

ODOLNOST KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ HYDRATAČNÍCH VAKŮ PROTI BOJOVÝM CHEMICKÝM LÁTKÁM A JEJICH SROVNÁNÍ

THE HYDRATION BAGS CONSTRUCTIVE MATERIALS RESISTANCE AGAINST CHEMICAL WARFARE AGENTS AND THEIR COMPARISON

Jan Kiszka^a, Stanislav Florus^{b*}, Pavel Otřísal^b^a Univerzita obrany Brno, Kounicova 65, 662 10 Brno, Česká republika^b Ústav ochrany proti zbraním hromadného ničení, Univerzita obrany Brno, Sídliště Vita Nejedlého, 682 01 Vyškov

*Korespondující autor. e-mail: stanislav.florus@unob.cz, tel.: +420 973 452 332

Abstrakt

Při práci v kontaminovaných prostorech, kde musí vojáci provádět činnost s nasazenými prostředky individuální ochrany, hrozí velké riziko přehřátí a dehydratace organismu. Platné dokumenty Armády České republiky (dále jen AČR) ukládají zabezpečit chráněné osobě dostatečný přísun tekutin při práci v ochranných prostředcích v závislosti na teplotě prostředí a charakteru vykonávané práce. Pro tuto činnost je však nezbytné vybavit vojáka hydratačním zařízením, které je odolné proti bojovým chemickým látkám a jehož konstrukce umožňuje použití tohoto zařízení s nasazenými prostředky individuální ochrany, případně další výbrojí a výstrojí. Nejdůležitějším faktorem však je, aby konstrukční materiály těchto zařízení byly odolné pro bojové chemické látky. Cílem experimentální práce bylo ověřit odolnost konstrukčních materiálů hydratačních zařízení a jejich vzájemné srovnání. Pro porovnání byla zkoušena zařízení s deklarovanou odolností pro bojové chemické látky a bez ní.

Klíčová slova: *Odolnost konstrukčních materiálů, rezistenční doba, sírový yperit, hydratační zařízení, dehydratace organismu, bojové chemické látky*

Abstract

When working in contaminated areas, where soldiers must carry out activities using individual protective equipment, there is a high risk of overheating and dehydration. In accordance with the valid documents of the Army of the Czech Republic, a person using protective equipment has to be provided with an adequate fluid intake. The volume of the water depends on the temperature of the environment and the character of the work performed. To perform the work, it is necessary to provide the soldier with a hydration device that is resistant to chemical warfare agents and has a structure that allows its use when means of personal protection or other equipment is used. Most importantly, however, the constructive materials of such devices have to be resistant to chemical warfare agents. The aim of the experimental work was to verify the resistance of the constructive materials of hydration devices and to compare them. For the comparison purposes, devices designed to provide resistance to chemical warfare agents and those that did not provide it were tested.

Key words: *Constructive materials resistance, breakthrough time, mustard gas, hydration device, organism dehydration, chemical warfare agents*

1. ÚVOD

Práce v prostředcích individuální ochrany (dále jen PIO) představuje pro jejich uživatele značné zatížení. V první řadě se jedná o poměrně velké psychické zatížení, které je spojeno se skutečností, že se jejich uživatel nachází v nebezpečném prostředí, od kterého jej oddělují jen použité ochranné prostředky. V uvedeném případě je přesvědčení o kvalitě ochranných prostředků, tedy o jejich odolnosti proti aktuálnímu kontaminantu a o jejich správné funkci a neporušenosti, základním předpokladem pro to, aby byl uživatel vůbec ochoten podstoupit riziko práce v kontaminovaném prostředí. Ochota pracovat v kontaminovaném prostředí je podmíněna i znalostmi samotného uživatele, a to jak o vlastnostech kontaminantu a jeho možných účincích na organismus, tak i o ochranných vlastnostech samotných PIO. Dalším faktorem, který na osoby ve zvýšené míře působí, je tepelné zatížení způsobené částečnou či úplnou izolací těla PIO a nemožností jejich úpravy, hmotností samotných PIO, které vytváří dodatečné zatížení jejich nositelům, výdejem energie způsobeným vykonávanou prací ztíženou nutností užití PIO a psychickým stresem s tím spojeným, tělesnou kondicí samotného uživatele a rovněž teplotou okolního prostředí. Zatížení spojená s používáním PIO vedou ke ztrátě tekutin v organismu v důsledku pocení, tedy mechanismu, jehož účelem je ochladit organismus a zabránit tak jeho přehřátí. Nedostatek tekutin v organismu, který při používání PIO může nastat během několika desítek minut, nazýváme akutní dehydratací, pro kterou je charakteristická ztráta jednoho a více procent tělesné hmotnosti [1-3]. Ačkoliv je potřeba hydratace organismu známá a existují doporučená množství, která je potřeba organismu při daných teplotních podmínkách a při použití určitého ochranného prostředku nebo kombinace ochranných prostředků dodat [4], vlastní realizace v podmínkách práce v kontaminovaném prostředí může narážet na problémy spojené s technickým zabezpečením tohoto procesu a s jeho bezpečností pro uživatele.

V současné době je možné v kontaminovaném prostředí používat dva základní prostředky pro hydrataci organismu za předpokladu, že je obličejová maska vybavena zařízením pro příjem tekutin – polní láhev se speciální zátkou a hydratační vak s propojovacím konektorem umožňujícím propojení vaku se zařízením pro příjem tekutin obličejové masky. Nevýhodou použití polní láhve je její malý objem, zpravidla okolo 0,8 litru, poměrně dlouhá, relativně složitá a ne vždy bezpečná manipulace s polní láhví při jejím připojování na zařízení pro příjem tekutin a nakonec diskontinuální příjem kapaliny. Na druhou stranu hydratační vaky mohou mít objem až několik litrů, což vystačí pro práci po dobu několika hodin, mohou být trvale propojeny se sacím ventilem obličejové masky a umožňují kontinuální příjem tekutin. Jejich určitou nevýhodou může být velikost a konstrukční uspořádání, které může být limitující při používání hydratačního vaku spolu s dalším nezbytným vybavením uživatele pro činnost v kontaminovaném prostředí.

Jakkoliv může být použití hydratačních vaků výhodné, nutnou podmínkou jejich užití je odolnost vůči předpokládaným škodlivinám, jejichž účinku bude vystaven. Hydratační vaky nemusí být však nutně chemicky odolné, pokud budou nošeny v pododěvovém prostoru a ochranné oděvy budou zabezpečovat jejich ochranu před kontaminanty přítomnými ve vnějším prostředí. Toho je možné dosáhnout i použitím odolných obalů, které budou chránit vlastní zásobník tekutiny a je možné je tak používat na ochranných prostředcích.

Na trhu je možné v současné době nalézt celou řadu hydratačních vaků. Nejjednodušší hydratační vaky představují jen zásobník vody s napouštěcím otvorem opatřeným šroubovací uzávěrem s těsněním, se sací hadicí s kohoutem a sacím ventilem. Pro použití je vak vkládán do běžného tlumoku. Hydratační zařízení pro potřeby armády tvoří soupravu, která je většinou složena z tlumoku a vlastního hydratačního vaku opatřeného uzavíratelným plnicím otvorem, sací hadicí s kohoutem a sacím ventilem. Konstrukční uspořádání a odolnost konstrukčních materiálů pak záleží na tom, zdali je nebo není hydratační zařízení určeno pro práci v prostředí kontaminovaném bojovými chemickými látkami (dále jen BCHL).

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Použité chemikálie, pomůcky a zařízení a hydratační vaky

a) použité chemikálie

Chloramid CNITI-8 [*N*-chlor-*N*-(2-tolyl)benzamid] (vlastní výroba, bot tání 71-72 °C, použit 1,5% roztok v tetrachlormetanu), tetrachlormetan (Merck, Darmstadt, SRN, 99%), Kongo červeň, indikátor pro mikroskopii (Merck, Darmstadt, SRN, k měření použit vodně-alkoholický roztok (1:1) o koncentraci 1 g.dm⁻³), ethanol absolutní pro HPLC (Scharlau Chemie, S. A. Barcelona, Španělsko), bis(2-chlorethyl)sulfid – obsah účinné látky 89,9 % (VOZ 072 Zemianské Kostolany, Slovenská republika), chloramid T s obsahem aktivního chloru 26 % k dekontaminaci zařízení, použit jako 10% vodně-alkoholický roztok (1:1) (Bochemie, Bohumín, Česká republika, 81 %).

b) použité pomůcky a zařízení

Biologický inkubátor FRIOCEL 111 (BMT Medical Technology s.r.o., Brno, Česká republika), rozprašovač DESAGA SG1B (Desaga GmbH, Wiesloch, Německo), tloušťkoměr Mitutuyo ABSOLUTE (Mitutuyo Corporation, Kawasaki, Japonsko), přípravky k metodě MIKROTEST obsahující dva kusy krycích skel o rozměrech 70 x 70 mm a tloušťce 2 mm, pryžovou masku vyrobenou z brombutylkaučuku o rozměrech 70 x 70 mm a tloušťce 2 mm se středovým otvorem o průměru 20 mm a dvě svorky MAULY 25 mm, přípravky k metodě MINITEST obsahující krycí sklo o rozměru 180 x 130 mm a tloušťce 2 mm, kovovou masku o rozměrech 180 x 130 mm a tloušťce 2 mm s dvaceti otvory o průměru 20 mm, PVDF desku o rozměrech 180 x 130 mm a tloušťce 10 mm s dvaceti otvory o průměru 20 mm vyvrtanými do poloviny tloušťky desky, do kterých byly vkládány skleněné frity, čtyři svorky MAULY 25 mm, bílé papírové ubrousky s neutrálním výluhem.

c) Použité hydratační vaky

Ve výzbroji AČR je hydratační prostředek zavedený pod označením „Tlumok na vodu“ (Obrázek 1), jež je tvořen batohem, jehož výrobcem je společnost S. P. M. Liberec spol. s r. o. [5] s vloženým rezervoárem na tekutinu s integrovanou sací hadičkou opatřenou náustkem. Samotný rezervoár na vodu o objemu 3 litry je od společnosti CAMELBAK. V horní části vaku je plnicí otvor opatřený víkem. Vak je vyroben z termoplastického polyuretanu. Vlastní batoh má jednu hlavní kapsu zapínanou pomocí zdrhovadla, ve které je umístěn vak na vodu, a dvě přední

kapsy zapínané pomocí zdrhovadla s částečně otevřeným dnem. Na zádové straně jsou upevněny dva nastavitelné ramenní popruhy s hrudním a bederním popruhem umožňující fixaci batohu na těle proti pohybu. Hlavní kapsa je částečně tepelně izolovaná a je tvořena vnějšími vrstvami tkaniny, mezi které je vložena izolační vrstva. Na zádové straně jsou všechny vrstvy vzájemně prošity. Přední kapsy jsou tvořeny jednou vrstvou tkaniny. Tkanina je opatřena maskovacím potiskem AČR v pouštním provedení. Sací hadička je chráněna tkaninou. Výrobce není stanovena odolnost vaku vůči BCHL.

Obrázek 1: Tlumok na vodu AČR s hydratačním vakem CamelBak



Hydratační vak značky Source Gear Tactical model Tactical 3L (Obrázek 2) tvoří batoh a vak na vodu o objemu 3 litry. Batoh má jednu hlavní kapsu, do které se vkládá vak na vodu. Na zadní straně jsou dva nastavitelné ramenní popruhy, které je možné fixovat hrudním popruhem. Vak na vodu je vyroben z koextrudovaného polyetylenu. Ve spodní části vaku je připevněna sací hadička, která je vrstvená. V horní části je plnicí otvor opatřený šroubovacím závitem a uzavíraný víkem. Vak je možné pomocí šroubení připojit k batohu, který má pro tento účel vytvořen otvor, a což umožňuje plnit vak bez nutnosti jeho vyjímání z batohu. Batoh je tvořen vnější tkaninou a vnitřní nylonovou vrstvou, mezi kterými je vložena izolační vrstva [6]. Hydratační vak byl 4,5 roku pravidelně používán, čemuž odpovídalo i jeho opotřebení. Výrobce není stanovena odolnost vaku vůči BCHL.

Obrázek 2: Hydratační vak značky Source Gear Tactical model Tactical 3L



Hydratační vak společnosti Source™ typ MAX CBRN 3L (Obrázek 3) má podobné konstrukční uspořádání jako vak Tactical 3L. Je tvořen batohem a vakem na vodu o objemu 3 l. Vak je odolný vůči BCL. Podle výrobce je vak schopen vydržet šestihodinové působení yperitu, sarinu a látky VX po třicetidenním operačním používání. Výrobce udává materiál hydratačního vaku je směs polyetylenu a polyamidu [7]. Konstrukční uspořádání je podobné jako u modelu Tactical 3L.

Obrázek 3: Hydratační vak společnosti Source™ typ MAX CBRN 3L



2.2 Použité metody měření

K měření odolnosti konstrukčních materiálů byly použity dvě metody. Metoda MIKROTEST [8] byla použita k měření odolnosti konstrukčních materiálů pro kapalný sírový yperit a metoda MINITEST [9, 10] k měření odolnosti konstrukčních materiálů pro páry sírového yperitu. Obě metody vyžívají k detekci sírového yperitu indikační papír, který je tvořen dostatečně hustým

tenkým bílým papírem s neutrálním výluhem postupně impregnovaný vodně alkoholickým roztokem (1:1) Kongo červeně o koncentraci 1 g.dm^{-3} a po jeho zaschnutí následně 1,5% roztokem chloramidu CNITI-8 [*N*-chlor-*N*-(2-tolyl)benzamid] v chloridu uhličitém. Takto připravený detekční papír má červenou barvu. Vlastní detekční reakce je dvoustupňová, kdy sírový yperit reaguje s chloramidem CNITI-8 za uvolnění chlorovodíku, který pak reaguje s acidobazickým indikátorem Kongo červení za vzniku modrého zbarvení v místě průniku sírového yperitu. Pro měření odolnosti sacích hadiček hydratačního vaku byla vyvinuta nová metodika, která využívá stejný mechanismus k detekci prošlého yperitu jako metody MIKROTEST a MINITEST.

2.3 Příprava vzorků jednotlivých částí hydratačních vaků k měření

K získání ucelených výsledků o chemické odolnosti konstrukčních materiálů hydratačních vaků pro metody MIKROTEST a MINITEST byly vystřiženy vzorky tak, aby byly nepoškozeny a byly homogenní, tzn., neobsahovaly například zesílení u polymerních částí a měly stejnou vizuální kvalitu. Celkem bylo připraveno pět typů vzorků:

- fólie hydratačního vaku pro měření účinku kapalné a plynné fáze BCHL;
- vnější tkanina batohu;
- kombinace tvořená vnější tkaninou batohu – vnitřní izolační vrstvou – vnitřní tkaninou batohu;
- kombinace tvořená vnější tkaninou batohu – vnitřní izolační vrstvou – vnitřní tkaninou batohu – fólií hydratačního vaku;
- sací hadička hydratačního vaku.

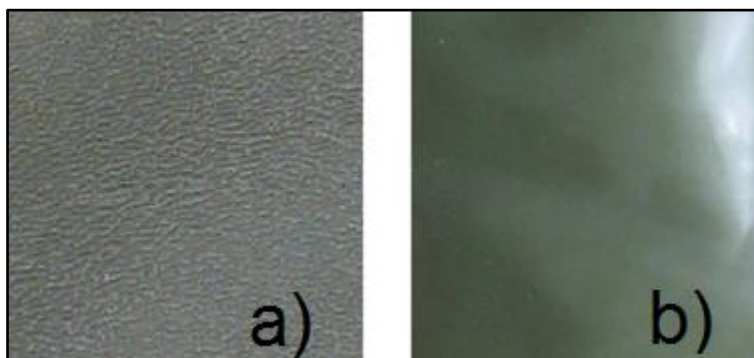
Pro metodu MIKROTEST byl z každého hydratačního vaku připraven maximální počet vzorků o rozměrech umožňující spolehlivé změření chemické odolnosti. Pro metodu MINITEST, která je určena k měření odolnosti pro páry BCHL, byly připraveny vzorky, které umožnily provést měření na co největším počtu z dvaceti měřících míst vymezených na PVDF desce, do kterých je dávkován sírový yperit. Hadičky byly nařezány na délku 60 mm a pro měření byly užity hadičky bez vnějších textilních obalů, které nemají pro jejich odolnost význam a chrání hadičku před mechanickým poškozením typu oděru. Všechny vzorky byly očíslovány, byla u nich změřena tloušťka a u sacích hadiček jejich vnější průměr, protože hadičky neumožnily přesně změřit tloušťku stěny z důvodu nemožnosti jejich rozvinutí do plošného útvaru umožňujícího použití standardních měřidel.

2.4 Zpracování výsledků měření

Výsledky měření tloušťky a rezistenčních dob (dále jen RD) byly statisticky zpracovány pomocí software MS Excel. U výsledků měření byl proveden test normality jednotlivých souborů dat (Shapiro-Wilkův test normality). V případě, že soubor měl normální rozdělení, byl soubor dále testován pomocí Grubsova testu na odlehlé hodnoty. V opačném případě byl proveden Dean-Dixonův test k vyloučení odlehlých hodnot u souboru dat s rozdělením jiným než normálním, případně neznámým. Protože pro individuální ochranu mají význam minimální hodnoty tloušťky a RD z daného souboru měření, byly vzájemně posuzovány minimální hodnoty těchto měření

jako rozdíl střední hodnoty a hodnoty intervalu spolehlivosti (95 %). U fólie hydratačního vaku CamelBak se jednalo pouze o zdánlivou tloušťku, protože povrch fólie není hladký, ale má na povrchu vylisovanou reliéfní strukturu (Obrázek 4). Tloušťky textilních materiálů a vnitřních izolačních vrstev je možné rovněž považovat za orientační.

Obrázek 4: Porovnání povrchů fólií hydratačních vaků
a) CamelBak, b) Source Tactical 3L



3. VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUSE

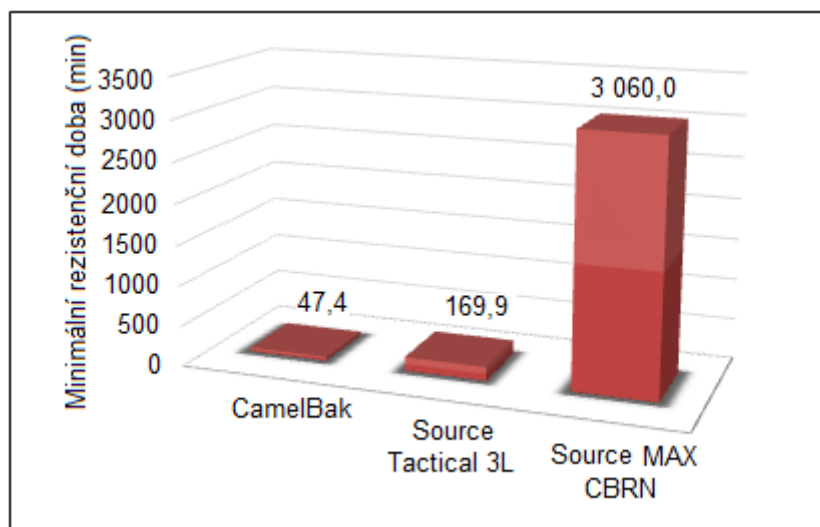
U hydratačních vaků Source Tactical 3L a Source MAX CBRN 3L nebyla ani přibližně známa odolnost proti BCHL. Z uvedeného důvodu byla odolnost pro sírový yperit změřena při teplotě 60 °C, která byla přepočítána na teplotu 30 °C. Bylo využito závislosti, kdy se zvýšením teploty o 10 °C dochází k poklesu odolnosti polymerních konstrukčních materiálů na přibližně poloviční hodnotu oproti teplotě o 10 °C nižší. To znamená, že při teplotě 60 °C by měla být RD přibližně osmkrát kratší, než je tomu u teploty 30 °C. Ačkoliv se jedná pouze o odhad odolnosti, praxe ukázala, že takto provedený odhad je možné vzít za základ pro další experimentální práci. Výsledky měření ukázaly, že při teplotě 60 °C byla RD u hydratačního vaku Source Tactical 3L 28 minut, což by odpovídalo 224 minutám při 30 °C, a následně u vaku Source MAX CBRN 3L 287 minut, což by odpovídalo 2296 minutám. U tohoto vaku však bylo po uplynutí této doby měření zastaveno, protože RD by odpovídala 38 hodinám, což je nereálný čas pro pobyt v kontaminovaném prostředí a tedy i pro nepřetržité používání tohoto prostředku. U této fólie bylo pozorováno při 60 °C zřetelné botnání.

Minimální tloušťka polymerní fólie hydratačních vaků byla největší u Source MAX CBRN 3L a to 0,425 mm, u vaku Source Tactical 3L pak 0,415 mm a u vaku CamelBak 0,407 mm a bez započítání odlehlých hodnot 0,409 mm. Právě nerovnoměrnost povrchu vaku CamelBak (Obrázek 4a) a kolísání hodnot tloušťky může mít praktický dopad na jeho chemickou odolnost.

Praktická měření RD pro kapalnou fázi sírového yperitu pomocí metody MIKROTEST ukázala, že CamelBak je nejméně odolný vůči sírovému yperitu, což bylo možné očekávat, protože vak není určen pro práci v prostředí kontaminovaném BCHL. Jeho RD byla 47,4 minuty (Obrázek 5). U vaku Source Tactical 3L byla RD 169,9 minuty, což bylo méně než RD očekávaná z orientačního měření. Zde je však třeba upozornit, že vak byl v používání po dobu 4,5 roku a výsledná RD

mohla být touto skutečností ovlivněna, navíc šlo pouze o orientační měření a výpočet byl založen na teoretickém předpokladu.

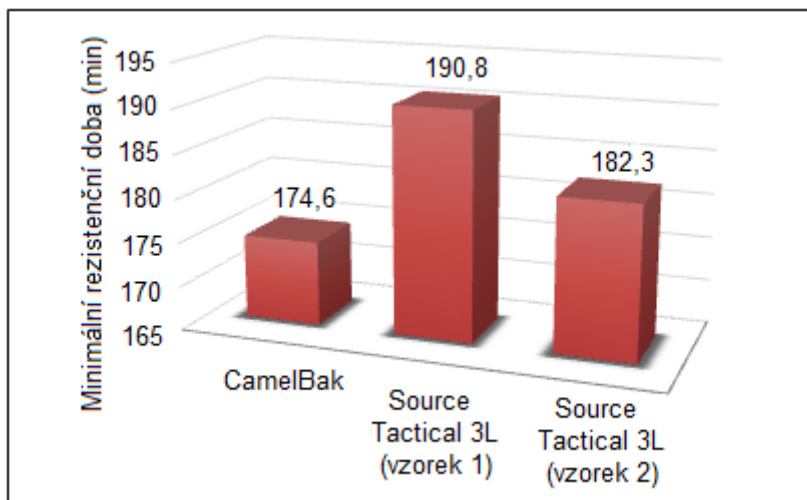
Obrázek 5: Minimální RD fólií hydratačních vaků pro kapalnou fázi sírového yperitu při 30 °C



U hydratačního vaku Source MAX CBRN 3L je na obrázku 5 uvedena RD 3060 minut, což je 51 hodin. Tato hodnota však není konečná, protože měření bylo po této době zastaveno bez pozorovatelného průniku. Potvrdily se tak výsledky orientačního měření. Pro kontrolu funkčnosti indikačního papíru po měření RD tohoto hydratačního vaku, bylo zařízení MINITEST pro měření RD opatrně rozebráno, samotný indikační papír vyjmut a vystaven účinku par sírového yperitu. Zmodrání indikačního papíru potvrdilo jeho funkčnost a nepřímo odolnost izolační fólie proti BCHL.

Vzhledem k předpokladu, že přímé zasažení kapalnou fází BCHL je málo pravděpodobné a je možné očekávat vystavení prostředků spíše parám těchto látek, bylo provedeno měření odolnosti konstrukčních materiálů pomocí metody MINITEST umožňující naráz změřit konstrukční materiál na dvaceti místech. Vzhledem k teoretickému předpokladu, že pro páry BCHL mají polymerní materiály odolnost 3-5 krát vyšší než pro kapalnou fázi při stejné teplotě a tloušťce materiálu, byly testovány jen konstrukční materiály hydratačních vaků CamelBak a Source Tactical 3L. Minimální hodnoty tlouštěk hydratačních vaků byly 0,409 mm pro CamelBak a 0,426 mm pro Source Tactical 3L. Vlastní měření bylo prováděno při 30 °C a do každého měřicího prostoru PVDF desky zařízení MINITEST s vloženou fritou bylo dávkováno 300 µl sírového yperitu. Dosažené minimální hodnoty RD (Obrázek 6) byly 174,6 minuty pro CamelBak a 190,8 minuty pro Source Tactical 3L. Jestliže u vaku CamelBak jsou hodnoty RD pro páry 3,68krát vyšší než pro kapky, což potvrdilo teoretický předpoklad, pak v případě vaku Source Tactical 3L k takovému zvýšení nedošlo. Opakovaná zkouška s daným materiálem s minimální hodnotou tloušťky 0,427 mm v podstatě potvrdila výsledek předchozího měření. Minimální hodnota RD pro opakované měření byla 182,3 minuty.

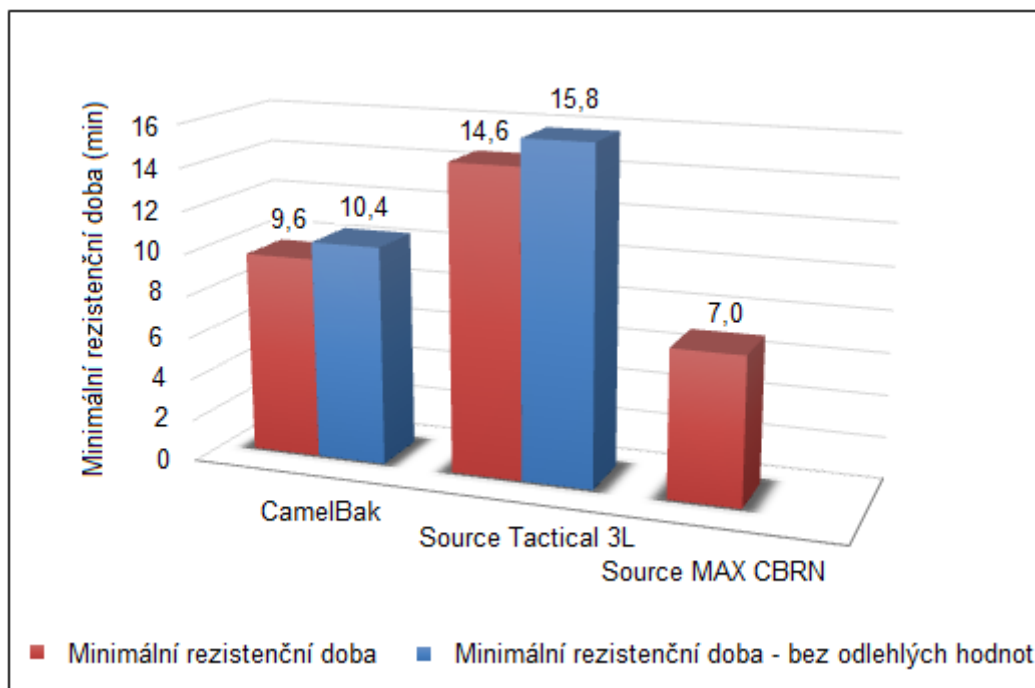
Obrázek 6: Minimální RD hydratačních vaků pro páry sírového yperitu při 30 °C



O příčině výsledků z důvodu neznalosti konkrétního typu konstrukčního materiálu bylo možné jen spekulovat, protože opotřebení vaku v důsledku jeho používání by pravděpodobně nevedlo k podobným výsledkům RD pro kapalnou a parní fázi sírového yperitu. Současně příprava vzorků pro měření ukázala, že vak je tvořen minimálně dvěma vrstvami, které byly na několika místech rozlepené. V daných místech byla RD 250 minut. Výsledky však nebyly z důvodu mechanického poškození, tj. rozlepení vrstev s vytvořením meziprostoru a nutnosti překonání této mezery difuzními mechanismy, do výsledků měření zahrnuty.

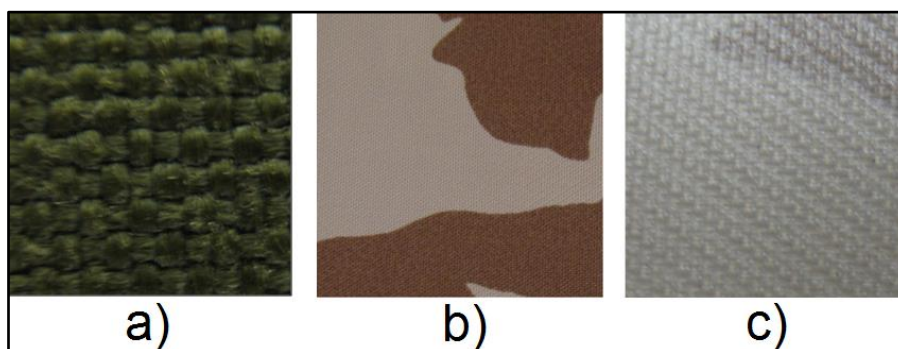
Protože hydratační vaky jsou vloženy do batohů, jejichž stěny by musely být parami BCHL překonávány, byla měřena i chemická odolnost jednotlivých vrstev a poté i složení těchto vrstev pro páry sírového yperitu. Bylo zhodnoceno, že odolnost tkanin pro kapky není účelné měřit z důvodu pronikání mechanismem penetrace, či kapilárních jevů s okamžitým nebo téměř okamžitým průnikem na rubní stranu. Pouze tkanina batohu AČR měla rubní stranu zatřenu slabou vrstvou polymerního materiálu, která je určena ke zvýšení jeho nepropustnosti pro vodní srážky. U tkanin byly změřeny tloušťky, nicméně údaje o tloušťce tkanin představovaly jen doplňkovou informaci. Minimální hodnota tloušťky vnější tkaniny byla u batohu z výzbroje AČR (CamelBak) 0,406 mm a pro batoh Source Tactical 3L 0,571 mm. Minimální hodnoty RD, které byly získány pomocí metody MINITEST pro páry sírového yperit a 30 °C, byly 9,6 minuty pro tkaninu batohu AČR, 14,6 minuty pro vnější tkaninu Source Tactical 3L a 7,0 minut pro vnější tkaninu Source MAX CBRN (Obrázek 7).

Obrázek 7: Minimální RD vnějších tkanin batohů hydratačních vaků pro páry sírového yperitu měřené metodou MINITEST při 30 °C



Při vyloučení odlehlých hodnot, které mohly být způsobeny strukturální nejednotností materiálu (Obrázek 8), se RD vnějších tkanin u prvně dvou jmenovaných prostředků nepatrně zvýšila. U prostředku Source MAX CBRN 3L došlo k současnému průniku ve všech měřených místech. U materiálu batohu z výzbroje AČR neměl slabý polymerní zátěr vliv na chemickou odolnost tkaniny.

Obrázek 8: Vnější tkaniny batohů hydratačních vaků
 a) tkanina Source Tactical 3L, b) vnější strana tkaniny batohu AČR,
 c) rubní strana tkaniny batohu AČR



Nosné batohy hydratačních vaků byly tvořeny vnitřní a vnější tkaninou, mezi které byla vložena izolační vrstva (Obrázek 9). U všech vaků byla pomocí rychlého tloušťkoměru změřena tloušťka složenců všech vrstev. Pomocí metody MINITEST byla změřena RD pro páry sírového yperitu.

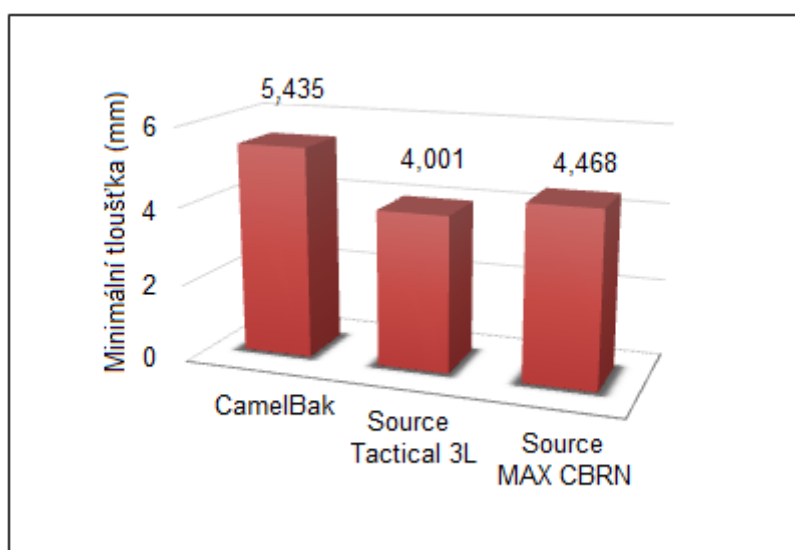
Vzhledem ke struktuře jednotlivých vrstev nebylo měření pro kapalnou fázi yperitu prováděno, protože byl předpoklad, že kapky sírového yperitu, bez ohledu na sílu složence, rychle proniknou na rubní stranu. Tento předpoklad potvrzoval rychlý průnik pro páry u textilních vrstev a byl předpoklad, že podobně se bude chovat i vnitřní izolační vrstva.

Obrázek 9: Tkaniny batohu AČR – vlevo (šedě zbarvená vrstva – vnitřní izolační vrstva z pěnového materiálu) a batohu Source Tactical 3L – vpravo (bíle zbarvená vrstva – vnitřní vrstva z pěnového materiálu)



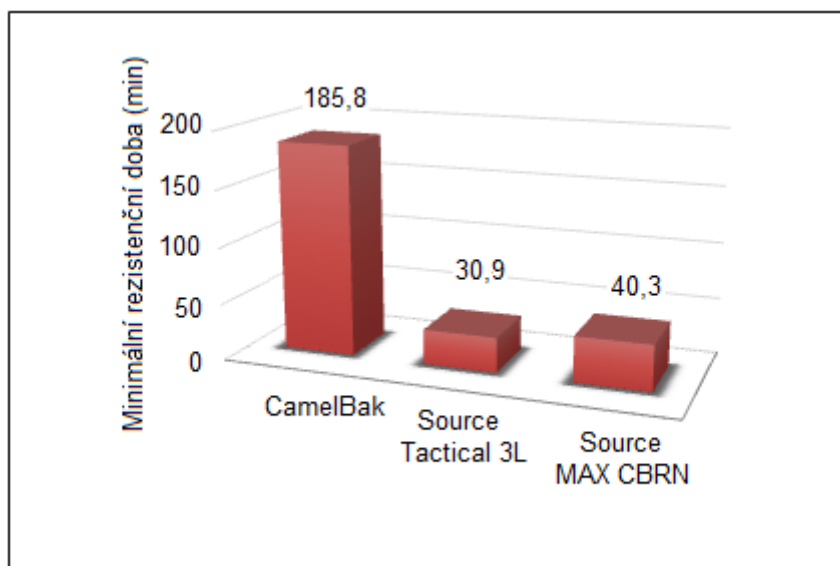
Minimální hodnoty tloušťky složence jednotlivých batohů hydratačních vaků jsou uvedeny na obrázku 10. Jak je vidět z obrázku, nejsilnější vrstvu vytváří tkaniny batohu AČR pro vložení hydratačního vaku CamelBak. Celkové minimální tloušťky batohů společnosti Source jsou velmi podobné, přičemž nižší hodnota u prostředku Source Tactical 3L mohla být způsobena používáním prostředku, tedy změnou tloušťky v důsledku stlačení, stárnutí atp.

Obrázek 10: Celkové minimální tloušťky systému vnější tkanina, izolační vrstva a vnitřní tkanina batohů hydratačních vaků



Vlastní měření RD ukázala, že složení textilních vrstev a jejich tloušťka může zásadním způsobem ovlivnit průnik par BCHL i u prostředků, které nejsou určeny pro práci v kontaminovaném prostředí. U složenice tkanin batohu AČR (CamelBak) byla minimální RD téměř 186 minut (Obrázek 11), zatímco u obou batohů společnosti Source byly minimální hodnoty RD velmi podobné a byly 31,9 minuty pro složenec tkanin Source Tactical 3L a 40,3 minuty pro Source MAX CBRN 3L.

Obrázek 11: Minimální RD systémů vnější tkanina, izolační vrstva a vnitřní tkanina batohů hydratačních vaků pro sírový yperit měřené metodou MINITEST při 30 °C



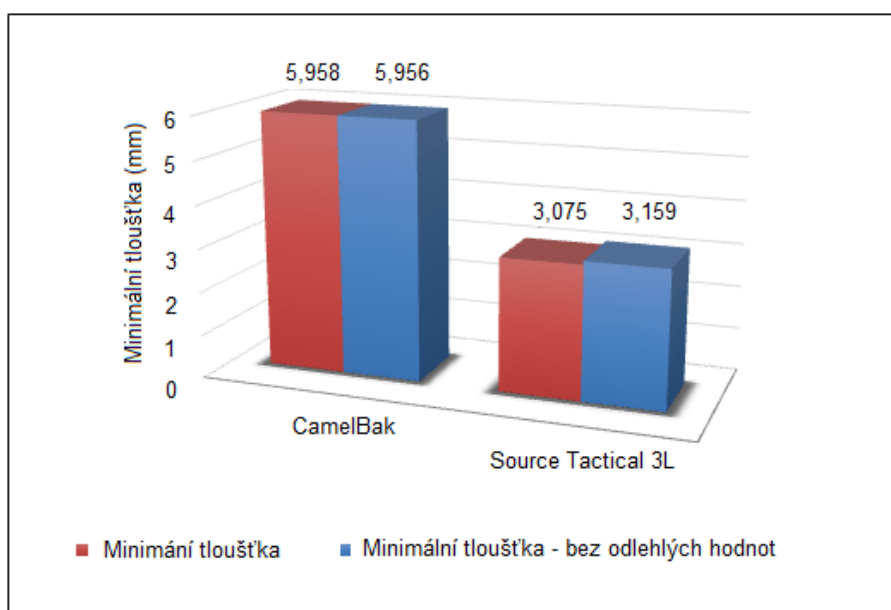
Protože vrstvené materiály s mezerami mezi nimi se chovají jinak než kompaktní materiál, byla ověřována i celková RD složenice tkanin batohu spolu s fólií hydratačního vaku. Tato odolnost byla ověřována pomocí metody MINITEST, tedy pro páry sírového yperitu. Vlastní měření bylo provedeno v uspořádání vrstev tak, jak by byly vystaveny v reálně kontaminovaném prostředí, tedy vnější tkanina, izolační vrstva, vnitřní tkanina a izolační fólie hydratačního vaku. Proměřovány byly pouze tlumok na vodu AČR s hydratačním vakem CamelBak (Obrázek 12) a Source Tactical 3L. Prostředek Source CBRN MAX 3L nebyl měřen z důvodu jeho vysoké odolnosti již pro kapalnou fázi sírového yperitu.

Obrázek 12: Konstrukční materiály tlumoku na vodu AČR s hydratačním vakem CamelBak



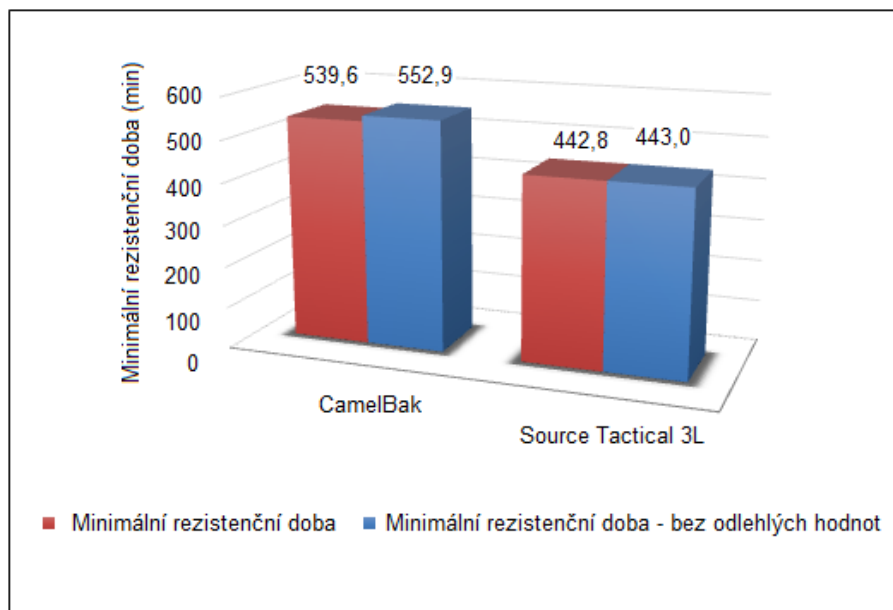
Minimální tloušťky kompletu tvořeného jednotlivými konstrukčními materiály byly 5,958 mm a bez započítání odlehlých hodnot pak 5,956 mm pro tlumok na vodu AČR s hydratačním vakem CamelBak (Obrázek 13) a pro prostředek Source Tactical 3L pak 3,075 mm a bez odlehlých hodnot 3,159 mm.

Obrázek 13: Minimální hodnoty tloušťky kompletu konstrukčních materiálů pro měření chemické odolnosti pro páry sírového yperitu



Minimální RD pro sírový yperit měřená při 30 °C byla pro tlumok na vodu AČR s hydratačním vakem CamelBak téměř 540 minut a bez započítání odlehlých hodnot pak téměř 553 minuty (Obrázek 14). Pro prostředek Source Tactical 3L byly minimální hodnoty rezistenčních dob 443 minut.

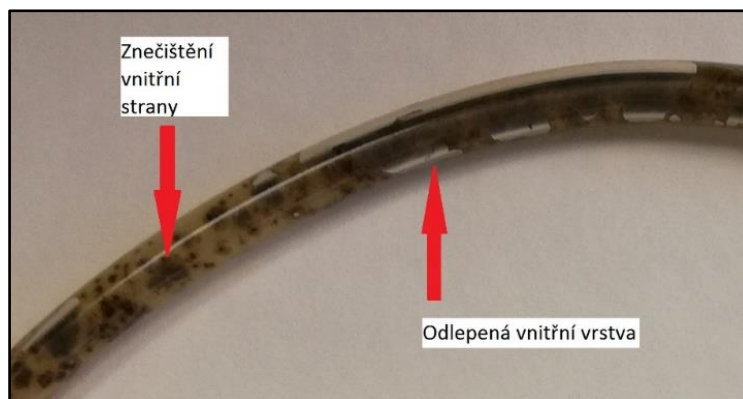
Obrázek 14:1 Minimální RD kompletů (vnější tkanina, izolační vrstva, vnitřní tkanina, fólie) pro páry sírového yperitu měřené metodou MINITEST při teplotě 30 °C



Pokud by došlo k pouhému mechanickému sečtení hodnot minimálních RD textilních částí batohů a fólií hydratačních vaků, byla by výsledná hodnota RD pro tlumok na vodu AČR s hydratačním vakem CamelBak 360,4 minuty a pro prostředek Source Tactical 3L 221,7 minuty. Při porovnání těchto hodnot s hodnotami minimálních RD všech konstrukčních vrstev bez vyloučení odlehlých hodnot, pak byla výsledná minimální hodnota RD v případě tlumoku na vodu AČR s hydratačním vakem CamelBak o 49,7 % vyšší a v případě Source Tactical 3L o 99,7 % vyšší. Zde je však potřebné znovu připomenout, že prostředek Source Tactical 3L byl více než čtyři roky používán a výsledky měření proto mohou být u nového prostředku odlišné. Celkově tedy poskytují konstrukční materiály jako celek dlouhou ochranu. To by platilo za předpokladu, že by batohy byly konstruovány tak, aby kontaminovaný vzduch mohl procházet jen všemi konstrukčními vrstvami. Reálně však batohy obsahují celou řadu míst, kde může vzduch volně procházet dovnitř a páry by tak přímo působily na materiál hydratačních vaků.

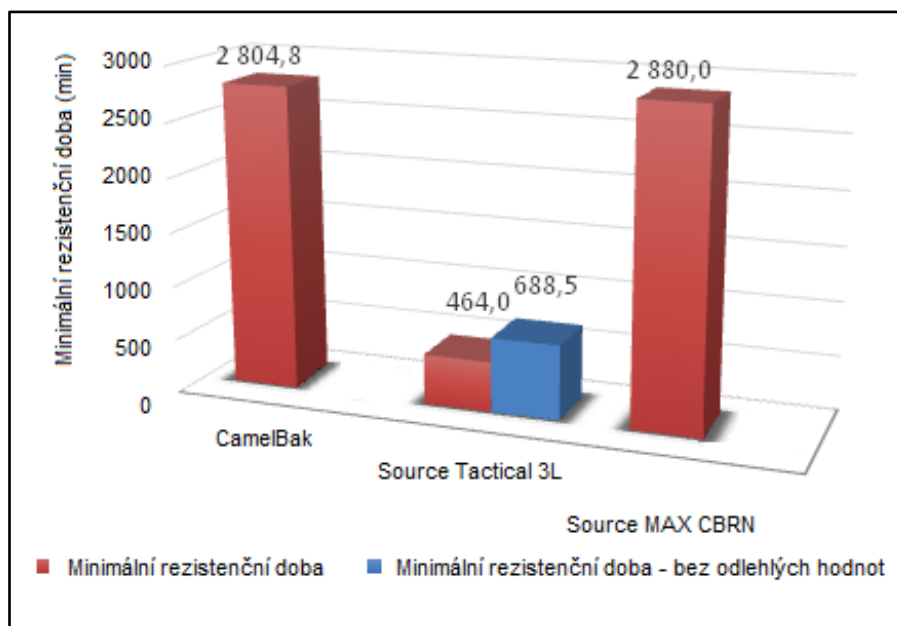
Hydratační vaky jsou vybaveny sací hadičkou, která zajišťuje dopravu vody ze samotného vaku k ústům. Při použití propojovacího nástavce je možné hydratační vaky spojit se zařízením pro příjem tekutin obličejových masek a zabezpečit tak hydrataci s nasazenou maskou. Protože hadičky všech tří hydratačních prostředků jsou vystaveny přímému účinku kontaminovanému prostředí, byla ověřována jejich chemická odolnost. Hadičky hydratačních vaků CamelBak a Source Tactical 3L byly překryty textilií, která však, díky propustnosti samotné textilie, neposkytuje žádnou chemickou ochranu a slouží jako ochrana před mechanickým poškozením samotné sací hadičky. Vlastní materiál sacích hadiček byl poměrně tlustý a u vaků společnosti Source bylo zjištěno, že jsou zhotoveny ze dvou vrstev materiálu. Byl proto předpoklad, že jejich RD bude dlouhá. Před vlastním měřením RD byly textilní návleky odstraněny. Bylo zjištěno, že sací hadička vaku Source Tactical 3L je z vnitřní strany pravděpodobně napadena plísní a bylo možné pozorovat na několika místech rozlepení jednotlivých vrstev (Obrázek 15).

Obrázek 15: Poškození sací hadičky vaku Source Tactical 3L



Bez ohledu na tuto skutečnost bylo rozhodnuto o provedení měření chemické odolnosti sací hadičky. Samotné měření rezistenčních dob pro kapalnou fázi sírového yperitu a teplotu 30 °C potvrdil předpoklad vysoké chemické odolnosti hadiček. Jak ukazuje obrázek 16, u CamelBaku a Source MAX CBRN 3L bylo měření po 48 hodinách (2880 minutách) zastaveno, aniž by bylo dosaženo průniku. U vaku Source Tactical 3L byla změřena minimální rezistenční doba 464 minut. U tohoto prostředku jeden vzorek hadičky neprošel ani po 48 hodinách a jeden po 1072 minutách. Výsledkem odstranění odlehlých hodnot je rezistenční doba 688,5 minuty.

Obrázek 26: Minimální RD sacích hadiček pro kapalnou fázi sírového yperitu měřené při teplotě 30 °C



4. ZÁVĚR

Hydratační zařízení budou při dlouhodobé práci v PIO v kontaminovaném prostředí nedílnou součástí výbavy. Je nutné používat taková zařízení, která budou bezpečná a odolná proti předpokládanému typu kontaminantu a to nejenom například z hlediska připojení na obličejové masky, ale i z hlediska odolnosti konstrukčních materiálů. Nošení hydratačních zařízení je možné zabezpečit různým způsobem a to jak na ochranných prostředcích, tak i v pododěvném prostoru, nicméně zejména pro druhou variantu nošení je třeba přizpůsobit ochranné prostředky povrchu těla.

Experimentální práce ukázaly, že prostředky určené pro práci v prostředí kontaminovaném BCHL mohou být velmi odolné a jejich chemická odolnost může výrazně překračovat maximální doby bezpečného pobytu osob v kontaminovaném prostředí. Avšak i prostředky, které nejsou primárně určeny pro práci v kontaminovaném prostředí, mohou po dlouhou dobu odolávat účinku BCHL. Nosné prostředky, tedy batohy tvořené několika konstrukčními materiály, mohou výrazným způsobem prodloužit RD a umožnit tak hydrataci uživatele při práci v kontaminovaném prostředí. Nevýhodou studovaných nosných systémů je však to, že netvoří kompaktní ochranný prostředek a konstrukčními netěsnostmi do nich může pronikat kontaminovaný vzduch. Je pochopitelné, že v případě, že hydratační systém není určený pro práci v kontaminovaném prostředí, tak s největší pravděpodobností nebude v kontaminovaném prostoru používán. Konstrukční kompaktnost by však měla být samozřejmostí pro hydratační systémy určené pro práci v kontaminovaném prostředí.

Používání hydratačních systémů a prostředků pro ochlazování organismu bude nabývat na stále větší důležitosti při předpokládané dlouhé práci v kontaminovaném prostředí. Jejich konstrukce, výběr odolných materiálů, způsob nošení, kompatibilita s ochrannými prostředky dýchacích orgánů a další aspekty musí být neustále v pozornosti odborníků zabývajících se ochranou osob. Je třeba chápat, že dlouhodobý pobyt v kontaminovaném prostředí nelze zajistit bez účinných opatření ochlazování a hydratace organismu, jejichž realizace není možná bez použití adekvátních technických prostředků.

Použitá literatura

- [1] KLEINER, Susan M. *Water*. Journal of the American Dietetic Association. 1999, 99(2), 200-206. DOI: 10.1016/S0002-8223(99)00048-6. ISSN 00028223. Dostupné na: <http://bit.ly/2KXijmj>
- [2] VOKURKA, Martin a Jan HUGO. *Velký lékařský slovník*. 5. aktualizované vyd. Praha: Maxdorf, 2005. Jessenius. ISBN 80-7345-058-5.
- [3] *Dehydration*. Mayo Clinic [online]. Mayo Foundation for Medical Education and Research [cit. 2017-03-22]. Dostupné na: <http://mayoclinic.in/2rEQmaF>
- [4] FLORUS, Stanislav, Pavel OTŘÍŠAL a Václav HANZLÍK. *Prostředky individuální a kolektivní ochrany a jejich používání*. Praha: Ministerstvo obrany, 2014.
- [5] S. P. M. Liberec spol. s r. o. *Tlumok na vodu – souprava (80501)*. [online] 2012. [Citace: 21. února 2018]. Dostupné na: <http://bit.ly/2JbXEwQ>
- [6] Source Tactical Gear. *Tactical 3L Hydration pack*. Produktový list.

- [7] *CBRN Hydration Technology*. [Online] [Citace: 21. února 2018]. Dostupné na: <http://bit.ly/2KlpuUi>
- [8] FLORUS, Stanislav a Pavel OTŘÍŠAL. *Vybrané metody studia chemické odolnosti izolačních ochranných fólií pro bojové chemické látky*. Chem. Listy 108, (9) 838-842 (2014). ISSN 0009-2770
- [9] OBŠEL, Vladimír; Pavel OTŘÍŠAL a Stanislav FLORUS. *METODIKA MINITEST pro zjišťování ochranných vlastností plošných porézních materiálů proti parám yperitu a vybraných průmyslových chemických látek s možností rychlého statistického vyhodnocení dosažených výsledků*. Metodika. 2016.
- [10] FLORUS, Stanislav, Pavel OTŘÍŠAL a Vladimír OBŠEL. *Zařízení pro testování odolnosti plošných bariérových materiálů vůči permeaci par toxických chemikálií ve statických podmínkách*. Užité vzor. 2017. 30 479, CZ 30479 U1