

ÚČINNOST VYBRANÝCH PROSTŘEDKŮ INDIVIDUÁLNÍ DEKONTAMINACE NA LÁTKU A 234

EFFICIENCY OF SELECTED PERSONAL DECONTAMINATION AGENTS ON SUBSTANCE A 234

Tomáš Čapoun, Jana Krykorková*, Dagmar Urbanová

MV – Generální ředitelství HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, Na Lužci 204, 533 41 Lázně Bohdaneč

* Korespondující autor; e-mail: jana.krykorkova@hzscr.cz, tel.: +420 778 725 561

Abstrakt

Příspěvek se zabývá dekontaminací látky A 234 zavedenými a komerčními prostředky individuální dekontaminace. Individuální dekontaminací se v tomto sdělení rozumí postup dekontaminace kontaminovaných částí povrchu těla, prostředků individuální ochrany a věcných prostředků bezprostředně po kontaminaci, který se provádí svépomocí nebo vzájemnou pomocí s využitím předepsaných či improvizovaných prostředků. Pro účely využití v HZS ČR byla zhodnocena skupina 9 prostředků, zahrnující dekontaminační sorbenty, rukavice, utěrky a kapalně směsi. Pro každý prostředek byla stanovena dekontaminační účinnost na látku A 234. Vysokou účinnost vykazovaly utěrky a kapalně směsi na chemickém i mycím principu, naopak dekontaminace sorbenty a rukavicemi nebyla dostatečně účinná.

Klíčová slova: bojová chemická látka, látka A 234, dekontaminace, dekontaminační účinnost, zbytková kontaminace, biochemická reakce, plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií, fotometrie

Abstract

The paper discusses the decontamination of substance A 234 using conventional and commercial means of personal decontamination. In this article, personal decontamination refers to the process of decontaminating the contaminated parts of the body surface, personal protective equipment and materials immediately after contamination. This process can be performed as self-care or with the assistance of others, using prescribed or improvised means. Nine products were evaluated for the purposes of usage in the FRS CR, including decontamination sorbents, gloves, wipes and liquid mixtures. The decontamination effectiveness of each agent was determined specifically for substance A 234. It was assessed that wipes and liquid mixtures based on the chemical and wash off principle showed high efficiency. However, decontamination with sorbents and gloves was found to be insufficiently effective for this purpose.

Keywords: chemical warfare agent, substance A 234, decontamination, decontamination efficiency, residual contamination, biochemical reaction, gas chromatography with mass spectrometry, photometry

ÚVOD

Při akcích chemického terorizmu, v případě válečného konfliktu, havárií spojených s únikem nebezpečných chemických látek či jiných mimořádných událostech spojených se zneužitím nebo únikem bojových chemických nebo jiných nebezpečných látek může mj. dojít k rozsáhlé kontaminaci osob, jejich oděvů a prádla, zvířat, potravin, krmiva, techniky, dopravních prostředků, prostředků individuální ochrany, terénu a dalších objektů a materiálů. V takových mimořádných situacích představuje dekontaminace významné opatření aktivní ochrany proti

následkům nekontrolovaného úniku bojových chemických látek do prostředí či následkům jejich zneužití.

Nedávné bezpečnostní incidenty spojené s pravděpodobným použitím chemických sloučenin typu Novičok nutně vyvolaly potřebu odpovědět na zásadní otázky zajištění bezpečnosti obyvatel v případě zneužití těchto látek na území ČR a připravit na takové události předurčené jednotky HZS krajů. K tomu byla zpracována studie, která zhodnotila předpokládanou schopnost jednotek HZS provést terénní detekci a identifikaci látek typu „A“, shrnula základní dekontaminační metody, prostředky a směsi, předurčené u jednotek HZS krajů pro dekontaminaci bojových chemických látek [1]. Bylo konstatováno, že o stabilitě látky, rychlosti hydrolýzy a oxidaci nejsou k dispozici seriózní informace. Vedle směsí pro hromadnou dekontaminaci existují také různé komerční prostředky a postupy individuální dekontaminace. Vzhledem k tomu, že si jednotky HZS krajů mohou kterýkoliv z těchto prostředků opatřit, bylo nutné posoudit jejich dekontaminační účinnost na látku A 234.

1 PROSTŘEDKY INDIVIDUÁLNÍ DEKONTAMINACE

1.1. Požadavky na prostředky

Pro účely této práce a pro potřeby HZS ČR se pod pojmem „individuální dekontaminace“ rozumí postup dekontaminace kontaminovaných částí povrchu těla, prostředků individuální ochrany a věcných prostředků bezprostředně po kontaminaci, který se provádí svépomocí nebo vzájemnou pomocí s využitím předepsaných či improvizovaných prostředků [2,3].

Požadavky na prostředky individuální dekontaminace se odvíjejí od hlavního cíle použití prostředku, kterým je minimalizace následků kontaminace toxickou látkou. Aby tento cíl mohl být splněn, musí být dodrženo několik zásad.

Tou první je možnost co nejrychlejšího provedení dekontaminace, neboť rychlost provedení podmiňuje účinnost. To sebou přináší požadavky na takovou konstrukci prostředku, aby kontaminovaná osoba měla prostředek při sobě. Tento požadavek byl opakovaně potvrzen expertízami různých pracovišť, která došla k závěru, že dekontaminační zásah vedený na pokožce později než do páté minuty po kontaminaci je již neúčinný. Tento údaj je platný jak pro dekontaminační činidla na bázi tuhých práškových látek, tak pro dekontaminující kapaliny, u kterých bylo zpočátku uvažováno o tom, že by mohly působit i pod povrchem kůže, což se nepotvrdilo.

Zásada vysoké účinnosti zase vyplývá z možnosti kontaminace mimořádně toxickými nervově paralytickými látkami. Toxikologické vlastnosti těchto látek byly příčinou toho, že z individuální dekontaminace osob se stal evidentně život zachraňující výkon srovnatelný svojí urgentností s obnovou dýchání [4].

Požadavky na prostředky individuální dekontaminace lze shrnout následovně [4]:

- vysoká účinnost při dekontaminaci aktuálních typů bojových chemických látek,
- nezávislost na teplotě a srážkách,
- zdravotní nezávadnost,
- minimální nebo žádné interakce s dekontaminovanými povrchy,
- malý objem a hmotnost,
- dlouhodobá skladovatelnost,
- nízké výrobní náklady a materiálová nenáročnost.

Pro potřeby HZS ČR byla z hlediska uvedených požadavků v minulosti testována řada prostředků při dekontaminaci povrchů kontaminovaných látkou VX a sulfidickým yperitem [2,3,5,6]. Přitom nebyla hodnocena jenom dekontaminační účinnost ale také hledisko

ekonomické a hledisko některých uživatelských parametrů, jako jsou dekontaminace těžko přístupných a svislých povrchů, potřeba vody na oplach, riziko toxicity odpadů a způsoby nakládání s nimi. Účinnost na látku A 234 však dosud testována nebyla.

1.2. Rozdělení prostředků

Principy individuální dekontaminace toxických látek lze obecně rozdělit do dvou skupin, a to na principy mechanické a fyzikální a principy chemické. V moderních prostředcích individuální dekontaminace se pak většinou uplatňuje více principů společně.

Postupy založené na mechanických a fyzikálních principech pouze odstraňují toxické látky z kontaminovaného povrchu. Výhodou těchto postupů je většinou polyvalentní působení na toxické látky a relativní nezávislost na teplotě [4]. Prostředky využívající mechanických a fyzikálních principů mívají ve srovnání s chemickými činidly při skladování většinou delší expirační doby a vykazují nižší rizika nežádoucích interakcí s dekontaminovanými povrchy. Naopak hlavní nevýhodou těchto postupů je skutečnost, že nelikvidují toxickou podstatu kontaminantu, což je může diskvalifikovat pro použití v uzavřených prostorech [4] a v případech, kde žádným způsobem není technicky zajištěna likvidace odpadů.

Postupy založené na chemickém principu rozkládají nebo převádějí toxické látky na netoxické nebo méně toxické produkty, a to nejčastěji prostřednictvím vhodné chemické reakce. Protože volba dekontaminačního činidla závisí na struktuře toxické látky, existují činidla vhodná jen pro určitou skupinu kontaminantů. Jen menší počet činidel má tzv. polyvalentní vlastnosti, kdy činidlo působí na kontaminanty různého složení [4]. K takovým činidlům patří např. anorganické chlornany. Při reakcích s nervově paralytickými látkami se projevuje nukleofilní aktivita chlornanového aniontu a při reakcích s yperitem jejich chloračně oxidační schopnosti, které mohou vést až k totální destrukci molekuly yperitu na konečné oxidační produkty.

Přehled a popis konkrétních prostředků individuální dekontaminace uvádí řada prací [2-6]. Pro účely tohoto sdělení jsou popsány pouze prostředky testované spolu s pracovními postupy dekontaminace v části 2.2.

2 PROVEDENÍ EXPERIMENTŮ

2.1. Kontaminace povrchů

Jako zkušební povrchy byly použity:

- natřený ocelový plech: vzorky 100 x 100 x 1 mm byly opatřeny polyuretanovou barvou na kov CHEMOPUR E (U 2081)
- materiál protichemického ochranného oděvu: části speciálního ochranného oděvu SOO CO, velikost 100 x 100 mm, beze švů; ochranná vrstva je tvořena gumovou směsí na bázi butylkaučuku, nosná tkanina je polyesterová.

Jako kontaminant povrchů byl použit Ethyl N-(1-(diethylamino)ethyliden) fosforoamidofluoridát (látko A 234), dodaný VVÚ Brno. Čistota látky, stanovená potenciometrickou lanthanometrickou titrací [7], činila 63 %.

Vzorky zkušebních povrchů byly kontaminovány ve vodorovné poloze kapkami látky A 234. Kontaminace vzorků 100 x 100 mm byla provedena elektronickou stříkačkou 32 kapkami objemu 1 μl . To po přepočtu na hmotnost čisté látky A 234 představuje kontaminaci 2,0 g/m². Doba expozice vzorků povrchů látkou A 234 činila 5 minut. Vzorky byly po celou dobu expozice ve vodorovné poloze.

2.2. Popis testovaných prostředků individuální dekontaminace a postupy jejich aplikace

Při testování byly ověřeny následující komerční a improvizované prostředky individuální dekontaminace na mechanickém a fyzikálním principu:

- Sorbent DESPRACH (Léčiva Praha),
- Dekontaminační rukavice Fibertect Polyester Mitt Poly/Carbon/Poly (First Line Technology, Chantilly, USA),
- Dekontaminační nano-sorbent FAST-ACT (NanoScale Corp., USA),
- Dekontaminační rukavice FAST-ACT (RSDecon, USA),
- Prostředek pro individuální dekontaminaci hasiče INDEHA (MV – GŘ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, Lázně Bohdaneč),

Ze skupiny prostředků na chemickém principu byly ověřeny:

- Dekontaminační utěrka RSDL (E-Z-EM Canada Inc.),
- Dekontaminační utěrka, český prototyp (ORITEST s.r.o. Praha),
- Advanced Decontamination Spray HEYL SD-1 (HEYL Chem.-pharm Fabrik GmbH, Berlin, SRN),
- Pěna 10% dekontaminační směsi Hvězda, připravená desetinásobným ředěním vodou zásobního roztoku, který byl připraven smísením složky Hvězda AB (MPD Rakovník) a peroxidu vodíku (29-32%, Penta Praha) v poměru 4:1.

Dekontaminace výše uvedenými prostředky byla ve všech případech prováděna podle aktuálního návodu. Zkušební povrchy byly dekontaminovány ve vodorovné poloze. Současně s kontaminovanými zkušebními povrchy byly ve všech testovaných případech uvedené dekontaminační směsi aplikovány za stejných podmínek na stejné nekontaminované povrchy (slepé pokusy). Pro každý povrch a každý dekontaminační prostředek bylo provedeno vždy 7 paralelních zkoušek.

Přírodní sorbent s obchodním názvem **DESPRACH** byl součástí Protichemického balíčku jednotlivce IPB-80 [8] a Zdravotnického prostředku jednotlivce ZPJ-80. Jedná se o tzv. valchářskou hlinku, což je vlastně prášková forma aktivovaného montmorillonitu, kterou pro účely dekontaminace sorpcí využívala v minulosti většina moderních armád [9]. Aplikační formou prostředku DESPRACH je u obou uvedených souprav plastová láhev s tryskou v hrdle, kterou se sorbent nanáší buď přímo na dekontaminovaný povrch (obr. 1) nebo na přiložené tampony.

Při aplikaci prostředku byl stiskem lahvičky celý kontaminovaný povrch 10 x 10 cm pokryt sorbentem. Buničitým přířezem 5 x 5 cm byl sorbent roztírán na povrchu po dobu 30 s. Potom byl DESPRACH oklepáním odstraněn z povrchu, případný podíl sorbentu ulpělý na povrchu byl smeten přířezem.



Obrázek 1 Dekontaminace prostředkem DESPRACH

Moderní směr rozvoje individuální dekontaminace představují prostředky s uhlíkovými vlákny. Jsou konstruovány jako třívrstvé; spodní a horní vrstvu tvoří netkané textilie, mezi nimiž jsou aktivovaná uhlíková vlákna [10-12]. Jednou z využitelných možností jsou např. výrobky Fibertect [12] v různých modifikacích a variantách. Jsou k dispozici jako rukavice, utěrky či perforované role utěrek různých velikostí.

Při použití byla **dekontaminační rukavice Fibertect** vyjmuta z obalu, nasazena na ruku chráněnou ochrannou rukavicí ze soupravy SOO CO, prstem zachycena za vnitřní poutko a každý povrch jí byl otírán po dobu 0,5 minuty (obr. 2).



Obrázek 2 Dekontaminace povrchu dekontaminační rukavicí Fibertect

Dekontaminační nano-sorbent FAST-ACT je určen pro adsorpci, neutralizaci a dekontaminaci širokého spektra kapalných a plyných toxických látek včetně bojových chemických látek. Je používán ve formě dekontaminačního prášku v PE nádobách nebo tlakové nádobě. Požadavky na individuální dekontaminaci splňuje sorbent balený po 0,5 kg v aplikační láhvi (obr. 3). Prvotním mechanismem odstraňování kontaminantů z povrchů pomocí sorbentu FAST-ACT je dle materiálů výrobce velmi rychlá sorpce, potom u některých látek následuje rozkladná reakce. Nervově paralytické látky jsou hydrolyzovány na fosfonáty, sulfidický yperit nejdříve hydrolyzuje a potom dochází k dehydrogenhalogenaci za vzniku vinyl- a divinylsulfidů. To ukazuje na neostrou hranici mezi fyzikálním a chemickým základem moderních dekontaminačních prostředků. Naopak vývoj se evidentně ubírá spíše cestou kombinace všech využitelných principů.

Při ověřování byl kontaminovaný povrch posypán přímo z láhve (obr. 3) sorbentem do výšky vrstvy cca 3 mm. Po 3 minutách sorpce, kdy by měl podle propagačních materiálů dekontaminační účinek kulminovat [13], byl sorbent z povrchu odstraněn sklepním.



Obrázek 3 Dekontaminační nano-sorbent FAST-ACT v aplikační láhvi

Novější aplikační formu nano-sorbentu představuje **dekontaminační rukavice FAST-ACT** (obr. 4) jako individuální dekontaminační prostředek. Je určena pro dekontaminaci povrchů menších ploch, výstroje, prostředků individuální ochrany a drobných věcných prostředků. Při dekontaminaci byl obal rukavice na určeném místě roztržen, rukavice byla vyjmuta, nasazena na ruku a upevněna kolem zápěstí suchým zipem. Kontaminovaný povrch byl otírán dekontaminační částí rukavice do očištění povrchu [13], což na ploše 10 x 10 cm vyžadovalo cca 0,5 minuty.



Obrázek 4 Dekontaminace povrchů dekontaminační rukavicí FAST-ACT

Na mechanismu smývání a otírání je založena improvizovaná souprava nazvaná **Prostředek pro individuální dekontaminaci hasiče (INDEHA)**, kterou uvádí obr. 5. Prostředek je kompletován chemickými laboratořemi HZS ČR. Soupravou je realizován postup dekontaminace založený na otírání kontaminovaných povrchů tampony namočenými v ethanolu. Jedná se o klasický fyzikální princip, jehož využití pro účely individuální dekontaminace je známo a doporučováno již dlouhou dobu [14]. Souprava řeší také problém odpadů, kdy se použité tampony shromažďují v hermetickém obalu, který je zároveň obalem

vlastní soupravy. Na odpady se na závěr nasype pevný hydroxid sodný, který po dobu převozu zabezpečuje v přítomnosti ethanolu příznivé prostředí pro rozklad kontaminantu [15-17].

Při aplikaci prostředku byly v prvním kroku kapky kontaminantu odsáty suchým gázovým přířezem. Potom byly na další gázový přířez nakapány asi 3 ml alkoholu a ovlhčeným přířezem byl kontaminovaný povrch otírán. Postup byl ještě opakován dalšími 2 přířezy. Zkušební povrch 10 x 10 cm byl každým ze 4 přířezů otírán asi 7 s.



Obrázek 5 Prostředek pro individuální dekontaminaci hasiče INDEHA

Dekontaminační utěrka RSDL, vyráběná řadou výrobců na základě kanadského patentu, byla do výzbroje armád zaváděna v první polovině 90. let. Jako aplikační prostředek je použita houbička velikosti asi 4 x 10 x 0,5 cm napuštěná 21 ml dekontaminační směsí RSDL. Dekontaminační směs obsahuje jako hlavní složku 2,3-butandionmonoxim, který způsobuje rozklad nervově paralytické látky. Souprava však účinně dekontaminuje i yperit [2,3,5,6]. Rozpouštědlem dekontaminačních činidel je v tomto případě směs alkoholů (především isopropylalkohol) a alkoxyalkoholů (především methoxyethanol). Směs dále obsahuje ketony (butanon a butandion), acetáty výše uvedených alkoholů, acetamid, cykloalkany a aromatické uhlovodíky (hlavně toluen a limonen). Dekontaminační utěrkou lze dekontaminovat různé povrchy menších ploch, ale prioritně je určena k dekontaminaci pokožky.

Konstrukčně shodný prostředek představuje **český prototyp dekontaminační utěrky**. Také jeho určení je stejné. Od výše uvedené dekontaminační utěrky RSDL se liší složením dekontaminační směsi.

Obě testované dekontaminační utěrky RSDL byly použity shodným postupem. Obal byl roztržen na určeném místě a byla z něho vyjmuta houbička. Kontaminovaný povrch byl otírán houbičkou po dobu 0,5 minuty (viz obr. 6). Po 2 minutách od zahájení otírání byl povrch 10 x 10 cm opláchnut ze stříčky 50 ml vody.



Obrázek 6 Dekontaminace pokožky dekontaminační utěrkou RSDL

U prostředku **Advanced Decontamination Spray HEYL SD-1** je využit princip dvoukomorového aplikačního prostředku, zabezpečujícího smíchání komponent těsně před nanesením na povrch. Jedná se o dvousložkový prostředek pro individuální dekontaminaci neporušené pokožky, oblečení a povrchů kontaminovaných toxickými chemikáliemi a toxiny. Je určen pro krátkodobé použití. První složkou je roztok chlornanu sodného, druhou pak směs butyldiglykolu, kyseliny stearové a kaprinové. Každá složka je přechovávána v samostatné plastové láhvi objemu 300 ml. Dekontaminační směs vzniká smísením obou složek ve speciálním dvoucestném aplikátoru během aplikace na kontaminovaný povrch.

Při dekontaminaci bylo postupováno tak, že nejdříve byl kontaminovaný povrch postříkán dekontaminační směsí v množství 10 ml/dm^2 pomocí speciálního aplikátoru (obr. 7), což odpovídá spotřebě dekontaminační směsi 1 l/m^2 . Po době působení 2 minuty byl povrch opláchnut vodou 50 ml/dm^2 , což odpovídá spotřebě vody 5 l/m^2 .



Obrázek 7 Dekontaminace zkušební povrchu dekontaminačním sprejem HEYL SD-1

K dekontaminaci povrchu těla kontaminovaného bojovými chemickými látkami je v HZS ČR oficiálně zaveden 10% roztok prostředku Hvězda [18]. Při dekontaminaci **pěnou Hvězda**, připravenou z 10% roztoku, byl tímto roztokem naplněn laboratorní generátor pěny. Kontaminovaný povrch byl pokryt pěnou (obr. 8), průměrná tloušťka vrstvy činila 3 mm. Doba působení dekontaminační pěny činila 5 minut. Potom byl povrch opláchnut ze stříčky vodou 50 ml/dm^2 , což odpovídá spotřebě vody 5 l/m^2 . Po oplachu vodou byly zkušební povrchy ponechány volně na vzduchu uschnout.



Obrázek 8 Dekontaminace zkušebního povrchu pěnou Hvězda pomocí laboratorního generátoru pěny

2.3. Stanovení zbytkové kontaminace povrchů

K odběru vzorků z povrchů plechů byla pro účely stanovení zbytkové kontaminace použita technika stěrů. Stěry byly prováděny vatovými tampony, dvěma namočenými v methanolu a třetím suchým. Tampony byly extrahovány methanolem. Vzorky ochranných oděvů byly extrahovány přímo methanolem. Stejným postupem a za stejných podmínek byly odebrány vzorky z původně nekontaminovaných povrchů (slepé pokusy).

Látka A 234 byla v extraktu stanovena biochemickou reakcí s Ellmanovým činidlem a fotometrickým vyhodnocením podle certifikované metodiky [19]. Absorbance reakčních produktů byla měřena UV/VIS-spektrofotometrem Cary 8454 UV-Vis (Agilent) při vlnové délce 408 nm v kyvetě optické délky 1,00 cm.

Stanovené hodnoty zbytkové kontaminace byly statisticky vyhodnoceny pomocí statistického software [20]. U naměřených souborů byly pro jednotlivé zkušební povrchy a dekontaminační prostředky vypočítány průměrné hodnoty zbytkové kontaminace (mg/m^2), relativní opakovatelnost (relativní směrodatná odchylka, %) a dekontaminační účinnosti (%).

2.4. Analýza odpadů po dekontaminaci

Za účelem posouzení kontaminace použitých dekontaminačních prostředků byla pozornost věnována rovněž obsahu látky A 234 v těchto prostředcích. To by mělo zodpovědět otázku, zda byla látka A 234 při dekontaminaci rozložena či zda zůstala v daném prostředku, který by tak představoval vysoce nebezpečný odpad.

Po ukončení dekontaminace byly použité prostředky hermeticky uzavřeny do vialky příslušné velikosti a analyzovány metodou plynové chromatografie s hmotnostním detektorem (GC/MS) technikou head-space s použitím mikroextrakce na tuhou fázi (SPME). Pro SPME bylo použito vlákno Carboxen/Polydimethylsiloxan. Analýzy byly provedeny 1 hodinu a 24 hodin po dekontaminaci. Doba termostátování při 80 °C činila 30 minut, doba sorpce při stejné teplotě rovněž 30 minut.

Analýzy byly provedeny na plynovém chromatografu s hmotnostním detektorem Agilent Intuvo 9000/5977B (Agilent Technologies, Inc., výr. č. CN17360004 / US1738D004) s kolonou HP-5MS, délka 30 m, \varnothing 250 μ m, fáze 0,25 μ m při následujících parametrech měření:

- Nosný plyn He 1,2 ml/min,
- T Inlet 290 °C,
- T rozhraní GC/MSD 290 °C,
- Scan range 35-800 amu,
- Splitless,
- Solvent Delay: 0 min.,
- GC program: 40 °C – 2 min, od 40 °C do 280 °C dT/dt 10 °C/min, 280 °C–10 min.

3 VÝSLEDKY A DISKUSE

3.1. Dekontaminační účinnost

Výsledné hodnoty zbytkové kontaminace látkou A 234 po aplikaci testovaných prostředků individuální dekontaminace na zkušební povrchy shrnuje tabulka 1.

Tabulka 1 Vyhodnocení hodnot zbytkové kontaminace zkušebních povrchů látkou A 234 po aplikaci testovaných prostředků individuální dekontaminace (počet měření $n = 7$, hladina významnosti $\alpha = 0,05$, výchozí kontaminace 2,0 g/m², ZK – zbytková kontaminace povrchu, S_R – relativní směrodatná odchylka, DÚ – dekontaminační účinnost)

Testovaný prostředek (směs)	Zkušební povrch					
	Plech s nátěrem			Protichemický oděv		
	ZK, mg/m ²	S_R , %	DÚ, %	ZK, mg/m ²	S_R , %	DÚ, %
Sorbent DESPRACH	2,9	16,0	99,86	20	10,1	99,00
Rukavice Fibertect	34	3,5	98,30	36	3,4	98,20
Sorbent FAST-ACT	17	14,7	99,15	19	3,4	99,05
Rukavice FAST-ACT	30	5,9	98,50	30	3,9	98,50
INDEHA	0,22	7,8	99,99	1,6	11,2	99,92
Utěrka RSDL	0,20	3,7	99,99	1,7	9,2	99,92
Utěrka český prototyp	0,21	3,2	99,99	1,8	15,1	99,91
Sprej HEYL SD-1	0,20	3,5	99,99	2,9	12,0	99,86
Pěna Hvězda 10%	0,37	18,3	99,98	1,7	13,6	99,92

V první řadě z výsledků vyplývá, že jednoznačně nejvyšší účinnosti bylo na obou zkušebních površích dosaženo aplikací kapalných směsí ať již postříkem nebo roztíráním. Velmi dobrých výsledků bylo dosaženo rovněž otíráním povrchů ethanolem (prostředek INDEHA), tj. mechanickým a fyzikálním principem, kdy jsou výsledky srovnatelné s prostředky na chemickém principu. Hodnoty zbytkové kontaminace protichemického oděvu jsou proti kontaminaci plechu s nátěrem zhruba o řád vyšší.

Naopak dekontaminace pevnými sorbenty a dekontaminačními rukavicemi nesplnila očekávání. Nejúčinnějším postupem bylo roztírání sorbentu DESPRACH na natřeném plechu. Ostatní testované prostředky nevykázaly dostatečnou účinnost. Hodnoty zbytkové kontaminace jsou na obou zkušebních površích srovnatelné a v některých případech až o 2 řády vyšší než při dekontaminaci natřeného plechu kapalnými prostředky. Výrazný rozdíl mezi

účinností sorbentů DESPRACH a FAST-ACT na plechu s nátěrem je zřejmě způsoben tím, že DESPRACH je na povrchu roztírán, zatímco aplikace FAST-ACT spočívá pouze v posypání povrchu a sklepení po době působení. U dané aplikační formy chybí možnost roztírání.

V této souvislosti se nabízí porovnání účinnosti testovaných prostředků na látku A 234 a látku VX [2,3,5,6]. Srovnání je možné, neboť výsledky byly dosaženy na stejných zkušebních površích, shodnými postupy a při stejné výchozí hodnotě kontaminace. Z tohoto srovnání vyplývá, že účinnost kapalných prostředků (tj. dekontaminační utěrky, prostředek INDEHA, sprej HEYL SD-1 a pěna Hvězda) je srovnatelná pro obě látky a je velmi vysoká. Účinnost rukavic Fibertect je velmi nízká a rovněž srovnatelná pro obě látky. Zásadní rozdíl je v dekontaminační účinnosti sorbentů DESPRACH, FAST-ACT a rukavic FAST-ACT, se kterými byly při dekontaminaci látky VX dosaženy velmi nízké hodnoty zbytkové kontaminace. Sorbent DESPRACH dokonce vykázal na látku VX nejvyšší dekontaminační účinnost ze všech testovaných prostředků na obou površích [2,3,5,6]. Důvody je nutno zřejmě hledat v rozdílném fyzikálním chování látky A 234 a látky VX na mezifázovém rozhraní zkušební povrch / sorbent.

3.2. Obsah látky A 234 v odpadech po dekontaminaci

S cílem zjistit, zda při dekontaminaci došlo k rozkladu látky A 234 nebo zda zůstala v daném prostředku, byla provedena GC/MS analýza odpadů, a to 1 hodinu a 24 hodin po dekontaminaci.

Kontaminace odpadů byla vyjádřena pouze slovně, zda daný prostředek byl či nebyl kontaminován. Číselné vyjádření v tomto případě není možné, protože se jen obtížně nastavuje množství analyzovaného odpadu. Jiný analyzovaný předmět představuje sorbent, část rukavice, houbička či kapalný odpad po postřiku. Obsah látky A 234 v odpadu byl proto vyjádřen jako přítomna (+) nebo nepřítomna (0). V žádném z analyzovaných vzorků přitom nebyla látka identifikována ve stopových množstvích na úrovni meze detekce, symbol + tedy znamená, že látka byla identifikována ve významném množství. Výsledky shrnuje tabulka 2.

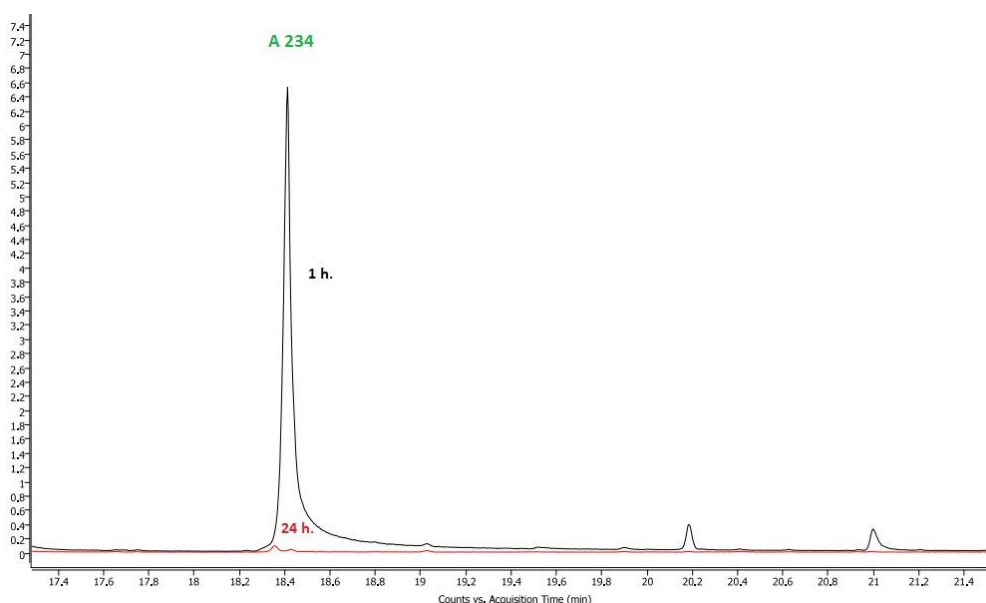
Tabulka 2 Obsah látky A 234 v odpadech po dekontaminaci (+ - přítomna, 0 – nepřítomna)

Testovaný prostředek	Druh odpadu	Doba po dekontaminaci	
		1 hodina	24 hodin
Sorbent DESPRACH	sorbent	+	+
Rukavice Fibertect	část rukavice	+	+
Sorbent FAST-ACT	sorbent	0	0
Rukavice FAST-ACT	část rukavice	+	+
INDEHA	gázové přířezy s ethanolem	+	0
Utěrka RSDL	houbička s roztokem	0	0
Utěrka český prototyp	houbička s roztokem	0	0
Sprej HEYL SD-1	kapalný	0	0
Pěna Hvězda 10%	kapalný	0	0

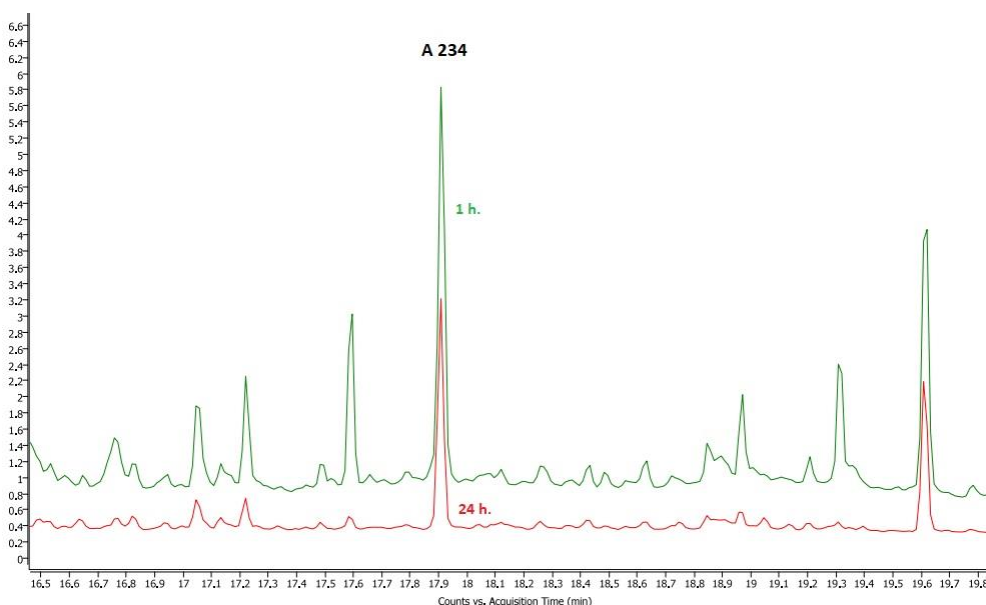
Z hlediska obsahu látky A 234 v odpadech po dekontaminaci lze ověřované prostředky individuální dekontaminace rozdělit do 3 skupin:

- odpad neobsahuje látku A 234 již 1 hodinu po dekontaminaci, prostředek tedy látku rychle rozkládá; do skupiny patří sorbent FAST-ACT a všechny kapalně prostředky dekontaminující látku na chemickém principu;

- 1 hodinu po dekontaminaci je odpad ještě kontaminován, ale do 24 hodin dojde k rozkladu látky A 234; sem patří improvizovaný prostředek INDEHA, u kterého se podle metodiky použití nasype na odpady v dóze pevný hydroxid sodný, který zabezpečuje v přítomnosti ethanolu příznivé prostředí pro rozklad kontaminantu; příklad chromatogramu po analýze odpadů uvádí obr. 9;
- látka A 234 zůstává nerozložena i po 24 hodinách; jedná se o sorbent DESPRACH a obě testované rukavice, které po dekontaminaci představují vysoce nebezpečný odpad; příklad chromatogramu je uveden na obr. 10.



Obrázek 9 Chromatogram odpadů po dekontaminaci látky A 234 prostředkem INDEHA 1 hodinu a 24 hodin po dekontaminaci



Obrázek 10 Chromatogram odpadů po dekontaminaci látky A 234 dekontaminační rukavicí Fibertec 1 hodinu a 24 hodin po dekontaminaci

3.3. Celkové zhodnocení testovaných prostředků a postupů

Konkrétní jednotlivé testované prostředky a postupy individuální dekontaminace lze na základě jejich studia stručně hodnotit takto:

Sorbent **DESPRACH** vykazoval přijatelnou účinnost při dekontaminaci látky A 234 na natřeném plechu, účinnost na protichemickém oděvu byla nízká. Práce s ním je velmi jednoduchá. Toxicitu odpadů lze považovat za rozhodující nevýhodu prostředku, zvláště za podmínek, kdy na zem padají jemné částice sorbentu s obsahem kontaminantu. Částice se mohou proudem vzduchu vířit, což představuje riziko inhalační otravy. Podle informací se sorbent ve formě přípravku DESPRACH již nevyrábí.

Účinnost **dekontaminační rukavice Fibertect** byla naprosto nedostatečná. Ve srovnání s ostatními testovanými prostředky s ní bylo dosaženo nejvyšších hodnot povrchové zbytkové kontaminace. Ke kvantitativním výsledkům dekontaminace látky A 234 je třeba uvést, že při otírání povrchů bylo jasně vidět, jak rukavice sorbuje pouze část kontaminantu, zatímco určitá část látky A 234 zůstává na povrchu a při dekontaminaci je roztírána po celé ploše povrchu, takže kontaminuje i původně nekontaminovaná místa povrchu. Nízká dekontaminační účinnost z ní činí prostředek nevyužitelný u jednotek HZS krajů.

Sorbent FAST-ACT představuje moderní soudobý prostředek. K jeho hlavním přednostem proti prostředku DESPRACH patří skutečnost, že sorbovanou látku A 234 rozkládá, takže není třeba řešit vysokou toxicitu odpadů. Jeho aplikační forma, kterou je samotná plastová láhev s 0,5 kg sorbentu, umožňuje na rozdíl od většiny ostatních prostředků vícenásobné použití, ale na druhé straně ho předurčuje prakticky jenom k použití na vodorovných plochách. Absence jakékoliv možnosti roztírání na povrchu je zřejmě důvodem velmi nízké dekontaminační účinnosti na látku A 234. Tato skutečnost ho z možnosti využití pro individuální dekontaminaci v HZS ČR prakticky vylučuje.

Dekontaminační rukavice FAST-ACT obsahuje výše uvedený sorbent, avšak ve srovnání s aplikací samotného sorbentu postrádá jeho hlavní pozitivní vlastnost, kterou je rozklad látky A 234. Také hodnoty zbytkové kontaminace po aplikaci rukavice byly ve srovnání se samotným sorbentem zhruba o 50 % vyšší. Naopak tím, že umožňuje dekontaminaci svislých ploch i stropů, odstraňuje hlavní nedostatek předcházejícího prostředku. Testovaná aplikační forma rukavice v praxi jen obtížně může zajistit po celé kontaminované ploše účinný kontakt s aktivním povrchem rukavice. Analýza odpadů potom ukázala, že aktivní („nasáková“) textilie rukavice nepropouští dostatečně kontaminant k sorbentu, a tak zůstává na povrchu kontaminována. Proto se tento prostředek nedoporučuje k využití u HZS ČR.

Prostředek pro individuální dekontaminaci hasiče INDEHA, založený na otírání povrchů ethanolem, vykazoval na látku A 234 velmi vysokou dekontaminační účinnost srovnatelnou s kapalnými prostředky na chemickém principu. Prostředek se vyznačuje i dalšími pozitivními vlastnostmi, jako jsou nejnižší cena, řešení nakládání s nebezpečnými odpady, využitelnost při teplotách hluboko pod 0 °C, vysoký stupeň flexibility a různé možné varianty provedení. Lákavá je i jeho nízká cena, která činí podle formy zhotovení soupravy 30,- až 120,- Kč [17].

Dekontaminační utěrky byly testovány dvě, a to typ RSDL a dále český prototyp prostředku. Obě utěrky byly velmi podobné po stránce účinnosti dekontaminace a ostatních parametrů, proto následující závěry jsou platné pro obě. Jedná se o účinné dekontaminační prostředky, které byly dermatologicky testovány a jsou použitelné i na nekrytou pokožku. Vyznačují se vlastnostmi charakteristickými pro moderní prostředek individuální dekontaminace (nízká hmotnost, malé rozměry, jednoduchost použití, vysoká účinnost). Po setření povrchu kontaminovaného látkou A 234 kontaminant rozkládají. Pro účely masového zavedení do HZS

ČR se prostředky vyznačují jedinou rozhodující nevýhodou, kterou je cena (cca 800,- Kč / ks [5]), zvláště po zvážení tříleté doby expirace.

Dekontaminační sprej HEYL SD-1 vykazoval na látku A 234 vysokou dekontaminační účinnost srovnatelnou s ostatními testovanými kapalnými prostředky. K tomu je nutno zdůraznit, že doba působení směsi na kontaminovaný povrch činila v souladu s návodem pouze 2 minuty. Chlornan účinně látku A 234 rozkládá. Dekontaminační sprej je lehce ovladatelný a umožňuje aplikaci směsi i do těžko přístupných míst. Je nutno ocenit myšlenku dvoucestného aplikátoru, i když není známo, zda aplikátor nebude výrazně zvyšovat cenu prostředku. Reálnou cenu nebylo možné zjistit, protože prostředek je zatím určen jen pro užití v Německu. Poněkud překvapivé je určení spreje mj. pro dekontaminaci neporušené kůže. U chlornanu sodného jako jedné ze složek spreje byl stanoven obsah aktivního chloru 4,6 %hm. Znamená to, že na povrch je při dekontaminaci aplikována směs o koncentraci aktivního chloru 2,3 %. Možné účinky směsi byly ověřeny přímo na rukách pracovníků, přičemž skutečně nedošlo do 2 minut k podráždění pokožky.

Pěna Hvězda o koncentraci 10 % představuje perspektivní prostředek individuální dekontaminace. Poskytovala účinnou dekontaminaci látky A 234, kterou rozkládá. Případné rozšíření do HZS ČR brání skutečnost, že není k dispozici vhodný aplikační prostředek.

ZÁVĚR

Pro účely zabezpečení dekontaminace látky A 234 byla studována možnost využití dostupných komerčních a improvizovaných prostředků individuální dekontaminace. K tomu byly provedeny testy dekontaminační účinnosti některých sorbentů, dekontaminačních rukavic, improvizovaného prostředku zavedeného v HZS ČR, dekontaminačních utěrek a dvousložkových kapalných směsí. Dekontaminace byla ověřena v laboratorním měřítku na vzorcích plechu s polyuretanovým nátěrem a protichemického oděvu.

V rámci řešení části projektu byly stanoveny hodnoty zbytkové kontaminace zkušebních povrchů látkou A 234 po aplikaci testovaných prostředků a provedeno porovnání jejich dekontaminační účinnosti. Dále byly studovány dispozice ověřovaných prostředků k rozkladu látky A 234 s cílem zhodnocení rizika toxicity odpadů.

Z technického i ekonomického hlediska se v případě pořizování prostředků individuální ochrany jednotkami HZS krajů jednoznačně doporučuje preferovat Prostředek pro individuální dekontaminaci hasiče INDEHA. Vysokou dekontaminační účinností na látku A 234 a netoxickými odpady se vyznačují rovněž dekontaminační utěrky a dekontaminační sprej HEYL SD-1.

Provádění individuální dekontaminace se nedoporučuje zabezpečovat sorbenty a dekontaminačními rukavicemi.

Použitá literatura

1. ČAPOUN, T., KRYKORKOVÁ, J. *Dispozice prostředků a přístrojů vybraných jednotek HZS krajů k analýze a dekontaminaci látek typu "A"*. [Výzkumná zpráva]. Lázně Bohdaneč: MV - GR HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2019. 42 s.
2. ČAPOUN, T., KRYKORKOVÁ, J. Comparison of Selected Methods for Individual Decontamination of Chemical Warfare Agents. *Toxics*, 2014, roč. 2, č. 2, s. 307-326.
3. ČAPOUN, T., KRYKORKOVÁ, J. Comparison of Selected Procedures and Means of Personal Decontamination: Recent Development. In CHILONGOLA, J. O. editor *Current Advances in Chemistry and Biochemistry*, Vol. 5. Hooghly, London: Book Publisher International, 2021, pp. 87 – 105. ISBN 978-93-90888-27-6 (Print), ISBN 978-93-90888-35-1 (eBook). <https://doi.org/10.9734/bpi/cacb/v5/8396D>.

4. CABAL, J. Primární dekontaminace osob. In: PITSCHMANN, V. aj. *Chemické zbraně a ochrana proti nim*. Praha: MANUS, 2011. s. 162 - 170. ISBN 978-80-86571-09-6.
5. ČAPOUN, T., KRYKORKOVÁ, J. *Porovnání vybraných postupů a prostředků individuální dekontaminace*. [Výzkumná zpráva]. Lázně Bohdaneč: MV - GŘ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2012. 67 s.
6. ČAPOUN, T., KRYKORKOVÁ, J. *Comparison of Selected Procedures and Means of Personal Decontamination*. Lázně Bohdaneč: MV – GŘ HZS ČR, Population Protection Institute, 2013. 73 s. ISBN 978-80-86466-49-1.
7. ČAPOUN, T., KRYKORKOVÁ, J. *Stanovení bojových chemických látek potenciometrickou lanthanometrickou titrací*. [SOP POT-1 certifikovaný komisí MV-GŘ HZS ČR, číslo osvědčení CERO 4/2022]. Lázně Bohdaneč: MV - GŘ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2022. 7 s.
8. MATOUŠEK, J., URBAN, I., LINHART, P. *CBRN Detekce, monitorování, fyzická ochrana, dekontaminace*. Ostrava: SPBI, 2008. 232 s. ISBN 978-80-7385-048-7.
9. SKALIČAN, Z. Dekontaminace. In: PITSCHMANN, V. aj. *Chemické zbraně a ochrana proti nim*. Praha: MANUS, 2011. s. 135 - 161. ISBN 978-80-86571-09-6.
10. KAISER, R. *Decontamination System and Method of Decontamination*. [Pat. No. US2009117165]. Entropic Systems Inc., 2009.
11. RAMKUMAR, S. S. *Chemical protective composite substrate and method of producing same*. [Pat. No. US2005101211]. Texas Technical University, 2005.
12. *FIBERTECT® The Next Generation of Activated Carbon Dry Decon*. [Firemní literatura]. Chantilly: First Line Technology.
13. *Chemical Hazard Containment and Neutralization System*. User Manual. Manhattan: NanoScale Corporation. 7 s.
14. FRANKE, S, FRANZ, P, WARNKE W. *Lehrbuch der Militärchemie. Band 2*. Berlin: Deutscher Militärverlag, 1969, s. 453-4.
15. ČAPOUN, T. Prostředky individuální dekontaminace toxických látek VIII. Improvizovaná souprava jednotek HZS krajů. 112, 2016, roč. XV, č. 8, s. 35.
16. ČAPOUN, T., KRYKORKOVÁ, J. Zabezpečení individuální dekontaminace nebezpečných chemických látek v HZS ČR. Část 4: Prostředek pro individuální dekontaminaci hasiče. *The Science for Population Protection*, 2016, roč. 8, č. 1, s. 89-99.
17. ČAPOUN, T., KRYKORKOVÁ, J. *Projekt soupravy pro individuální dekontaminaci hasiče INDEHA*. [Výzkumná zpráva]. Lázně Bohdaneč: MV - GŘ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2012. 22 s.
18. *Řád chemické služby HZS ČR*. Praha: MV – GŘ HZS ČR, 2017. p. 19,42,43. ISBN 978-80-87544-49-5.
19. ČAPOUN, T., KRYKORKOVÁ, J. *Stanovení nervově paralytických bojových chemických látek biochemickou fotometrickou metodou*. [SOP FOT-1 certifikovaný komisí MV-GŘ HZS ČR, číslo osvědčení CERO 2/2022]. Lázně Bohdaneč: MV - GŘ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2022. 8 s.
20. *EffiValidation 4.0*. Oulehla: EffiChem, 2021.

Poděkování

Tato studie byla podpořena Ministerstvem vnitra České republiky (projekt bezpečnostního výzkumu a vývoje VI20192022114).