučukovou bariérovou vrstvou, která byla sedmkrát menší než v případě použití sírového yperitu. Nižší polarita 1,6-dichlorhexanu měla vliv i na průnik této látky fólií tvořenou polyetylen-vinylacetátem, byť pokles rezistenční doby nebyl tak výrazný jako v případě izolační ochranné fólie s butylkaučukovou bariérovou vrstvou ve srovnání s výsledky pro sírový yperit. Je tedy patrné, že 1,6-dichlorhexan má z hlediska permeace zcela jiné vlastnosti než sírový yperit.

Oba konstrukční materiály vykazovaly pro methylosalicylát vyšší hodnotu odolnosti ve srovnání s 1,6-dichlorhexanem, ale menší než pro sírový yperit. V případě textilie s butylkaučukovou bariérovou vrstvou byla minimální hodnota rezistenční doby přibližně 1,9krát delší pro sírový yperit než pro methylosalicylát. Pro materiál PEVA byla rezistenční doba delší pro sírový yperit přibližně 1,5krát než pro methylosalicylát. Je tedy zřejmé, že dvě sloučeniny s velmi podobnou hodnotou relativní permitivity vykazují velmi rozdílné hodnoty průniku přes testovaný materiál. Jestliže vezmeme v úvahu molární objem těchto látek (tab. 1), pak ani tímto pomocným parametrem není možné vysvětlit rozdílnou schopnost permeace těchto látek, protože látka s nižší hodnotou molárního objemu proniká déle zkušebním materiálem, což nedopovídá obecným předpokladům permeace toxických látek polymerními membránami. Z přehledové tabulky fyzikálních údajů (tab. 1) je patrné, že methylosalicylát se sírovému yperitu více přibližuje, rozdílná polarita obou sloučenin v konečném důsledku ovlivňuje rychlost průniku obou látek testovaným materiálem, což je patrné zejména u bariérové vrstvy tvořené butylkaučukem. Je tedy zřejmé, že podobnost fyzikálních vlastností může být pouze pomocným kritériem při volbě vhodné látky jako zkušební chemikálie ke zjišťování chemické odolnosti konstrukčních materiálů ochranných prostředků.

Z hlediska chemické struktury je z testovacích látek sírovému yperitu nejvíce podobný (2-chlorethyl)ethylsulfid. Tato látka však pronikala oběma konstrukčními materiály nejrychleji. V dostupné literatuře se nepodařilo nalézt hodnotu relativní permitivity této látky. Vazba mezi uhlíkem a chlorem má charakter polární vazby ($X_{C-Cl} = 0,61$), na druhé straně vazba C-S má charakter vazby kovalentní nepolární. Z hlediska rychlosti průniku by tato látka měla mít nepolární charakter. Uvedená látka má ze všech zkušebních látek nejmenší molární objem. Tato skutečnost by pro průnik (2-chlorethyl)ethylsulfidu mohla být obecně významná a v případě nepolárního charakteru látky pak může významnou měrou ovlivnit průnik přes nepolární polymery. Bez ohledu na tyto předpoklady, podobnost chemické struktury sírového yperitu a (2-chlorethyl)ethylsulfidu neprokázala výhodnost použití (2-chlorethyl)ethylsulfidu jako simulantu sírového yperitu.

ZÁVĚR

Měření chemické odolnosti ukázalo, že zejména pro vysoce toxické látky typu bojových chemických látek je potřebné provádět praktická měření odolnosti konstrukčních materiálů pro látky samotné a ne pro jejich simulanty. Praktická měření ukázala, že simulanty sírového yperitu, doporučené v odborné literatuře, nejsou schopny nahradit tuto látku pro měření odolnosti textilie oboustranně nanosované butylkaučukem a fólie zhotovené z polyetylen-vinylacetátu, které jsou používány ke konstrukci ochranných prostředků v AČR i HZS. I když práce se simulanty může být výhodná pro jejich určité chemické či toxikologické vlastnosti, je třeba vždy sledovat konkrétní cíl použití dané látky. Je pochopitelné, že pro svoji toxicitu je použití zejména bojových chemických látek pro testování konstrukčních materiálů problematické. Je však třeba mít na paměti, že ochranné prostředky jsou určeny k ochraně osob

a znalost ochranných vlastností konstrukčních materiálů nabývá zcela jiný charakter z pohledu konečného uživatele a jiný z hlediska komerčního. Proto prostředky k ochraně osob, které jsou určeny k ochraně proti bojovým chemickým látkám, by měly být testovány pro samotné bojové chemické látky, případně jejich směsi či směsi s jinými rozpouštědly, které mohou být použity jako přísady měnící fyzikální vlastnosti bojových chemických látek či urychlující jejich průnik přes konstrukční materiály. Důvěra v ochranné schopnosti prostředků individuální ochrany je jedním z faktorů, který v konečném důsledku pomáhá splnit odborný úkol v kontaminovaném prostředí.

Résumé

Resistance of construction materials of individual protective equipment for 2-chloroethyl ethyl sulfide, 1,6-dichlorohexane and methyl salicylate has been study. These chemicals are mentioned as simulants of the sulphur mustard. Obtained values of breakthrough times have been compared with the breakthrough time for the sulphur mustard. In all cases the breakthrough time has been significantly shorter than in case of the sulphur mustard. It has been proved that used simulants are not suitable as the compensation of the sulphur mustard within study of individual protective equipment construction materials.

Použité symboly a zkratky

Zkratka	Popis a rozměr
AČR	Armáda České republiky
BK	textilie oboustranně nánosovaná butylkaučukem
CEES	(2-chlorethyl)ethylsulfid
DCH	1,6-dichlorethan
HD	sírový yperit
HZS	Hasičský záchranný sbor
MS	methylsalicylát
OPCH	ochranný protichemický oděv
PEVA	fólie zhotovená z polyethylen-vinylacetátu
M	molární hmotnost, [g.mol ⁻¹]
t_t	teplota tání, [°C]
t_v	teplota varu, [°C]
V_m	molární objem, [cm ³ .mol ⁻¹]
ϵ_r	relativní permitivita, [-]
ρ	hustota, [g.cm ⁻³]

Literatura

- [1] VORONTSOV, Alexandre V., Claude LION, Evgueni N. SAVINOV a Panagiotis G. SMIRNIOTIS. Pathways of photocatalytic gas phase destruction of HD simulant 2-chloroethyl ethyl sulfide. *Journal of Catalysis*. Elsevier, 2003, 2003(220), 414-423. DOI: 10.1016/S0021-9517(03)00293-8.
- [2] KANYI, Charles W., David C. DOETSCHMAN a Jurgen T. SCHULTE. Nucleophilic chemistry of X-type Faujasite zeolites with 2-chloroethyl ethyl sulfide (CEES), a simulant of common mustard gas. *Microporous and Mesoporous Materials*. Elsevier, 2009, 2009(124), 232-235. DOI: 10.1016/j.micromeso.2009.05.012.

- [3] LAVOIE, J., Sree SRINIVASAN a R. Nagarajan. Using cheminformatics to find simulants for chemical warfare agents. *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier B. V., 2011, 2011(194), 85-91. DOI: 10.1016/j.hazmat.2011.07.077.
- [4] PARMAR, Toral, Vinita DUBEY a D. D. AGARWAL. Search for simulants of sulfur mustard through sorption studies in elastomers. *Journal of Applied Polymer Science*. Wiley Periodicals, 104(3), 1801-1806. DOI: 10.1002/app.25830.
- [5] MCGILL, Andrew R., Viet K. NGUYEN, Russell CHUNG, et al. The "NRL-SAWRHINO": a nose for toxic gases. *Sensors and Actuators B*. Elsevier Science S.A., 2000, 2000(65), 10-13.
- [6] RIVIN, Donald, Wendel J. SHUELY, Frank PALYA, Robert S. LINDSAY, Axel RODRIGEZ a Philip W. BARTRAN. *Estimating the permeation resistance of nonporous barrier polymers to sulfur mustard (HD) and sarin (GB) chemical warfare agents using liquid simulants*. 1. DHHS (NIOSH) Publication No 2008-141, 2008.
- [7] GUTCH, P. K., R. K. SRIVASTAVA a K. SEKHAR. Polymeric decontaminant 2(*N,N*-dichloropolystyrene sulfonamide): Synthesis, characterization, and efficacy against simulant of sulfur mustard. *Journal of Applied Polymer Science*. Wiley Periodicals, 2007, 107(6), 4109-4115. DOI: 10.1002/app.27636.
- [8] WAGNER, George W. a Philip W. BARTRAM. Reactions of VX, HD, and Their Simulants with NaY and AgY Zeolites. Desulfurization of VX on AgY. *Langmuir*. American Chemical Society, 1999, 15 (23), 8113-8118. DOI: 01.1021/LA990716B.
- [9] TOMCHENKO, Alexey A., Gregory P. MARMER a Brent T. MARQUIS. Detection of chemical warfare agents using nanostructured metal oxide sensors. *Sensors and Actuators B*. Elsevier B. V., 2005, 108, 41-55. DOI: 10.1016/j.snb.2004.11.059.
- [10] SHARMA, Abha, Amit SAXENA, Beer SINGH, Mamta SHARMA, Malladi Venkata Satya SURYANARAYANA, Rajendra Prasad SEMWAL, Kumaran GANESHAN a Krishnamurthy SEKHAR. In-situ degradation of sulphur mustard and its simulants on the surface of impregnated carbon systems. *Journal of Hazardous Material B*. Elsevier B.V., 2006, 133, 106-112. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.09.053.
- [11] RAJ, Bhasker V., Harpreet SINGH, Theodore A. NIMAL, M. U. SHARMA, Monika TOMAR a Vinay GUPTA. Utilization of Mass and Elastic Loading in Oxide Materials Based SAW Devices for the Detection of Mustard Gas Simulant. *Advanced Materials Research*. 2012, 488-489, 1558-1562. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.488-489.1558.
- [12] BELMONTE, Richard B. Test of Level A Suits – Protection Against Chemical and Biological Warfare Agents and Simulants: Executive Summary. SCBRD-EN. Aberdeen Proving Ground, Aberdeen Maryland 1998. 13 s.
- [13] VERIANSYAH, Bambang, Jae-Duc KIM a Jong-Chol LEE. A double wall reactor for supercritical water oxidation: Experimental results on corrosive sulfur mustard simulant oxidation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Elsevier B. V., 2009, 15, 153-156. DOI: 10.1016/j.jiec.2008.09.007.
- [14] SLABOTINSKÝ, Jiří, Lukáš KRÁLÍK a Jiří CEJPEK. Náhrady bojových chemických látek a jejich využití při testování účinnosti ochranných prostředků a studiu šíření v prostředí. In: ŠENOVSÝ, Michail. *Ochrana obyvatelstva – Nebezpečné látky 2012: Sborník přednášek XI. ročníku mezinárodní konference*. 1. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2012, s. 174–177. ISBN 978-80-7385-109-5. ISSN 1803-7372.
- [15] SALTER, Bruce W., Jeffery R. OWENS a Joseph D. WANDER. Methyl Salicylate: A Reactive Chemical Warfare Agent Surrogate to Detect Reaction with Hypochlorite. *Applied Materials and Interfaces*. 2011, 2011(3), 4262-4267. DOI: 10.1021/am200929v.
- [16] WOHLFARTH, Christian. *CRC Handbook of Chemistry and Physics, 87th Edition 2006-2007*. CRC Press LLC, Florida: 2006, s. 6-132. ISBN-10: 0849304873.