

TESTOVÁNÍ ZAHRANIČNÍCH OCHRANNÝCH MASEK – VZTAH MEZI PRŮNIKEM A OBSAHEM OXIDU UHLIČITÉHO

TESTING OF THE FOREIGN PROTECTIVE MASKS – RELATIONSHIP BETWEEN PENETRATION AND CONTENT OF CARBON DIOXIDE

Vlastimil SÝKORA, Čestmír HYLÁK
vlastimil.sykora@ioolb.izscr.cz

Abstract

The aim of this article is to assess whether the measured penetration of sulphur hexafluoride into the inner part of a protective mask and the content of carbon dioxide in the inhaled air are related; respectively to find the connection between those values.

Thirteen foreign protective masks made by either European or American companies, which are available on the Czech market, were used for the testing, namely Promask, M-98, Sari Sil, VISION, Venus, Advantage, Ultra Elite, 3S, Panorama Nova RA, FPS 7000, 6000, 54100 and SR-200.

Key words

Sulphur hexafluoride, carbon dioxide, penetration, the foreign protective masks.

ÚVOD

Ochranné masky, jakožto prostředky pro ochranu dýchacích cest, se používají zejména v případě mimořádných událostí, jakými jsou např. havárie spojené s únikem nebezpečných látek v chemických závodech, ve výrobních podnicích, popř. ve vozidlech převážejících nebezpečné látky, teroristický útok či biologické ohrožení obyvatelstva vysoce nakažlivými nemocemi, jako je ebola, ptačí nebo prasečí chřipka apod., případně za válečného stavu, kdy je nezbytné si chránit dýchací cesty. Jejich použití je ale nezbytné s vhodně zvoleným filtrem, ať již protiprachovým, či kombinovaným.

Na ochrannou masku (OM) je však kladeno značné množství požadavků, z nichž nejdůležitější roli hraje především její těsnost. Jestliže maska netěsní, ztrácí svůj základní účel, pro který byla vyrobena, a je tím de facto nepoužitelná.

Kromě těsnosti, úzce související s průnikem nebezpečné látky do vnitřního prostoru masky, svou nezanedbatelnou roli hraje i množství oxidu uhličitého (CO₂) ovlivňujícího především vnitřní mikroklima masky, které při vyšší koncentraci nad 5 obj. % může zapříčinit dezorientaci, zmatek či dokonce smrt [1, 2], a dýchací odpor, který se do určité míry podílí na snadnosti dýchání. Z dalších vlastností jsou to především snadnost nasazování a snímání, snadnost dorozumívání a dostatečný oční kontakt s okolím [3, 4, 5] – kromě ostrého vidění je to také periferní vidění a barevné rozpoznávání, pocitové (např. zda maska netlačí a tzv. „dobře“ sedí na obličeji – ergometrie masky) a psychické aspekty nošení [6, 7] (souvisí nejen s nedostatečným tréninkem, ale i s pocitem úzkosti podílejícím se na kratší době používání masky, s klaustrofobií, s únavou, s obavami, zda mě maska ochrání atd.), tepelná zátěž, možnost používání dioptrických vložek, zápach (jak z materiálu masky, tak i z látek obsažených ve filtru) a v neposlední řadě i celkový design masky, popř. kompatibilita s dalšími přístroji.

Vyjdeme-li z normy ČSN EN 136 [8], lze měření průniku provádět dvěma metodami. Každá metoda má však své přednosti i nedostatky. Vzhledem k snadnosti měření a větší citlivosti byla zvolena metoda s hexafluoridem sírovým (SF₆), jež poskytuje přesnější a snáze měřitelné hodnoty, a zároveň, s vhodným přístrojovým vybavením, lze získávat i hodnoty množství oxidu uhličitého ve vdechovaném vzduchu.

Posuzování kvality OM bylo započato již v roce 2003 tzv. „subjektivním hodnocením ochranných masek“ [9, 10]. Toto hodnocení však neposkytovalo objektivní výsledky, neboť bylo silně ovlivněno aktuálním pocitovým stavem dané zkušební osoby. Proto bylo od roku 2004 započato s „objektivním hodnocením“ [11, 12, 13, 14, 15, 16]. Součástí tohoto „objektivního hodnocení“ bylo měření těsnosti masky metodou s hexafluoridem sírovým a měření množství oxidu uhličitého ve vdechovaném vzduchu. Ke zkouškám bylo vybráno celkem 18 masek, z toho 5 domácích a 13 zahraničních, a měření se zúčastnilo celkem 74 osob (43 mužů a 31 žen).

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Výběr a příprava masek

Vzhledem ke značnému množství získaných výsledků byly pro hodnocení vybrány pouze zahraniční masky nacházející se na českém trhu, a to Promask, M-98, Sari Sil, Vision, Venus, Advantage, Ultra Elite, 3S, Panorama Nova RA, FPS 7000, SR-200, 6000 a 54100.

Před vlastními zkouškami byly všechny masky důkladně prohlédnuty, byla zkontrolována správná činnost vdechovacího a vydechovacího ventilku a nepoškozenost upínacího systému. Masky před každým testem byla řádně vyčištěna a vydezinfikována.

Každá lícnice masky byla před měřením opatřena průchodkou, na kterou byla nasazována hadička pro odběr vzorku pro stanovení množství pronikající zkušební látky. Průchodka, pokud to bylo konstrukčně možné, byla umístěna takovým způsobem, aby zasahovala do prostoru vnitřní polomasky.

Výběr zkušebních osob

Zkušební osoby byly vybírány tak, aby byli zastoupeni jak muži, tak i ženy, dále osoby mající již zkušenost s nasazováním masky i naprostí laici a zejména osoby s různou velikostí a tvarem obličeje.

Průběh měření a požadované činnosti

Ochranné masky byly testovány v souladu s normou ČSN EN 136 [8] dle interní metodiky [17].

Před vlastním měřením byla každá zkušební osoba nejprve seznámena s jednotlivými maskami, zejména s jejich správným nasazováním a s prováděnou činností při vlastním způsobu měření. Poté si nasadila masku s připojenou propojovací vřapovou hadicí a s hadičkou pro odběr vzorků a vstoupila do zkušební komory s předem vytvořenou požadovanou zkušební koncentrací hexafluoridu sírového, kde po propojení jednotlivých hadic čekala na pokyn (tzv. klidový stav, kdy docházelo ke stabilizaci ovzduší v podmaskovém prostoru) znamenající počátek provádění požadovaných cviků dle předem stanoveného režimu. Během tohoto klidového stavu (za stálého přívodu čerstvého vzduchu) byl neustále odebírána vzorek vzduchu pro stanovení koncentrace zkušební látky. Tato počáteční koncentrace byla vzata jako hodnota pozadí a o tuto hodnotu pak byla snížena koncentrace proniklé zkušební látky určené pro výpočet průniku. Po ustálení podmínek byla vřapová hadice od filtroventilační jednotky odpojena a zkušební osoba začala spontánně dýchat. Současně byl uveden do činnosti běhací

trenažér, na kterém byla nastavena rychlost chůze 6 km.hod⁻¹. Během této chůze byly prováděny následující činnosti:

- chůze po dobu 2 min bez pohybu hlavou a bez mluvení;
- chůze po dobu 2 min při současném otáčení hlavy z jedné strany na druhou;
- chůze po dobu 2 min se současným zvedáním a skláněním hlavy;
- chůze po dobu 2 min s hlasitým mluvením;
- chůze po dobu 2 min bez pohybu hlavou a bez mluvení.

Zároveň s měřením koncentrace hexafluoridu sírového (pro stanovení průniku) bylo po celou dobu experimentu měřeno i množství oxidu uhličitého ve vdechovaném vzduchu a též koncentrace hexafluoridu sírového ve zkušební komoře.

Použité přístroje a zařízení

Koncentrace hexafluoridu sírového ve zkušební komoře byla měřena IČ spektrofotometrem MIRAN 1B2, průnik hexafluoridu sírového v podmaskovém prostoru a množství oxidu uhličitého fotoakustickým IČ spektrofotometrem 1412. Zátěžové podmínky byly simulovány pomocí běhacího trenažéru PROTEUS 6800 s nastavitelnou rychlostí posunu a homogenizace atmosféry uvnitř zkušební komory byla prováděna pomocí stojanového ventilátoru.

Koncentrace hexafluoridu sírového ve zkušební komoře byla nastavena na hodnotu 1000 ppm při teplotě v rozmezí 20 ± 5 °C.

Vyhodnocení a zpracování naměřených výsledků

Pro každý jednotlivý soubor (všechny osoby, muži, ženy) a pro každou masku byl vypočten průměr [18], medián [19], směrodatná odchylka a variační koeficient [20] a tytéž statistické hodnoty byly vypočteny i pro jednotlivá cvičení.

Na základě takto získaných výsledků byla hledána souvislost mezi průnikem a obsahem oxidu uhličitého ve vdechovaném vzduchu u jednotlivých masek, cvičení a souborů osob.

Výpočet průniku

Průnik (P) hexafluoridu sírového do lícnic ochranných masek byl počítán na základě měření provedených při jednotlivých činnostech během posledních 100 sekund. Průnik byl počítán podle následujícího vztahu:

$$P[\%] = 100 (C_2 - C_0) / C_1 \quad (1)$$

kde: C₁ - koncentrace ve zkušební komoře [ppm],
C₂ - průměrná koncentrace průniku ze tří měření [ppm],
C₀ - pozadí [ppm].

Statistické výpočty

a) aritmetický průměr \bar{x}

Je dán vztahem:

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n \quad (2)$$

kde: n ... celkový počet položek,
x_n ... n-tá hodnota položky.

b) výběrová směrodatná odchylka s

Vzhledem k tomu, že střední hodnota rozdělení nebyla známa a byla odhadnuta pouze aritmetickým průměrem, byl vzorec, použitý pro výpočet výběrové směrodatné odchylky, následující:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

kde: n ... celkový počet položek,
 x_i ... i -tá hodnota položky.

c) variační koeficient

Byl použit pro snazší pochopení rozdílů mezi jednotlivými položkami souboru. Výpočet byl proveden následujícím způsobem:

$$v [\%] = \frac{s}{\bar{x}} 100 \quad (4)$$

d) medián Me

Pro porovnání naměřených hodnot s minimalizací odchylky byl použit medián – hodnota dělí řadu vzestupně seřazených výsledků na dvě stejně početné poloviny. V případě lichého počtu položek se jednalo o prostřední položku, v případě sudého počtu byl medián počítán jako aritmetický průměr hodnot, tj.:

$$Me = \frac{n}{2} + \frac{n}{n+1} \quad (5)$$

VÝSLEDKY MĚŘENÍ***Oxid uhličitý***

V následujících tabulkách 1–3 je uvedeno množství oxidu uhličitého u zkoušených zahraničních masek, a to pro všechna prováděná cvičení.

V každé tabulce je vždy pro daný soubor osob (tabulka 1 – 74 osob, všechny osoby; tabulka 2 – 43 osob, muži; tabulka 3 – 31 osob, ženy) a pro každou jednotlivou masku uvedeno průměrné množství oxidu uhličitého, medián Me , výběrová směrodatná odchylka „ s “ (dále jen odchylka) a variační koeficient „ v “. Dále jsou v tabulkách uvedeny tyto hodnoty i pro jednotlivá cvičení.

Tabulka 1
Průměrné množství vydechaného oxidu uhličitého všech 74 osob u jednotlivých masek a prováděných cvičení, včetně vybraných statistických údajů

Maska	Cvičení							s (všechna cvičení)	v (všechna cvičení) [%]
	chůze 1	otáčení	kývání	mluvení	chůze 2	Ø _{masky}	Me		
	Množství vydechaného CO ₂ [ppm] - průměr ze všech měření								
Promask	5218	3997	4841	4054	5053	4633	4841	570	12
M-98	5420	6455	6781	6106	5779	6108	6106	537	9
Sari Sil	15962	15501	15733	16643	14718	15711	15733	700	4
Vision	5181	5985	5300	3048	5751	5053	5300	1168	23
Venus	2243	2818	2897	1671	2487	2423	2487	496	20
Advantage	16331	17905	18657	19751	17143	17957	17905	1325	7
Ultra Elite	11710	11752	11713	11415	11155	11549	11710	258	2
3S	22126	23155	22224	22613	21779	22379	22224	526	2
Panorama Nova RA	5378	4678	6193	4942	5616	5361	5378	592	11
FPS 7000	5670	5881	5927	6104	6205	5957	5927	207	3
6000	2349	2571	2605	2510	2526	2512	2526	99	4
54100	865	640	713	1218	731	833	731	230	28
SR-200	22778	22346	24010	26846	23427	23881	23247	1774	7
Ø _{cvičení}	9325	9514	9815	9763	9413	9566	9514		
Me	5420	6455	6781	6106	5779	6108			
s	7595	7760	7840	8782	7535	7883			
v [%]	81	82	82	90	80	82			

Poznámka: s ... výběrová směrodatná odchylka; Me ... medián; v ... variační koeficient.

Z výsledků uvedených v tabulce 1 vyplynuly následující závěry:

- u 5 masek nebyly splněny požadavky normy ČSN EN 136 na množství oxidu uhličitého ve vdechovaném vzduchu, tj. 1 % obj. (10000 ppm). Měření oxidu uhličitého dle této normy je však prováděno pomocí Sheffieldské zkušební hlavy. Námi uvedené naměřené hodnoty jsou však získány z měření s reálnými osobami a za reálných podmínek, a s jako takovými je na ně tak nahlíženo. Podmínku normy ČSN EN 136 tak splňuje pouze 8 masek, a to Promask, M-98, Vision, Venus, Panorama Nova RA, FPS 7000, 6000 a 54100;
- nejnižší hodnoty byly naměřeny u masek 54100, Venus a 6000, naopak nejvyšší u masek 3S a SR-200;
- výběrová směrodatná odchylka „s“ charakterizující rozptyl naměřených hodnot byla poměrně nízká u masek 6000 („s“ = 99), FPS 700 („s“ = 207), 54100 („s“ = 230) a Ultra Elite („s“ = 258). Z těchto výsledků tak vyplynulo, že konstrukční uspořádání výše uvedených masek je takové, že jakýkoli prováděný cvik má minimální vliv na množství oxidu uhličitého, naopak u masek, kde je „s“ vysoká (SR-200, Advantage, Vision), popř.

- kde je vysoký variační koeficient „v“ (54100, Vision, Venus), mají jednotlivá cvičení značný vliv na množství oxidu uhličitého;
- obdobně jako jednotlivé masky, tak i jednotlivá cvičení ovlivňovaly množství oxidu uhličitého, nejnižší množství bylo naměřeno u prvního cvičení – chůze 1, což dobře korespondovalo s již dříve zjištěnými výsledky u českých masek [21]. I zde organismus zkušební osoby ještě nespotořboval tak velké množství kyslíku, činnost byla méně namáhavá a nebyla zatížena předchozími cviky;
 - nepatrně vyšší množství oxidu uhličitého bylo naměřeno u cvičení chůze 2, což však již neodpovídalo závěrům uváděným pro české masky, kde vyšší množství oxidu uhličitého bylo u cvičení otáčení;
 - také nejvyšší průměrné množství oxidu uhličitého u zahraničních masek bylo zcela odlišné v porovnání s českými maskami. V tomto případě nejvyšší hodnoty byly naměřeny u cvičení kývání, kdežto u českých masek byly nejvyšší hodnoty naměřeny při mluvení [21];
 - jestliže průměrné hodnoty množství oxidu uhličitého u jednotlivých masek nebyly až tak významně ovlivněny jednotlivými cviky („v“ je poměrně nízký a existují zde malé rozdíly mezi průměrem a mediánem), v případě cvičení tomu bylo naopak. Jak průměr, tak i medián se od sebe značně lišily, směrodatná odchylka „s“ byla poměrně vysoká (např. při mluvení, kde „v“ dosahoval hodnoty 90 %, se průměrné hodnoty oxidu uhličitého pohybovaly od 1218 ppm v případě masky 54100, až do 26846 ppm u masky SR-200) a blížila se průměrné hodnotě a i variační koeficient dosahoval poměrně vysokých hodnot – 3x a vícekrát vyšších než v případě jednotlivých masek. Rozdíly při různých cvičeních však byly zanedbatelné. Ukázalo se tak, že konstrukční rozdíly mezi jednotlivými maskami velmi výrazně ovlivňují množství oxidu uhličitého, bez ohledu na prováděná cvičení;
 - průměrné množství oxidu uhličitého u všech masek, resp. u všech cvičení, sice splnilo požadavky normy, tj. 1 obj. % (9566 ppm – 0,96 obj. %, zvládnutě tučně), pohybovalo se však těsně pod touto hranicí.

V tabulkách 2 (muži) a 3 (ženy) jsou uvedeny výsledky pro jednotlivá pohlaví. V řadě případů tyto výsledky velmi dobře korespondují s uvedenými předchozími výsledky pro všechny osoby, přesto však existují určité rozdíly. Ty souvisí nejen s odlišnou morfologií obličeje uživatele, ale i s pohlavím, fyziologickými parametry, trénovaností apod. Závěry z těchto měření jsou následující:

- tak jako u souboru všech osob (tabulka 1) i v případě mužů (tabulka 2) a žen (tabulka 3) u 5 masek nebyly splněny požadavky normy na množství oxidu uhličitého. Jednalo se o stejné masky jako u souboru všech osob;
- opět nejnižší průměrné hodnoty oxidu uhličitého v obou případech byly naměřeny u masek 54100, Venus a 6000, naopak nejvyšší hodnoty oxidu uhličitého byly naměřeny u masek SR-200, 3S, Advantage a Sari Sil, což velmi dobře koresponduje s předchozími výsledky u souboru všech osob;
- směrodatná odchylka „s“ v případě mužů již tak dobře nekorespondovala s výsledky uváděnými pro všechny osoby, zejména tehdy, když byla tato odchylka nízká. Jestliže u souboru všech osob byla „s“ nejnižší u masky 6000 a dále u masek FPS 7000, 54100 a Ultra Elite, u mužů to bylo u masky 54100, M-98 a 6000. V případě žen byla nejmenší „s“, tak jako u souboru všech osob, u masky 6000 a dále u masek 54100, FPS 7000 a 3S;
- nejvyšší „s“ byla v obou případech (muži i ženy) u masky SR-200 a u masek Advantage a Vision, což opět velmi dobře korespondovalo s výsledky uváděnými pro všechny osoby;
- zatímco pořadí nejvyšších hodnot „v“ bylo u všech hodnocených souborů prakticky stejné, lišily se tyto hodnoty zejména svou velikostí. Tento rozdíl byl zejména výraznější u žen, kde hodnota „v“ u masky SR-200 dosahovala 40 % (u mužů pouze 22 % a u všech osob 28 %);

- také jednotlivá cvičení byla výrazně ovlivněna množstvím oxidu uhličitého, zatímco u mužů byla nejnižší průměrná hodnota u cvičení chůze 1 (což velmi dobře koresponduje jak s výsledky u všech osob, tak i s výsledky uváděnými pro české masky [21]), u žen naopak nejnižší hodnota byla nalezena u chůze 2; nejvyšší hodnoty, tak jako v případě všech osob, byly u cvičení mluvení a zejména kývání (v případě žen bylo průměrné množství oxidu uhličitého vyšší než 10000 ppm, což znamená, že byly překročeny požadavky normy);
- odchylky od průměrných hodnot jednotlivých cvičení mužů a žen i zde byly značné, což svědčilo o výrazném vlivu jednotlivých masek (jejich konstrukčního uspořádání) na množství oxidu uhličitého. Jak průměr, tak i medián se od sebe opět značně lišily, „s“ se blížila průměrné hodnotě a „v“ byl poměrně vysoký;
- z pohledu nejnižšího množství oxidu uhličitého ve vdechovaném vzduchu jak u mužů, tak i u žen se nejlépe jevila maska 54100, kde v obou případech množství oxidu uhličitého se pohybovalo pod hranicí 1000 ppm.

Tabulka 2

Průměrné množství vydechaného oxidu uhličitého mužských osob u jednotlivých masek a prováděných cvičení, včetně vybraných statistických údajů

Maska	Cvičení					$\bar{\varnothing}_{\text{masky}}$	Me	s (všechna cvičení)	v (všechna cvičení) [%]
	chůze 1	otáčení	kývání	mluvení	chůze 2				
	Množství vydechaného CO ₂ [ppm] - průměr ze všech měření								
Promask	4678	3566	4544	3837	4540	4233	4540	498	12
M-98	4726	5046	5451	4911	5076	5042	5046	267	5
Sari Sil	14621	13871	14858	15435	13892	14535	14621	666	5
Vision	4629	6038	4876	2953	5125	4724	4876	1124	24
Venus	2516	2757	3118	1898	2646	2587	2646	446	17
Advantage	16151	17336	19000	19545	17733	17953	17733	1352	8
Ultra Elite	11950	12108	12510	11409	12029	12001	12029	395	3
3S	22085	23660	22275	22884	21931	22567	22275	710	3
Panorama Nova RA	6111	4853	6915	5409	6355	5929	6111	809	14
FPS 7000	5158	6055	6066	6369	6483	6026	6066	520	9
6000	1937	2595	2481	2499	2189	2340	2481	272	12
54100	997	685	794	1177	790	889	794	197	22
SR-200	21886	22172	23380	27325	22981	23549	22981	2195	9
$\bar{\varnothing}_{\text{cvičení}}$	9034	9288	9713	9665	9367	9413	9367		
Me	5158	6055	6066	6369	6483	6026			
s	7438	7741	7799	8826	7572	7850			
v [%]	82	83	80	91	81	83			

Poznámka: s ... výběrová směrodatná odchylka; Me ... medián; v ... variační koeficient.

Tabulka 3
Průměrné množství vydechaného oxidu uhličitého ženských osob u jednotlivých masek a prováděných cvičení, včetně vybraných statistických údajů

Maska	Cvičení							s (všechna cvičení)	v (všechna cvičení) [%]
	chůze 1	otáčení	kývání	mluvení	chůze 2	$\bar{\sigma}_{masky}$	Me		
	Množství vydechaného CO ₂ [ppm] - průměr ze všech měření								
Promask	5992	4616	5268	4366	5790	5206	5268	710	14
M-98	6524	8698	8899	8010	6900	7806	8010	1060	14
Sari Sil	17886	17838	16986	18374	15902	17397	17838	974	6
Vision	5999	5907	5929	3187	6679	5540	5929	1354	24
Venus	2096	3285	2920	1525	2556	2476	2556	690	28
Advantage	16619	18812	18111	20078	16203	17965	18111	1591	9
Ultra Elite	11377	11258	10607	11424	9942	10922	11258	639	6
3S	22185	22431	22151	22224	21561	22110	22185	326	1
Panorama Nova RA	4328	4426	5159	4273	4556	4548	4426	358	8
FPS 7000	6411	5630	5718	5706	5787	5850	5718	318	5
6000	2983	2535	2796	2528	3045	2777	2796	242	9
54100	670	573	592	1279	645	752	645	297	40
SR-200	24200	22622	25014	26129	24138	24421	24200	1288	5
$\bar{\sigma}_{cvičení}$	9790	9895	10012	9931	9516	9829	9895		
Me	6411	5630	5718	5706	5787	5850			
s	7881	7862	7961	8757	7532	7970			
v [%]	81	79	80	88	79	81			

Poznámka: s ... výběrová směrodatná odchylka; Me ... medián; v ... variační koeficient.

Hexafluorid sírový

Další sledovanou veličinou charakterizující OM je těsnost. Tu lze stanovit 2 způsoby – buď měřením průniku zkušebního plynu hexafluoridu sírového (dále jen průnik) nebo měřením průniku aerosolu pevných částic chloridu sodného NaCl. Pro tato měření byl vybrán 1. způsob. Výsledky měření jednotlivých souborů zkušebních osob jsou uvedeny v tabulkách – 4 (všechny osoby), 5 (zkušební osoby muži) a 6 (zkušební osoby ženy). Vedle hodnot průniku jsou opět v tabulkách uvedeny i průměrné hodnoty, medián Me, výběrové směrodatné odchylky „s“ a variační koeficienty „v“, a to jak pro jednotlivé masky, tak i pro jednotlivá cvičení. Z uvedených výsledků vyplynuly tyto závěry:

- pouze 4 masky v souboru všech osob (tabulka 4) vyhověly požadavkům normy ČSN EN 136 na průnik hexafluoridu sírového, přičemž průměrné hodnoty celého souboru nepřekročily hranici mezního průniku 0,05 %, a to SARI Sil, VISION (nepatrně překročena mezní hodnota u cvičení chůze 1 – 0,054 %), Panorama Nova RA a 54100,

- (zde byla mezní hodnota překročena u 3 cvičení, a to u chůze 1 – 0,071 %, otáčení – 0,055 % a kývání – 0,051 %, také Me u této masky byl již nad mezní hodnotou – 0,051 %);
- u 2 masek pak bylo dosaženo poměrně vysokého průměrného průniku, a to u masky 6000 (0,206 %) a u masky Ultra Elite (0,292 %), přestože v obou těchto případech byly k dispozici všechny velikosti a zkušební osoby prováděly zkoušku s neoptimálnější velikostí, tyto masky také nevyhověly při všech prováděných cvičeních;
 - nejlépe hodnocenou maskou tak byla maska SARI Sil, maska vývojově velmi stará, přičemž průměrná hodnota průniku ze všech cvičení byla 0,033 % a i odchylka (0,009 %) a variační koeficient (27,3 %) byly poměrně nízké, což poukazovalo na minimální rozdíly v průniku jednotlivých cvičení;
 - velmi vysoká odchylka byla zejména u masek, které nevyhověly na průnik, a to u Ultra Elite („s“ – 0,140 %) a u VENUS 1 („s“ – 0,114; průměr – 0,162 %), těmto závěrům odpovídaly i vysoké hodnoty „v“ – 47,9 % u masky Ultra Elite a 70,4 % u masky VENUS 1;
 - nejnižší hodnoty „v“ bylo dosaženo u masky 3S (15,0 %), přestože maska celkově nevyhověla na průnik (průměrná hodnota průniku 0,06 %);
 - průměrná hodnota průniku celého souboru testovaných masek byla poměrně vysoká a činila 0,105 %.

Tabulka 4

Průměrný průnik hexafluoridu sírového všech 74 osob u jednotlivých masek a prováděných cvičení, včetně vybraných statistických údajů

Maska	Cvičení							s (všechna cvičení)	v (všechna cvičení) [%]
	chůze 1	otáčení	kývání	mluvení	chůze 2	Ø _{masky}	Me		
	Průnik hexafluoridu sírového SF ₆ [%] - průměr ze všech cvičení								
Promask	0,238	0,123	0,099	0,052	0,055	0,113	0,099	0,076	67,3
M-98	0,095	0,077	0,053	0,060	0,044	0,066	0,060	0,020	30,3
SARI Sil	0,044	0,034	0,034	0,034	0,020	0,033	0,034	0,009	27,3
VISION	0,054	0,035	0,034	0,040	0,032	0,039	0,035	0,009	23,1
Advantage	0,062	0,095	0,079	0,062	0,123	0,084	0,079	0,026	31,0
Ultra Elite	0,213	0,376	0,353	0,431	0,087	0,292	0,353	0,140	47,9
3S	0,072	0,055	0,053	0,067	0,053	0,060	0,055	0,009	15,0
Venus 1	0,168	0,344	0,163	0,055	0,078	0,162	0,163	0,114	70,4
SR-200	0,089	0,181	0,063	0,071	0,058	0,092	0,071	0,051	55,4
Panorama Nova RA	0,044	0,036	0,043	0,033	0,028	0,037	0,036	0,007	18,9
FPS 7000	0,145	0,115	0,176	0,082	0,145	0,133	0,145	0,036	27,1
54100	0,071	0,055	0,051	0,039	0,028	0,049	0,051	0,016	32,7
6000	0,156	0,270	0,202	0,198	0,206	0,206	0,202	0,041	19,9
Ø _{cvičení}	0,112	0,138	0,108	0,094	0,074	0,105			
Me	0,089	0,095	0,063	0,060	0,055				
s	0,065	0,119	0,093	0,110	0,055				
v [%]	58,0	86,2	86,1	117,0	74,3				

Poznámka: s ... výběrová směrodatná odchylka; Me ... medián; v ... variační koeficient.

Významnější rozdíly byly nalezeny při hodnocení jednotlivých cvičení. Nejnižší průměrné hodnoty průniku byly u cvičení „chůze 2“ (0,074 %) a „mluvení“ (0,094 %). Naopak nejvyšší hodnoty byly u cvičení otáčení (0,138 %). Tento výsledek tak potvrdil závěr zjištěný u českých masek [21]. Ve všech případech však ani při jednom cvičení nebyly splněny požadavky na průnik, tj. 0,05 %.

Vysoké hodnoty směrodatných odchylek a variačních koeficientů opět poukázaly na značné rozdíly naměřených hodnot průniku u jednotlivých masek. Nejnižší hodnoty „s“ i „v“ byly nalezeny u obou cvičení „chůze“, nejvyšší u cvičení mluvení, kde „s“ byla např. v porovnání s cvičením „chůze 2“ 2x vyšší a „v“ dosahoval 117 %.

Při posuzování jednotlivých masek a cvičení u souboru mužů (tabulka 5) a ženy (tabulka 6) bylo dosaženo poněkud odlišných výsledků. Tyto rozdíly spočívaly zejména v odlišných morfologických parametrech obličejů žen, neboť masky jsou především využívány muži a pro ně byly masky především vyvíjeny. Na tuto skutečnost poukazuje zejména průměrná hodnota průniku všech měřených masek (vyznačena v tabulkách černě), která u mužů činí 0,074 % a u žen 0,148 %, čili je 2x vyšší. V obou případech ale tyto průměrné hodnoty překročily požadovanou hodnotu danou normou, a to 0,05 %.

Zatímco u mužů byly nejlépe hodnoceny masky SARI Sil (průměrný průnik 0,025 %), VISION (0,028 %) a 54100 (0,033 %, maska však nevyhověla při cvičení „chůze 1“, kdy byl průměrný průnik 0,059 %), u žen to byly masky Panorama Nova RA (průměrný průnik 0,032 %), M-98 (0,043 %, maska nevyhověla při cvičení „otáčení“, kdy průměrný průnik byl 0,100 %) a SARI Sil (0,045 %, maska nevyhověla při cvičení „chůze 1“, průměrný průnik dosáhl hodnoty 0,059 %).

V případě mužů byla nejhůře hodnocenou maskou FPS 7000 (průměrný průnik dosahoval hodnotu 0,158 %), kdežto u žen to byly masky Ultra Elite (průnik 0,567 %), 6000 (0,354 %) a VENUS-1 (0,226 %), přičemž u této masky nebyla podmínka splněna pouze u 2 cvičení, a to u „otáčení“ – průnik 0,800 % a u „kývání“ – průnik 0,23 %.

Ve většině případů také směrodatné odchylky a variační koeficienty jednotlivých masek byly u mužů nižší než u žen (např. „s“ u masky 3S byla u mužů 0,002 a „v“ 4,3 %; u žen byla „s“ 0,019 a „v“ 23,8 %), tzn. že v případě mužů u jednotlivých testovaných masek nebyl až tak velký rozdíl mezi jednotlivými cvičeními jako u žen.

Těž rozdíly mezi jednotlivými cvičeními byly odlišné jak u mužů, tak žen. Zatímco u mužů nejlépe vycházelo cvičení „mluvení“ (průměrný průnik 0,058 %) a u tří dalších byly hodnoty průniku nepatrně vyšší, a to u „otáčení“, „kývání“ a „chůze 2“ (ve všech třech případech byly tyto hodnoty stejné – 0,067 %), u žen byla nejlépe hodnoceným cvičením „chůze 2“ (průměrný průnik 0,084 %). Nejhorším cvičením u mužů pak byla „chůze 1“ (průnik 0,109 %) a u žen „otáčení“ (průnik 0,241 %) a „kývání“ (průnik 0,159 %). Ani zde však nebyly ani v jednom případě splněny požadavky na průnik dle ČSN EN 136, tj. 0,05 %.

Tak jako v případě souboru všech osob, i zde byly dosaženy velmi vysoké hodnoty směrodatných odchylek a variačních koeficientů, a to nejen u mužů, ale i u žen, a to při všech prováděných cvičeních. Zatímco u mužů byla nejvyšší „s“ a „v“ největší u cvičení „chůze 1“ (průměrná hodnota byla 0,088, resp. 80,7 %), u žen to bylo u „mluvení“ (průměrná hodnota dosahovala v tomto případě 0,250, resp. 173,6 %), tzn. že u žen byla směrodatná odchylka 2,8x vyšší než u mužů a variační koeficient téměř 2,2x vyšší.

Tabulka 5
Průměrný průnik hexafluoridu sírového mužských osob u jednotlivých masek a prováděných cvičení, včetně vybraných statistických údajů

Maska	Cvičení							s (všechna cvičení)	v (všechna cvičení) [%]
	chůze 1	otáčení	kývání	mluvení	chůze 2	\varnothing_{masky}	Me		
	Průnik hexafluoridu sírového SF ₆ [%] - průměr ze všech cvičení								
Promask	0,291	0,094	0,078	0,033	0,036	0,106	0,078	0,107	100,9
M-98	0,134	0,063	0,064	0,080	0,060	0,080	0,064	0,031	38,8
SARI Sil	0,028	0,026	0,026	0,025	0,018	0,025	0,026	0,004	16,0
VISION	0,035	0,022	0,025	0,035	0,025	0,028	0,025	0,006	21,4
Advantage	0,046	0,088	0,087	0,063	0,177	0,092	0,087	0,051	55,4
Ultra Elite	0,121	0,096	0,102	0,075	0,075	0,094	0,096	0,019	20,2
3S	0,049	0,045	0,043	0,047	0,046	0,046	0,046	0,002	4,3
Venus 1	0,261	0,036	0,050	0,072	0,104	0,105	0,072	0,091	86,7
SR-200	0,040	0,046	0,050	0,044	0,044	0,045	0,044	0,004	8,9
Panorama Nova RA	0,051	0,037	0,042	0,035	0,035	0,040	0,037	0,007	17,5
FPS 7000	0,188	0,152	0,183	0,124	0,141	0,158	0,152	0,027	17,1
54100	0,059	0,030	0,023	0,031	0,021	0,033	0,030	0,015	45,5
6000	0,117	0,141	0,101	0,095	0,085	0,108	0,101	0,022	20,4
$\varnothing_{cvičení}$	0,109	0,067	0,067	0,058	0,067	0,074			
Me	0,059	0,046	0,050	0,047	0,046				
s	0,088	0,043	0,044	0,030	0,049				
v [%]	80,7	64,2	65,7	51,7	73,1				

Poznámka: s ... výběrová směrodatná odchylka; Me ... medián; v ... variační koeficient.

Tabulka 6
Průměrný průnik hexafluoridu sirového ženských osob u jednotlivých masek a prováděných cvičení, včetně vybraných statistických údajů

Maska	Cvičení						$\varnothing_{\text{masky}}$	Me	s (všechna cvičení)	v (všechna cvičení) [%]
	chůze 1	otáčení	kývání	mluvení	chůze 2	Průnik hexafluoridu sirového SF ₆ [%] - průměr ze všech cvičení				
Promask	0,162	0,165	0,129	0,080	0,082	0,124	0,129	0,041	33,1	
M-98	0,032	0,100	0,035	0,027	0,019	0,043	0,032	0,033	76,7	
SARI Sil	0,067	0,044	0,045	0,046	0,022	0,045	0,045	0,016	35,6	
VISION	0,083	0,054	0,048	0,046	0,042	0,055	0,048	0,016	29,1	
Advantage	0,087	0,106	0,066	0,060	0,038	0,071	0,066	0,026	36,6	
Ultra Elite	0,339	0,765	0,702	0,924	0,104	0,567	0,702	0,336	59,3	
3S	0,104	0,069	0,068	0,097	0,063	0,080	0,069	0,019	23,8	
Venus 1	0,030	0,800	0,230	0,029	0,041	0,226	0,041	0,332	146,9	
SR-200	0,162	0,381	0,082	0,111	0,080	0,163	0,111	0,126	77,3	
Panorama Nova RA	0,033	0,036	0,044	0,029	0,019	0,032	0,033	0,009	28,1	
FPS 7000	0,082	0,061	0,167	0,018	0,151	0,096	0,082	0,062	64,6	
54100	0,091	0,095	0,095	0,052	0,038	0,074	0,091	0,027	36,5	
6000	0,214	0,463	0,353	0,352	0,388	0,354	0,353	0,019	5,4	
□ cvičení	0,114	0,241	0,159	0,144	0,084	0,148				
Me	0,087	0,100	0,082	0,052	0,042					
s	0,087	0,274	0,187	0,250	0,099					
v [%]	76,3	113,7	117,6	173,6	117,9					

Poznámka: s ... výběrová směrodatná odchylka; Me ... medián; v ... variační koeficient.

V řadě případů však nebylo provedeno měření masky se všemi 74 osobami. Jednalo se zejména o ty případy, kdy osobě při tzv. laické kontrole maska netěsnila, tudíž nemělo smysl měření provádět. V tabulce 7 je uveden skutečný počet měřených osob v jednotlivých skupinách, se kterými bylo měření dané masky prováděno.

Tabulka 7
Počet zkušebních osob daného souboru provádějící měření

Maska	Soubor		
	Všechny zkušební osoby	Muži	Ženy
Promask	73	43	30
M-98	70	43	27
SARI Sil	73	43	30
VISION	72	43	29
Advantage	70	43	27

Pokračování tabulky 7

Ultra Elite	74	43	31
3S	73	43	30
Venus 1	62	37	25
SR-200	72	43	29
Panorama Nova RA	73	43	30
FPS 7000	70	42	28
54100 North	69	42	27
6000	70	42	28

V tabulkách 8–10 je uvedeno porovnání pořadí naměřených hodnot obsahu oxidu uhličitého ve vdechovaném vzduchu a průniku hexafluoridu sírového, a to pro jednotlivé soubory osob. Určujícím kritériem porovnání bylo pořadí naměřených hodnot, a to od nejnižší hodnoty (označené 1) až po nejvyšší (označené 13).

Tabulka 8

Porovnání pořadí obsahu oxidu uhličitého a průniku hexafluoridu sírového souboru všech osob

Maska	\emptyset_{masky}	V_{masky} [%]				
Promask	4/9	10/12				
M-98	8/6	8/7				
SARI Sil	10/1	4-5/6				
VISION	5/3	12/4				
Advantage	2/11	11/13				
Ultra Elite	11/7	6-7/8				
3S	9/13	1-2/10				
Venus 1	12/5	1-2/1				
SR-200	6/2	9/2				
Panorama Nova RA	7/10	3/5				
FPS 7000	3/12	4-5/3				
54100 North	1/4	13/9				
6000	13/8	6-7/11				
	Jednotlivá cvičení					
	chůze 1	otáčení	kývání	mluvení	chůze 2	
\emptyset_{masky}	1/4	3/5	5/3	4/2	2/1	
V_{masky} [%]	2/1	3-4/4	3-4/3	5/5	1/2	

Poznámka: v ... variační koeficient; x/y ... x – pořadí průměrného množství CO_2 ; y – pořadí průměrného průniku SF_6 .

Z výsledků uvedených v tabulce 8 v případě hodnocení jednotlivých masek všech osob nebyla nalezena žádná závislost mezi obsahem oxidu uhličitého ve vdechovaném vzduchu a průnikem hexafluoridu sírového.

V případě jednotlivých cvičení nižšímu množství oxidu uhličitého odpovídal nižší průnik hexafluoridu sírového (zejména u cvičení „chůze“) a vyššímu množství oxidu uhličitého vyšší průnik hexafluoridu sírového (cvičení „otáčení“, „kývání“ a „mluvení“), a to pouze u hodnot variačního koeficientu.

Tabulka 9

Porovnání pořadí obsahu oxidu uhličitého a průniku hexafluoridu sírového souboru – muži

Maska	\emptyset_{masky}	V_{masky} [%]				
Promask	4/11	8-9/13				
M-98	6/7	3-4/9				
SARI Sil	10/1	3-4/3				
VISION	5/2	13/8				
Advantage	3/10	11/12				
Ultra Elite	11/8	5/11				
3S	9/9	1-2/6				
Venus 1	12/6	1-2/1				
SR-200	7/4	10/5				
Panorama Nova RA	8/13	6-7/4				
FPS 7000	2/12	8-9/7				
54100 North	1/3	12/10				
6000	13/5	6-7/2				
	Jednotlivá cvičení					
	chůze 1	otáčení	kývání	mluvení	chůze 2	
\emptyset_{masky}	1/5	2/2-4	5/2-4	4/1	3/2-4	
V_{masky} [%]	3/5	4/2	1/3	5/1	2/4	

Poznámka: v ... variační koeficient; x/y ... x – pořadí průměrného množství CO_2 ; y – pořadí průměrného průniku SF_6 .

V případě souboru zkušební osoby muži (tabulka 9) i ženy (tabulka 10) nebyl též nalezen žádný vztah mezi obsahem oxidu uhličitého ve vdechovaném vzduchu a průnikem hexafluoridu sírového, a to jak u hodnocených masek, tak i u cvičení.

Tabulka 10

Porovnání pořadí obsahu oxidu uhličitého a průniku hexafluoridu sírového souboru – ženy

Maska	\emptyset_{masky}	V_{masky} [%]				
Promask	5/9	9-10/5				
M-98	8/2	9-10/11				
SARI Sil	10/3	4-5/6				
VISION	6/4	11/4				
Advantage	2/11	12/13				
Ultra Elite	11/5	7-8/8				
3S	9/13	4-5/9				
Venus 1	12/7	1/2				
SR-200	4/1	6/3				
Panorama Nova RA	7/8	2-3/10				
FPS 7000	3/12	7-8/1				
54100 North	1/6	13/7				
6000	13/10	2-3/12				
	Jednotlivá cvičení					
	chůze 1	otáčení	kývání	mluvení	chůze 2	
\emptyset_{masky}	2/2	3/5	5/4	4/3	1/1	
V_{masky} [%]	4/1	1-2/2	3/3	5/5	1-2/4	

Poznámka: v ... variační koeficient; x/y ... x – pořadí průměrného množství CO_2 ; y – pořadí průměrného průniku SF_6 .

ZÁVĚR

Předložené výsledky ukázaly, že pouze 8 OM souboru všech 74 osob splnilo požadavky na množství CO₂ v podmaskovém prostoru, a to Promask, M-98, Vision, Venus, Panorama Nova RA, FPS 7000, 6000 a 54100, přičemž nejnižší množství oxidu uhličitého bylo naměřeno u OM 54100, Venus a 6000 a naopak nejvyšší u OM 3S a SR-200.

Výrazně se zde také projevil vliv jednotlivých cvičení, kde nejnižší množství bylo naměřeno u prvního cvičení – chůze 1, naopak nejvyšší množství u cvičení kývání.

Ukázalo se tak, že konstrukční rozdíly mezi jednotlivými maskami velmi výrazně ovlivňují množství CO₂ v podmaskovém prostoru, a to bez ohledu na prováděná cvičení.

V případě hodnocení jednotlivých pohlaví v porovnání s celým souborem 74 osob byly nalezeny pouze nepatrné rozdíly. U obou souborů, jak u mužů, tak i u žen, byly nejnižší (u masky 54100) i nejvyšší hodnoty (u masky SR-200) CO₂ nalezeny u stejné masky, tak jako bylo u celého testovaného souboru. Pouze v případě jednotlivých cvičení byly nejnižší naměřené hodnoty množství CO₂ nalezeny u souboru ženy, u cvičení chůze 2, kdežto u mužů u cvičení chůze 1. V tomto případě získané výsledky velmi dobře korespondují s výsledky získanými u souboru všech osob a zároveň i s výsledky uváděnými u českých masek; nejvyšší hodnoty, tak jako v případě všech osob, byly u cvičení kývání. Avšak v případě žen průměrné množství oxidu uhličitého překročilo hranici 1 obj. %, což znamená, že tento soubor jako celek nesplnil požadavky normy.

Požadavkům na průnik SF₆ dle ČSN EN 136 vyhověly v souboru všech osob pouze 4 masky s tím, že v některých případech byly nepatrně překročeny mezní hodnoty. Jednalo se o masky SARI Sil, VISION (překročena mezní hodnota u cvičení chůze 1 – 0,054 %), Panorama Nova RA a 54100 (překročeny mezní hodnoty u 3 cvičení, a to u chůze 1 – 0,071 %, otáčení – 0,055 % a kývání – 0,051 %). U 2 masek pak bylo dosaženo poměrně vysokého průměrného průniku, a to u masky 6000 (0,206 %) a Ultra Elite (0,292 %).

Nejlépe hodnocenou ochrannou maskou z pohledu průniku tak byla maska SARI Sil, přičemž průměrná hodnota průniku všech cvičení dosahovala 0,033 % s odchylkou 0,009 % a variačním koeficientem 27,3 %.

Významnější rozdíly byly také nalezeny při hodnocení jednotlivých cvičení. Nejnižší průměrné hodnoty průniku byly naměřeny u cvičení chůze 2 (0,074 %) a mluvení (0,094 %), naopak nejvyšší hodnoty u cvičení otáčení (0,138 %). Ve všech případech však ani při jednom cvičení nebyly splněny požadavky na průnik, tj. 0,05 %.

Při posuzování jednotlivých masek a cvičení u souboru muži a ženy bylo dosaženo poněkud odlišných výsledků v porovnání se souborem všech osob. Tyto rozdíly spočívaly zejména v odlišných morfologických parametrech obličejů žen, neboť masky jsou především využívány muži a pro ně byly masky především vyvíjeny. Na tuto skutečnost poukazuje zejména průměrná hodnota průniku všech měřených masek, která u mužů činí 0,074 %, kdežto u žen 0,148 %, čili je v případě žen 2x vyšší než u mužů. V obou případech ale tyto průměrné hodnoty překročily požadovanou hodnotu danou normou, a to 0,05 %.

Zatímco u mužů byly nejlépe hodnoceny masky SARI Sil (průměrný průnik 0,025 %), VISION (0,028 %) a 54100 (0,033 %, maska však nevyhověla při cvičení „chůze 1“, kdy byl průměrný průnik 0,059 %), u žen to byly masky Panorama Nova RA (průměrný průnik 0,032 %), M-98 (0,043 %, maska nevyhověla při cvičení „otáčení“, kdy průměrný průnik byl 0,100 %) a SARI Sil (0,045 %, maska nevyhověla při cvičení „chůze 1“, průměrný průnik dosáhl hodnoty 0,059 %).

V případě mužů byla nejhůře hodnocenou maskou FPS 7000 (průměrný průnik dosahoval hodnoty 0,158 %), kdežto u žen to byly masky Ultra Elite (průnik 0,567 %), 6000 (0,354 %) a VENUS-1 (0,226 %), přičemž u této masky nebyla podmínka splněna pouze u 2 cvičení, a to u „otáčení“ – průnik 0,800 % a u „kývání“ – průnik 0,23 %.

Též rozdíly mezi jednotlivými cvičeními byly odlišné jak u mužů, tak i žen. Zatímco u mužů nejlépe vycházelo cvičení „mluvení“ (průměrný průnik 0,058 %) a u tří dalších byly hodnoty průniku nepatrně vyšší, a to u „otáčení“, „kývání“ a „chůze 2“ (ve všech třech případech byly tyto hodnoty stejné – 0,067 %), u žen byla nejlépe hodnoceným cvičením „chůze 2“ (průměrný průnik 0,084 %). Nejhorším cvičením u mužů pak byla „chůze 1“ (průnik 0,109 %) a u žen „otáčení“ (průnik 0,241 %) a „kývání“ (průnik 0,159 %). Ani zde však nebyly ani v jednom případě splněny požadavky na průnik dle ČSN EN 136, tj. 0,05 %.

Z výsledků také vyplynulo, že v případě zahraničních OM neexistuje žádná korelace mezi průnikem a množstvím vydechovaného oxidu uhličitého, tak jako tomu bylo u českých masek.

V případě vojenského napadení za použití chemických bojových látek, při teroristickém útoku, průmyslové havárii apod. je na českém trhu poměrně široká škála masek, které lze k těmto účelům použít. Přesto se nelze nezamyslet nad tím, kolik obyvatel by přežilo nebo neutrpělo újmu na zdraví, neboť neumí OM správně nasadit, řada masek je vyráběna pouze v jedné nebo ve dvou velikostech, tzn. že pro řadu uživatelů by díky svým fyziologickým parametrům a tvaru obličejové tyto masky stejně nesplnily svůj účel. Ukázalo se také, že masky určené pro ženy jsou do značné míry nevyhovující, zejména tudíž by bylo vhodné pro ně vyvinout speciální OM.

Článek vznikl v rámci řešení projektu „VI20152020009 – Cílený aplikovaný výzkum nových moderních technologií, metod a postupů ke zvýšení úrovně schopností HZS ČR – CAVHS“.

Literatura

- [1] BILLINGS, C. Atmosphere. In: PARKER, JF, VR WEST, eds. *Bioastronautics Data Book*. Washington, DC: NASA, 1973, s. 35–63.
- [2] JOHNSON, A. *Biomechanics and Exercise Physiology: Quantitative Modeling*. Boca Raton: Taylor and Francis, 2007.
- [3] DOOLY, C., A. JOHNSON a E. BROWN. Performance decrement due to altered vision while wearing a respiratory face mask. *Mil Med*. 1994, 159:408-11.
- [4] JOHNSON, A., C. Dooly a E. BROWN. Task performance with visual acuity while wearing a respirator mask. *Am Indus Hyg Assoc J*. 1994, 55:818-22.
- [5] JOHNSON, A., C. DOOLY, M. SAHOTA, K. COYNE a M. BENJAMIN. Effect of altered vision on constant load exercise performance while wearing a respirator. *Am Indus Hyg Assoc J*. 1997, 58:578-86.
- [6] JOHNSON, A., W. SCOTT, S. PHELPS, D. CARETTI a F. KOH. How is respiratory comfort affected by respiratory resistance? *J Internat Soc Respir Prot*. 2005, 22:38-46.
- [7] KOH, F., A. JOHNSON, W. SCOTT, S. PHELPS, E. FRANCIS a S. CATTUNGAL. The correlation between personality type while wearing a respirator. *J Occupat Environ Hyg*. 2006, 3:317-22.
- [8] ČSN EN 136 (83 2210). *Ochranné prostředky dýchacích orgánů – Obličejové masky – Požadavky, zkoušení, značení*. Praha: Český normalizační institut. 44 s.
- [9] SÝKORA, Vlastimil a Čestmír HYLÁK. Subjektivní testování tuzemských a zahraničních ochranných masek. *Informační zpravodaj*. 1/2004, ročník 15, s. 49–65.
- [10] SÝKORA, Vlastimil a Čestmír HYLÁK. Testování ochranných masek. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2004, ročník 3, č. 8, s. 20–22.

- [11] HYLÁK, Čestmír, Vlastimil SÝKORA, Dagmar URBANOVÁ a Hana KOVALIČOVÁ. *Měření průniku SF₆ do lícnic ochranných masek dostupných na tuzemském trhu*. [Průběžná zpráva]. Lázně Bohdaneč: MV – GR HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2008. 43 s.
- [12] HYLÁK, Čestmír, Vlastimil SÝKORA, Dagmar URBANOVÁ a Hana KOVALIČOVÁ. *Měření průniku SF₆ do lícnic ochranných masek dostupných na tuzemském trhu*. [Průběžná zpráva]. Lázně Bohdaneč: MV – GR HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2009. 74 s.
- [13] HYLÁK, Čestmír, Vlastimil SÝKORA, Dagmar URBANOVÁ a Hana KOVALIČOVÁ. *Měření průniku SF₆ do lícnic ochranných masek dostupných na tuzemském trhu*. Lázně Bohdaneč: MV – GR HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2010. 117 s.
- [14] HYLÁK, Čestmír, Vlastimil SÝKORA, Dagmar URBANOVÁ a Hana KOVALIČOVÁ. *Měření průniku SF₆ do lícnic ochranných masek dostupných na tuzemském trhu*. Lázně Bohdaneč: MV – GR HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2011. 105 s.
- [15] SÝKORA, Vlastimil a Čestmír HYLÁK. Ochranné masky – chrání nebo nechrání, popř. proč? In: *Sborník příspěvků z mezinárodní konference DEKONTAM 2013*. Ostrava: SPBI, FBI, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013, s. 161–166. ISBN 978-80-7385-122-4.
- [16] HYLÁK, Čestmír, Vlastimil SÝKORA, Dagmar URBANOVÁ a Hana KOVALIČOVÁ. Testování ochranných masek nabízených na tuzemském trhu na těsnost. In: *Sborník z 1. konference HAZMAT PROTECT 2014*. Příbram: SÚJCHBO, 2014, s. 12–22. ISBN 978-80-260-7609-4.
- [17] HYLÁK, Čestmír, Vlastimil SÝKORA a Dagmar URBANOVÁ. *Metodika měření těsnosti ochranných masek*. Lázně Bohdaneč: MV – GR HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2008. 10 s.
- [18] Aritmetický průměr. In: *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetick%C3%BD_pr%C5%AFm%C4%9Br
- [19] Medián. In: *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Medi%C3%A1n>
- [20] Směrodatná odchylka. In: *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sm%C4%9Brodavn%C3%A1_odchylka
- [21] SÝKORA, Vlastimil a Čestmír HYLÁK. Testování českých ochranných masek – Vztah mezi průnikem a obsahem oxidu uhličitého. In: *Sborník příspěvků z XIX. ročníku mezinárodní konference Ochrana obyvatelstva – Zdravotní záchranářství 2020*. Ostrava: SPBI, FBI, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2020, s. 45–47. ISBN 978-80-7385-227-6.