**Ministerstvo vnitra**
**Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR**
**Institut ochrany obyvatelstva**

---

Čj. PO-13/1-9/IOO-2005

Výtisk číslo:

Počet listů: 37

LABORATORNÍ ZPRÁVA

# POLOPROVOZNÍ ZKOUŠKY DEKONTAMINACE BOJOVÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK ČINIDLEM HVĚZDA

Lázně Bohdaneč 2005

*Název úkolu:*

**Poloprovozní zkoušky dekontaminace bojových chemických látek činidlem HVĚZDA**

*Garant úkolu:*

pplk. Ing. Jarmil Valášek

*Název a sídlo pracoviště řešitele:*

Ministerstvo vnitra - Generální ředitelství HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, Lázně Bohdaneč

*Vedoucí řešitelského kolektivu:*

Ing. Tomáš ČAPOUN, CSc.

*Řešitelský kolektiv:*

kpt. Ing. Jana KRYKORKOVÁ, CSc.
por. Ing. Dagmar URBANOVÁ
Hana KOVALIČOVÁ

*Název zprávy:*

**POLOPROVOZNÍ ZKOUŠKY DEKONTAMINACE BOJOVÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK ČINIDLEM HVĚZDA**

*Autoři zprávy:*

**Ing. Tomáš ČAPOUN, CSc.**
**kpt. Ing. Jana KRYKORKOVÁ, CSc.**
**por. Ing. Dagmar URBANOVÁ**
**Hana KOVALIČOVÁ**

*Datum zahájení a ukončení výzkumné etapy:*

1. 6. 2005 – 15. 8. 2005

*Místo uložení zprávy:*

1. DECOMKOV Praha s.r.o.
2. Ministerstvo vnitra - Generální ředitelství HZS ČR, Praha
3. Ministerstvo vnitra - Generální ředitelství HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, Lázně Bohdaneč

*Klíčová slova:*

dekontaminace, detoxikace, dekontaminační účinnost, dekontaminační činidlo, zbytková kontaminace, bojové chemické látky

*Autorský referát (anotace):*

Laboratorní zpráva popisuje provedení poloprovozních zkoušek dekontaminace látky VX a sulfidického yperitu na natřeném ocelovém plechu pomocí dekontaminačního činidla HVĚZDA, roztoku BX-24 a chlornanové dekontaminační směsi. Po dekontaminaci byly stanoveny hodnoty zbytkové kontaminace povrchů, podle nichž byly dekontaminační účinnosti ověřovaných směsí porovnány. Bylo provedeno též srovnání směsí z hlediska dalších užitných vlastností.

| | |
|---|---|
| *Počet stran:* | 37 |
| *Počet obrázků:* | 8 |
| *Počet tabulek:* | 6 |
| *Počet citovaných pramenů:* | 13 |

# O B S A H


1. CÍL ÚKOLU ..... 5

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST ..... 6
2.1. Podmínky provedení poloprovozních zkoušek ..... 6
2.2. Kontaminace povrchů ..... 6
2.3. Dekontaminace ..... 8
2.4. Odběr vzorků ..... 9
2.5. Stanovení látky VX v extraktu ..... 10
2.6. Stanovení sulfidického yperitu v extraktu ..... 11
2.7. Vyhodnocení naměřených dat ..... 12

3. VÝSLEDKY A DISKUSE ..... 13
3.1. Dekontaminace látky VX ..... 13
3.2. Dekontaminace sulfidického yperitu ..... 15
3.3. Srovnání ověřovaných dekontaminačních látek a směsí ..... 16

4. ZÁVĚR ..... 19

5. LITERATURA ..... 20

PŘÍLOHY:
1. Zadání úkolu ..... 21
2. Monitorování vybraných prvků meteorologické situace dne 20. července 2005 24
3. Monitorování vybraných prvků meteorologické situace dne 21. července 2005 26
4. Parametry měření reakčních produktů a vyhodnocení UV/VIS-spektrofotometrem HP8452A ..... 28
5. Distribuce výsledných hodnot zbytkové kontaminace ..... 32

Prohlášení ..... 37

# 1. CÍL ÚKOLU

Dekontaminační účinnost činidla HVĚZDA na bojové chemické látky byla ověřována na základě požadavku ředitele odboru ochrany obyvatelstva MV – GŘ HZS ČR ze dne 1. června 2005. Požadavek byl formulován na základě žádosti fy DECOMKOV s.r.o. Praha zn. DCK/Bal/23/2005 ze dne 24. května 2005 (čj. GŘ HZS ČR: PO-1973/C-2005).

Cílem úkolu bylo posoudit v poloprovozním měřítku účinnost činidla HVĚZDA ve formě roztoku a pěny při dekontaminaci ocelových plechů s nátěrem, kontaminovaných látkou VX a sulfidickým yperitem, a dále zpracovat poznatky z průběhu zkoušek využitelné pro případné nasazení činidla do Armády ČR a IZS. Cíle úkolu vyplývají ze zadání, které je uvedeno v příloze č. 1.

Zadání úkolu specifikovalo provedení kontaminace a následné dekontaminace na venkovním nátěru typu Industrol. O něm je ze závěrů předcházejících výzkumných prací řešitelského pracoviště[1-3] známo, že patří k nejhůře dekontaminovatelným povrchům a že dosažení hodnot povolené zbytkové kontaminace látkou VX a yperitem na tomto povrchu není vzhledem k vysokému stupni difúze i jeho částečnému rozpouštění v bojové chemické látce reálné. Proto v zájmu objektivity ověřování byly za naprosto stejných podmínek ještě provedeny zkoušky dekontaminace dvěma dalšími dekontaminačními směsmi, a to:

- roztokem látky BX 24: jedná se o vysoce účinné a v Evropě uznávané detoxikační činidlo fy Cristanini (Itálie)[4,5];
- chlornanovou směsí: jedná se o směs, kterou jsou v současné době vybaveny jednotky PO pro účely dekontaminace bojových chemických látek[6-9].

K vlastnímu experimentu pak bylo přistoupeno tak, že byly porovnány účinnosti uvedených dekontaminačních směsí, což poskytuje objektivní představu o skutečné účinnosti a využitelnosti činidla HVĚZDA.

# 2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

## 2.1. Podmínky provedení poloprovozních zkoušek

Poloprovozní zkoušky dekontaminace látky VX a sulfidického yperitu byly realizovány pracovníky pracoviště protichemických opatření na Výzkumném a výcvikovém zařízení MV – GŘ HZS ČR, Institutu ochrany obyvatelstva ve dnech 18. - 22. července 2005.

Ve dnech 20. a 21. července 2005 byly provedeny konkrétní zkoušky dekontaminace. Po dobu jejich provádění byly zjišťovány parametry meteorologických podmínek pomocí meteostanice ALMEMO 2390-7 (Ahlborn). Záznam z monitorování meteorologické situace je uveden v příloze č. 2 (20. července) resp. příloze č. 3 (21. července).

## 2.2. Kontaminace povrchů

***Kontaminanty:***

1. O-ethyl-S-(diisopropylaminoethyl)methylthiofosfonát

**látka VX**

(VOZ 072 Zemianské Kostoľany, vyrobeno 28. 6. 1990, číslo atestu 364/90)

Čistota látky byla stanovena odměrnou thiomerkurimetrickou metodou indikovanou potenciometricky sulfidovou iontově selektivní elektrodou[10] na automatickém titrátoru TitroLine alpha plus (výsledky kontroly správné funkce přístroje v metrologickém záznamníku LPZ 10-1):

- koncentrace odměrného roztoku chloridu rtuťnatého: $1{,}003.10^{-2}$ mol/l
- koncentrace látky VX z navážky: 5,372 g/l
- průměrná spotřeba na volné thioly: 3,76 ml
- průměrná spotřeba na celkové thioly: 9,73 ml
- vypočítaná koncentrace látky VX: 3,202 g/l
- čistota: **59,6 %**

2. bis(2-chlorethyl)sulfid

**sulfidický yperit**

(VOZ 072 Zemianské Kostoľany, vyrobeno 15. 1. 1986, číslo atestu 30/86)

Čistota látky byla stanovena odměrnou argentometrickou metodou indikovanou potenciometricky sulfidovou iontově selektivní elektrodou[10] na automatickém titrátoru TitroLine alpha plus (výsledky kontroly správné funkce přístroje v metrologickém záznamníku LPZ 10-1):

- koncentrace odměrného roztoku dusičnanu stříbrného: $9{,}797.10^{-3}$ mol/l
- koncentrace S-yperitu z navážky: 0,650 g/l
- průměrná spotřeba na volné chloridy: 0,23 ml
- průměrná spotřeba na celkové chloridy: 7,99 ml
- vypočítaná koncentrace S-yperitu: 0,605 g/l
- čistota: **93,1 %**

***Zkušební povrchy:***

Ocelové plechy 500 x 500 x 1 mm opatřené nátěrem Industrol S-2013; nátěr nanesen na suchý, odmaštěný povrch plechu; stáří nátěru 15 měsíců.

***Provedení kontaminace zkušebních povrchů:***

Kontaminace byla provedena aerosolem čisté bojové chemické látky připraveného pomocí speciálního rozstřikovače a kompresoru; poloha plechů při kontaminaci 45 $^{o}$.

Kontaminovaná plocha: 1 $m^2$, realizovaný čtyřmi zkušebními plechy vedle sebe.

Výchozí hustota kontaminace:

- látka VX: 2,3 $g/m^2$, tj. **1,4 g/m$^2$** po přepočtu na čistou látku
- sulfidický yperit: 10,0 $g/m^2$, tj. **9,3 g/m$^2$** po přepočtu na čistou látku

Doba expozice: 15 minut.

## 2.3. Dekontaminace

***Dekontaminační směsi:***

1. **Činidlo HVĚZDA** (DECOMKOV s.r.o. Praha) – před použitím smíchán základní detergent s peroxidem vodíku dle pokynů dodavatele, pak bez dalších úprav použito ve formě roztoku a pěny.
2. **Roztok BX 24** (Cristanini S.p.A., Rivoli, Itálie) – rozpuštěním pevné látky připraven vodný roztok o koncentraci 11,3 %hm., pH roztoku upraveno pomocí 30% hydroxidu sodného na 8,5.
3. **Chlornanová směs** – vodný roztok chlornanu sodného (tech., Eurošarm Slatiňany) a hydroxidu sodného (č. Lachema) o obsahu 10 %hm. aktivního chloru a 3 %hm. NaOH.

***Dekontaminační technické prostředky:***

1. Rozstřikovač OS-3 – dodán firmou DECOMKOV s.r.o. Praha
2. Pěnový generátor PZ 9 S (EST+ a.s., Ledeč n. Sáz.)
3. Kompresor ABAC GV 34/24 PCM (ABAC-Aria compressa, Itálie)
4. Ruční postřikovač LUX 2,4 l (Werkzeuge Wermelskirchen)

***Postupy dekontaminace:***

1. Dekontaminace roztokem činidla HVĚZDA

- technický prostředek: rozstřikovač OS-3
- množství směsi: 1 l/m$^2$
- doba působení: 5 minut
- oplach vodou: 5 l/m$^2$

2. Dekontaminace pěnou činidla HVĚZDA

- technický prostředek: pěnový generátor PZ 9 S + kompresor
- tlak: 3,0 bar
- vzdálenost trysky: 40 cm od povrchu
- množství směsi: pokrytí celého povrchu vrstvou pěny 2 cm
- doba působení: 5 minut
- oplach vodou: 5 l/m$^2$

3. Dekontaminace roztokem látky BX 24

- technický prostředek: ruční postřikovač
- množství směsi: 0,9 l/$m^2$
- doba působení: 5 minut
- oplach vodou: 5 l/$m^2$

4. Dekontaminace chlornanovou směsí

- technický prostředek: ruční postřikovač
- množství směsi: 3 l/$m^2$
- doba působení: 5 minut
- oplach vodou: 5 l/$m^2$

Poloha plechů při dekontaminaci činila 45 $^o$. Po oplachu vodou byly plechy ponechány volně na vzduchu uschnout.

Současně s kontaminovanými zkušebními povrchy byly všechny čtyři uvedené dekontaminační postupy aplikovány za stejných podmínek na nekontaminované plechy s nátěrem Industrol S-2013 (slepé pokusy).

## 2.4. Odběr vzorků

K odběru vzorků z povrchů byla pro účely zjištění zbytkové kontaminace použita technika stěrů. Stěry byly prováděny třemi vatovými tampony z jednoho čtverce 10 x 10 cm, vymezeného pomocí šablony, z toho dvěma namočenými v rozpouštědle podle tabulky 1 a třetím suchým. Pro každý dekontaminační postup bylo z každého zkušebního povrchu 50 x 50 cm provedeno 5 stěrů, tj. celkem 20 odebraných vzorků pro každý postup.

Tampony vaty byly vloženy do Erlenmeyerových baněk objemu 250 ml a přelity 50 ml příslušného rozpouštědla podle tabulky 1 k extrakci. Tampony byly v baňkách uzavřených skleněnými zábrusovými zátkami extrahovány na laboratorní třepačce LT 2 (metrologické záznamníky LPZ 12-4 až 12-6) po dobu 30 minut.

Po odpipetování příslušného množství extraktu a jeho případném zředění destilovanou vodou (při stanovení látky VX) resp. ethanolem (při stanovení sulfidického yperitu) následovalo stanovení kontaminantu v extraktu.

Stejným postupem a za stejných podmínek byly pro jednotlivé dekontaminační postupy odebrány tři vzorky z původně nekontaminovaných povrchů (slepé pokusy).

*Tabulka 1*

*Specifikace rozpouštědel použitých k odběru vzorků*

| ***Bojová chemická látka*** | ***Stěr povrchu*** | ***Extrakce tamponů*** |
|---|---|---|
| Látka VX | Methanol ANASOLV-V (p.a., Analytika Praha, SMe001) | Voda |
| Sulfidický yperit | Ethanol (líh jemný zvláště denaturovaný 1 % lékařského benzinu, HOBÉ Pardubice) | Ethanol (líh jemný zvláště denaturovaný 1 % lékařského benzinu, HOBÉ Pardubice) |

## 2.5. Stanovení látky VX v extraktu

Ke stanovení látky VX v extraktu byly použity následující chemikálie:

- Kyselina boritá (p.a., Lachema, číslo šarže 38061 9191)
- Hydroxid sodný (p.a., Lachema, číslo šarže 30711 0899)
- Butyrylthiocholinjodid (č., Lachema, číslo šarže 10138 0697)
- Kyselina 5,5´-dithiobis(2-nitrobenzoová) /Ellmanovo činidlo/ (Fluka, číslo šarže 36422589)
- Hydrogenuhličitan sodný (p.a., Lachema)
- Butyrylcholinesteráza – činidlo č. 10 (Imuna Šarišské Michaľany, číslo šarže 1900291)

Látka VX byla stanovena biochemickou reakcí s Ellmanovým činidlem a fotometrickým vyhodnocením podle literatury[11] za následujících podmínek:

- Doba inkubace: 10 minut
- Doba reakce se substrátem a činidlem: 4 minuty

Absorbance reakčních produktů byla měřena UV/VIS-spektrofotometrem HP8452A (Hewlett Packard GmbH, SRN, výr.č. 3104G02098, výsledky kontroly správné funkce viz

metrologický záznamník LPZ 02-1) při vlnové délce 408 nm. Parametry měření uvádí příloha č. 4.

K temperování vzorků byla použita vodní lázeň W 20 (Prüfgeräte-Werk, Medingen, SRN, metrologický záznamník LPZ 13-2) a k měření času digitální stopky DTS-11 (Pragotron Praha, metrologický záznamník LPZ 15-3).

Ze změřených hodnot absorbance reakčních produktů byl vypočítán stupeň inhibice (%I) extraktu ze vzorce:

$$\%I = \left(1 - \frac{A}{A_0}\right) . 100 ,$$

kde A - absorbance roztoku vzorku,

$A_0$ - absorbance slepého pokusu.

Koncentrace látky VX v extraktu byla odečtena z kalibrační křivky, která byla sestrojena jako závislost stupně inhibice v pravděpodobnostních souřadnicích na koncentraci látky VX v roztoku v logaritmické stupnici v rozsahu koncentrací $4.10^{-4}$ až $3.10^{-3}$ mg/l, což odpovídá hodnotám stupně inhibice 20 až 80 %. Z odečtené hodnoty koncentrace látky VX v extraktu byla po zahrnutí zřeďovacího faktoru vypočítána zbytková kontaminace povrchu látkou VX v jednotkách $mg/m^2$.

## 2.6. Stanovení sulfidického yperitu v extraktu

Ke stanovení sulfidického yperitu v extraktu byly použity následující chemikálie:

- Thymolftalein (ind., Lachema, číslo šarže 0239 0594)
- Hydroxid sodný (p.a., Lachema, číslo šarže 30711 0899)
- Kyselina octová (p.a., 99,8 %, Lachema, číslo šarže 30667 0700)
- Ethanol (líh jemný zvláště denaturovaný 1 % lékařského benzinu, HOBÉ Pardubice).

Sulfidický yperit byl stanoven fotometrickou reakcí s alkalickým thymolftaleinem podle literatury[12] za následujících podmínek:

- Teplota: 77 $^oC$
- Doba reakce: 20 minut

K měření absorbance reakčních produktů, temperování vzorků a měření času byly použity stejné přístroje jako při stanovení látky VX. Parametry měření a vyhodnocení výsledků uvádí příloha č. 4.

Koncentrace sulfidického yperitu v extraktu byla vypočítána automaticky softwarem přístroje HP8452A z kalibrační přímky, která byla sestrojena jako závislost plochy absorpčního pásu v rozmezí vlnových délek 408 – 482 nm (viz příloha č. 4) na koncentraci sulfidického yperitu v roztoku v rozsahu koncentrací 1,0 až 35 mg/l. Z odečtené hodnoty koncentrace sulfidického yperitu v extraktu byla po zahrnutí zřeďovacího faktoru vypočítána zbytková kontaminace povrchu sulfidickým yperitem v jednotkách $mg/m^2$.

## 2.7. Vyhodnocení naměřených dat

Stanovené hodnoty zbytkové kontaminace byly statisticky vyhodnoceny pomocí statistického software[13]. V prvém kroku bylo provedeno zjištění statisticky odlehlých dat. K tomu byl použit Grubbsův test, Grubbsův test párový a Dixonův test. Na základě výsledků těchto testů nemusel být žádný ze stanovených výsledků vyloučen a dále bylo pracováno s úplnými soubory 20 dat.

U naměřených souborů pro jednotlivé bojové chemické látky a dekontaminační postupy byly vypočítány hodnoty průměrné zbytkové kontaminace ($mg/m^2$), opakovatelnosti (směrodatné odchylky, $mg/m^2$) a relativní opakovatelnosti (relativní směrodatné odchylky, %). Z výchozí hustoty kontaminace byla vypočítána dekontaminační účinnost v procentech jako rozdíl výchozí a zbytkové kontaminace dělený výchozí hodnotou kontaminace. Dále byla pomocí Komolgovova – Smirnovova testu posouzena normalita naměřených dat. U postupů, jimiž bylo dosaženo blízkých hodnot zbytkové kontaminace, byla testována statistická významnost rozdílů průměrných hodnot zbytkové kontaminace pomocí t-testu. Protože tento test má různé parametry pro soubory se statisticky shodnými a rozdílnými rozptyly, bylo nejprve nutné pro příslušnou dvojici souborů provést F-testem posouzení shody rozptylů.

# 3. VÝSLEDKY A DISKUSE

## 3.1. Dekontaminace látky VX

Výsledné hodnoty zbytkové kontaminace zkušebních povrchů látkou VX shrnuje tabulka 2. K ní je v prvé řadě nutné znovu připomenout, že nemá žádný praktický význam hodnotit zbytkovou kontaminaci na nátěru Industrol S-2013 s ohledem na nejvýše přípustnou hodnotu. Dosažení hodnot povolené zbytkové kontaminace látkou VX na tomto povrchu je totiž vzhledem k vysokému stupni difúze i částečnému rozpouštění nátěru v bojové chemické látce nereálné[1-3]. Pro srovnání je např. možné uvést, že firma Cristanini deklaruje[4,5] vysokou účinnost své směsi BX 24 na látku VX pro alkydové nebo polyuretanové nátěry, u nichž je všeobecně známa minimální difúze i adheze kontaminantů, a pro výchozí hustotu kontaminace 0,2 g/m$^2$. Proto je pro hodnocení výsledků zajímavější a informativnější porovnání účinnosti jednotlivých použitých směsí.

*Tabulka 2*

*Vyhodnocení hodnot zbytkové kontaminace nátěru Industrol S-2013 látkou VX*
*(hladina významnosti $\alpha$ = 0,05, počet měření n = 20)*

| ***Dekontaminační postup*** | ***Roztok HVĚZDA*** | ***Pěna HVĚZDA*** | ***Roztok BX 24*** | ***Chlornanová směs*** |
|---|---|---|---|---|
| Průměrná hodnota zbytkové kontaminace, mg/m$^2$ | **71** | **13** | **62** | **71** |
| Opakovatelnost, mg/m$^2$ | 20,3 | 1,6 | 18,8 | 21,8 |
| Relativní opakovatelnost, % | 28,6 | 12,5 | 30,3 | 30,7 |
| Dekontaminační účinnost, % | 94,93 | 99,07 | 95,57 | 94,93 |
| Vypočítaná hodnota testu na normalitu naměřených dat (kritická hodnota testu 0,192) | 0,185 | 0,180 | 0,154 | 0,163 |

Všechny naměřené soubory mají normální rozdělení. Z tabulky je zřejmé, že pěna přípravku HVĚZDA výrazně ve své účinnosti předčila ostatní ověřované směsi a postupy. Kvalitní dekontaminační účinky této směsi na látku VX ovšem nevyplývají jenom z nízké

hodnoty zbytkové kontaminace, ale i z nízké hodnoty relativní směrodatné odchylky. Tato vlastnost je ještě lépe patrná z distribučních grafů výsledných hodnot zbytkové kontaminace, které uvádí příloha č. 5. Tyto grafy vymezují podíl výsledků, které leží v oblasti ± 10 % průměrné hodnoty zbytkové kontaminace, dále v oblastech 10 až 20 % průměrné hodnoty a v oblastech nižších resp. vyšších než 20 % průměru. Jak z hodnoty směrodatné odchylky tak z distribučních grafů vyplývá pro dekontaminaci pěnou HVĚZDA ve srovnání s ostatními dekontaminačními postupy vysoká reprodukovatelnost výsledných hodnot, která mj. dokumentuje i vyšší spolehlivost postupu dekontaminace, neboť jen minimum hodnot nabývá vysokých hodnot. Tuto vlastnost diskutovaného postupu lze vysvětlit tím, že aplikace pěny představuje dokonalé pokrytí povrchu a jeho rovnoměrnou dekontaminaci po celé ploše, což není v případě aplikace roztoků zřejmě splněno.

K porovnání hodnot zbytkové kontaminace dosažených ostatními postupy bylo provedeno statistické testování shodnosti průměrů naměřených souborů, které je shrnuto v tabulce 3. Testy dokazují, že rozdíl v dekontaminační účinnosti roztoku HVĚZDA a chlornanové směsi není statisticky významný, zatímco roztokem BX 24 je ve srovnání s těmito směsmi dosahováno nižších hodnot zbytkové kontaminace látkou VX.

*Tabulka 3*

*Statistické porovnání průměrných hodnot zbytkové kontaminace látkou VX dosažených vybranými dekontaminačními postupy (hladina významnosti $\alpha = 0,05$, počet měření n = 20)*

| ***Porovnávané dekontaminační postupy*** | ***Statistický test*** | ***Kritická hodnota*** | ***Vypočítaná hodnota*** | ***Závěr testu*** |
|---|---|---|---|---|
| 1. Roztok HVĚZDA | Shodnost rozptylů | 4,026 | 1,153 | Hypotéza o shodnosti rozptylů přijata |
| 2. Chlornanová směs | Shodnost průměrů (pro shodné rozptyly) | 2,101 | 0,081 | Hypotéza o shodnosti průměrů přijata |
| 1. Roztok HVĚZDA | Shodnost rozptylů | 4,026 | 66,91 | Hypotéza o shodnosti rozptylů zamítnuta |
| 2. Roztok BX 24 | Shodnost průměrů (pro rozdílné rozptyly) | 2,145 | 2,647 | Hypotéza o shodnosti průměrů zamítnuta |

## 3.2. Dekontaminace sulfidického yperitu

Výsledné hodnoty zbytkové kontaminace zkušebních povrchů sulfidickým yperitem jsou uvedeny v tabulce 4. Přitom pro porovnání dosažených hodnot zbytkové kontaminace a hodnot nejvýše přípustných platí plně všechny skutečnosti uvedené u látky VX (kap. 3.1.) nebo platí v ještě větší míře.

*Tabulka 4*

*Vyhodnocení hodnot zbytkové kontaminace nátěru Industrol S-2013 sulfidickým yperitem (hladina významnosti $\alpha$ = 0,05, počet měření n = 20)*

| ***Dekontaminační postup*** | ***Roztok HVĚZDA*** | ***Pěna HVĚZDA*** | ***Roztok BX 24*** | ***Chlornanová směs*** |
|---|---|---|---|---|
| Průměrná hodnota zbytkové kontaminace, mg/m$^2$ | **209** | **165** | **177** | **152** |
| Opakovatelnost, mg/m$^2$ | 62,8 | 31,0 | 43,0 | 29,4 |
| Relativní opakovatelnost, % | 30,2 | 18,8 | 24,3 | 19,4 |
| Dekontaminační účinnost, % | 97,8 | 98,2 | 98,0 | 98,4 |
| Vypočítaná hodnota testu na normalitu naměřených dat (kritická hodnota testu 0,192) | 0,187 | 0,134 | 0,107 | 0,153 |

Všechny naměřené soubory mají normální rozdělení. Z tabulky je zřejmé, že rozdíly v dekontaminační účinnosti jednotlivých postupů nejsou tak výrazné, jako tomu bylo v případě látky VX. Celkově je výsledné hodnoty zbytkové kontaminace yperitem možno označit za srovnatelné.

K posouzení rozdílnosti průměrných hodnot zbytkové kontaminace sulfidickým yperitem byla testována statistická shoda výsledků; vyhodnocení je provedeno v tabulce 5. Vyplývá z ní, že nejnižších hodnot zbytkové kontaminace bylo dosaženo dekontaminací chlornanovou směsí. Rozdíl mezi účinností postupů s pěnou HVĚZDA a roztokem BX 24 není statisticky významný. Dekontaminace yperitu roztokem HVĚZDA byla ve srovnání s ostatními ověřovanými postupy nejméně účinná.

*Tabulka 5*

*Statistické porovnání průměrných hodnot zbytkové kontaminace sulfidickým yperitem dosažených vybranými dekontaminačními postupy (hladina významnosti $\alpha = 0,05$, počet měření n = 20)*

| ***Porovnávané dekontaminační postupy*** | ***Statistický test*** | ***Kritická hodnota*** | ***Vypočítaná hodnota*** | ***Závěr testu*** |
|---|---|---|---|---|
| 1. Chlornanová směs | Shodnost rozptylů | 4,026 | 1,048 | Hypotéza o shodnosti rozptylů přijata |
| 2. Pěna HVĚZDA | Shodnost průměrů (pro shodné rozptyly) | 2,101 | 2,619 | Hypotéza o shodnosti průměrů zamítnuta |
| 1. Pěna HVĚZDA | Shodnost rozptylů | 4,026 | 2,257 | Hypotéza o shodnosti rozptylů přijata |
| 2. Roztok BX 24 | Shodnost průměrů (pro shodné rozptyly) | 2,101 | 0,533 | Hypotéza o shodnosti průměrů přijata |
| 1. Roztok HVĚZDA | Shodnost rozptylů | 4,026 | 4,349 | Hypotéza o shodnosti rozptylů zamítnuta |
| 2. Roztok BX 24 | Shodnost průměrů (pro rozdílné rozptyly) | 2,145 | 2,270 | Hypotéza o shodnosti průměrů zamítnuta |

Podobně jako při dekontaminaci látky VX bylo pěnou HVĚZDA ve srovnání s ostatními dekontaminačními postupy dosaženo nejnižších hodnot relativní směrodatné odchylky. Reprodukovatelnost výsledných hodnot vyplývá i z grafů distribuce výsledků v příloze č. 5 a opět dokumentuje vyšší spolehlivost postupu dekontaminace pěnou. V případě dekontaminace sulfidického yperitu však podobný efekt poskytuje rovněž aplikace chlornanové směsi.

## 3.3. Srovnání ověřovaných dekontaminačních látek a směsí

Poznatky z provedených poloprovozních zkoušek a zkušenosti řešitelského pracoviště s ověřovanými dekontaminačními postupy dovolují nejen provést hodnocení dekontaminační účinnosti ověřovaných látek a směsí, ale i jejich porovnání z hlediska některých dalších

užitných vlastností, které jsou důležité ke zvážení jejich případného zavedení do jednotek HZS ČR.

Dekontaminace pěnou HVĚZDA nečiní žádné technické ani jiné potíže a postup poskytuje všechny výhody principu dekontaminace pěnou, jako jsou možnost rovnoměrného pokrytí svislých povrchů, příp. stropů, jeho vizuální kontroly a snížené množství směsi potřebné k dekontaminaci jednotkové plochy. Při přípravě směsi, tj. při smísení základního roztoku detergentu s peroxidem vodíku, došlo po promíchání ke značnému napěnění roztoku za úniku plynů (kyslíku) a překypění zásobní nádoby, což by v praxi mohlo činit potíže. Ke stejnému efektu však došlo při rozpouštění pevné látky BX 24, a to i za podmínek, kdy byla rozpouštěna po malých podílech.

Při aplikaci směsi látky BX 24 navíc docházelo k ucpávání trysky ručního postřikovače v důsledku nedokonalého rozpuštění látky i po delší době. Proto je zásobní nádobu postřikovače nutné plnit přes vhodné sítko, což poněkud prodlužuje přípravu směsi. Tato nutnost u směsi HVĚZDA odpadá.

Pro posouzení skladovatelnosti prostředku HVĚZDA, které úzce souvisí též se stabilitou dekontaminační směsi, nemá řešitelské pracoviště potřebné podklady. Z ostatních ověřovaných látek je pro praxi výrazně vhodnější látka BX 24, jejíž skladování nečiní žádné problémy a má dlouhou dobu životnosti. Chlornan sodný je značně nestabilní a při skladování za nevhodných podmínek (zejména na teplých místech a za přístupu světla) rychle uvolňuje chlor, který ve skladech jednotek HZS ČR již způsobil nejednu havárii doprovázenou explozí nádob. Kromě toho působí chlor vysoce agresivně na všechny materiály náchylné ke korozi.

Vybrané exploatační vlastnosti ověřovaných dekontaminačních látek a směsí jsou porovnány v tabulce 6.

*Tabulka 6*

*Porovnání vybraných parametrů ověřovaných dekontaminačních látek a směsí*

| ***Parametr hodnocení*** | ***Roztok HVĚZDA*** | ***Pěna HVĚZDA*** | ***Roztok BX 24*** | ***Chlornanová směs*** |
|---|---|---|---|---|
| Dekontaminační účinnost na látku VX | Stejná jako chlornanová směs, nižší než BX 24 a pěna HVĚZDA | Ve srovnání s ostatními výrazně nejvyšší | Nižší než pěna HVĚZDA, vyšší než roztok HVĚZDA a chlornanová směs | Stejná jako roztok HVĚZDA, nižší než BX 24 a pěna HVĚZDA |
| Dekontaminační účinnost na sulfidický yperit | Nejnižší ve srovnání s ostatními | Stejná jako BX 24, nižší než chlornanová směs, vyšší než roztok HVĚZDA | Stejná jako pěna HVĚZDA, nižší než chlornanová směs, vyšší než roztok HVĚZDA | Nejvyšší ve srovnání s ostatními |
| Technické zabezpečení dekontaminace | Nenáročné, postačuje ruční postřikovač | Nezbytný pěnový generátor | Nenáročné, postačuje ruční postřikovač | Nenáročné, postačuje ruční postřikovač |
| Množství k dekontaminaci 1 $m^2$ povrchu | 1 litr směsi | cca 0,2 litrů směsi | 0,9 litrů směsi (102 g látky) | 3 litry směsi |
| Spolehlivost dekontaminace | Ve srovnání s ostatními poněkud nižší | Ve srovnání s ostatními nejvyšší | Ve srovnání s ostatními poněkud nižší | Na yperit vysoká, na látku VX poněkud nižší |
| Vizuální kontrola pokrytí povrchu | ne | ano | ne | ne |
| Dekontaminace svislých povrchů a příp. stropů | ne – stéká a nezajišťuje potřebnou dobu působení | ano | ne – stéká a nezajišťuje potřebnou dobu působení | ne – stéká a nezajišťuje potřebnou dobu působení |
| Příprava dekontaminační směsi | při mísení komponent napěnění roztoku za úniku plynů a překypění nádoby | | při mísení komponent napěnění roztoku za úniku plynů a překypění nádoby; nerozpustí se úplně – nutnost filtrace | nečiní problémy |
| Skladování látky (směsi) | IOO nemá potřebné podklady | | nečiní problémy | velmi problematické, uvolňování chloru, značné korozivní působení |
| Stabilita látky (směsi) | IOO nemá potřebné podklady | | min. 10 let | max. 2 roky |

# 4. ZÁVĚR

Na základě žádosti fy DECOMKOV s.r.o. Praha byla v poloprovozním měřítku ověřena účinnost činidla HVĚZDA ve formě roztoku a pěny při dekontaminaci ocelových plechů s nátěrem Industrol S-2013, kontaminovaných látkou VX a sulfidickým yperitem. Vzhledem k tomu, že nátěr typu Industrol patří mezi nejhůře dekontaminovatelné povrchy, byly v zájmu objektivity ověřování za naprosto stejných podmínek ještě provedeny zkoušky dekontaminace roztokem látky BX 24, jako vysoce účinným a v Evropě uznávaným detoxikačním činidlem, a chlornanovou směsí, kterou jsou v současné době vybaveny jednotky PO pro účely dekontaminace bojových chemických látek. K vytvoření představy o skutečné účinnosti a využitelnosti činidla HVĚZDA byly porovnány účinnosti uvedených dekontaminačních směsí.

Zkoušky ukázaly, že dekontaminace pěnou činidla HVĚZDA je výrazně účinnější než dekontaminace činidlem ve formě roztoku. Vedle toho pěnový způsob dekontaminace vykazuje celou řadu dalších výhod. Ve srovnání s ostatními ověřovanými postupy vykazovala dekontaminace pěnou HVĚZDA výrazně nejvyšší účinnost na látku VX. Při dekontaminaci sulfidického yperitu byla účinnost tohoto prostředku shodná s roztokem látky BX 24 ale nižší než účinnost chlornanové dekontaminační směsi.

Celkově je možné konstatovat, že činidlo HVĚZDA představuje kvalitní dekontaminační směs. Zcela bezpochyby bude vysoce účinné i na bojové chemické látky typu G (sarin, soman), neboť je známo, že reakce alkylfluorfosfonátů a alkylfluorfosfátů s peroxidovými ionty je velmi rychlá a kvantitativní.

K případnému zavedení dekontaminační směsi do vybavení jednotek PO nelze v této fázi činit žádné závěry, neboť řešitelské pracoviště nemá k dispozici podklady týkající se stability směsi, skladovacích podmínek, ceny apod.

# 5. LITERATURA


1. ČAPOUN, T. aj.: Odmořovací účinnost průmyslových odpadů. [Výzkumná zpráva]. Pardubice, VÚ CO ČSSR 1986.
2. ČAPOUN, T. - ŠVÁB, J. - KRYKORKOVÁ, J.: Odmořovací účinnost pěn II. [Výzkumná zpráva]. Pardubice, VÚ CO ČSSR 1989.
3. ČAPOUN, T. - ŠVÁB, J.: Odmořování tlakovou parou. [Výzkumná zpráva]. Pardubice, VÚ CO ČSFR 1990.
4. BX 24. For the Decontamination of Equipment and Materials from Chemical and Biological Weapons. Cristanini S.p.A., Rivoli Veronese 2004.
5. The Best and Most Advanced Solution for the B.C. Detoxification and N. Decontamination. Cristanini S.p.A., Rivoli Veronese 2004.
6. ČAPOUN, T. – KALA, D. – SEVERA, J. – FIŠER, Z.: Zhodnocení možností a potřeb hasičských jednotek při provádění dekontaminace. Část detoxikace. [Výzkumná zpráva]. Lázně Bohdaneč, MV, GŘ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva 2002.
7. ČAPOUN, T. – KALA, D.: Současný stav zabezpečení dekontaminace u jednotek HZS ČR. In: Informační zpravodaj MV, GŘ HZS ČR, Institutu ochrany obyvatelstva, 14, č.2, L. Bohdaneč 2003, s 5.
8. ČAPOUN, T. – KALA, D.: Možnosti a potřeby hasičských jednotek při provádění dekontaminace. Sborník mezinárodní konference DEKONTAM 2004. SPBI Ostrava 2004, s. 13.
9. LOČÁREK, M. – ČAPOUN, T. – URBAN, I.: Návrh metodických pokynů k provádění dekontaminace. [Výzkumná zpráva]. Lázně Bohdaneč, MV, GŘ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva 2004.
10. Analýza vysoce toxických látek v chemických laboratořích HZS ČR. Metodické postupy. Příloha 12: Stanovení čistoty vzorků otravných látek. Pokyn generálního ředitele HZS ČR a náměstka ministra vnitra č. 30/2002. MV – GŘ HZS ČR, Praha 2002.
11. Analýza vysoce toxických látek v chemických laboratořích HZS ČR. Metodické postupy. Příloha 3: Stanovení látek inhibujících cholinesterázu biochemickou reakcí. Pokyn generálního ředitele HZS ČR a náměstka ministra vnitra č. 30/2002. MV – GŘ HZS ČR, Praha 2002.
12. Analýza vysoce toxických látek v chemických laboratořích HZS ČR. Metodické postupy. Příloha 4: Fotometrické metody. Pokyn generálního ředitele HZS ČR a náměstka ministra vnitra č. 30/2002. MV – GŘ HZS ČR, Praha 2002.
13. EffiValidation 3.0. EffiChem, Oulehla, 2002.

**Příloha č. 1**

# ZADÁNÍ ÚKOLU