

MĚŘENÍ TĚSNOSTI OCHRANNÝCH KUKEL – ZKUŠEBNÍ OSOBY MUŽI

MEASUREMENTS OF TIGHTNESS PROTECTIVE HOOD – TESTING PERSONS MEN

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

Abstract

The article deals with the measuring penetration through nine protective hoods at a flow rate of 140 and 180 l.min⁻¹. Hoods from the Czech company MALINA-SAFETY and hoods from foreign companies 3M, Dräger, MSA-AUER and Sundström were used for the evaluation. The influence of various hoods, flow rate and tested persons on penetration was discussed and the difference between the Czech and foreign hoods was assessed. The obtained results were statistically evaluated.

Key words

Flow rate, men, penetration, protective hood, sulphur hexafluoride.

ÚVOD

V rámci zkoušení těsnosti ochranných prostředků byly kromě již dříve hodnocených ochranných masek [1, 2, 3, 4, 5] odzkoušeny i některé ochranné kukly, které se mohou na českém trhu vyskytovat.

Pro hodnocení byly použity ochranné kukly české firmy MALINA SAFETY [6] a ochranné kukly zahraničních firem – 3M (dříve SCOTT) [7], Dräger [8], MSA-AUER [9] a Sundström [10].

Měření byla prováděna s 27 zkušebními osobami – se 14 muži a 13 ženami. Vzhledem k tomu, že u zkušebních osob tvar a fyziogrické parametry obličeje, případně přítomnost vousů či delších vlasů, nemají na průnik takový vliv, jako tomu bylo při měření s ochrannými maskami [11,12], nebyly tyto parametry brány v potaz, pouze v případě extrémních výsledků bylo na ně odkázáno.

Tento článek se zabývá průnikem zkušební látky – hexafluoridu sírového – do ochranných kukel zkoušených pouze s mužskými zkušebními osobami, neboť množství naměřených výsledků je poměrně značné a mohlo by docházet k určité nepřehlednosti. V následujícím článku pak budou diskutovány výsledky s ženskými zkušebními osobami.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Testované ochranné kukly

Bylo odzkoušeno 5 českých ochranných kukel firmy MALINA-SAFETY, a to CA-1, CA-2, CA-10, Doktor a Senior [6], a 4 zahraniční ochranné kukly firem 3M - FLOWHOOD 25 chemická (dále jen FLOWHOOD), Dräger - X-Plore 8000 Premium (dále jen X-Plore 8000), MSA-AUER (OPTIHOOD) a SR-562 (Sundström).

Ochranné kukly byly před vlastním měřením průniku opatřeny průchodkou a místo průchodu dotěsněno speciálním tmelem.

Použité zařízení, přístroje a chemikálie

- zkušební komora „KOMPIO“ IOO LB – určena pro vlastní měření průniku hexafluoridu sírového do lícnice ochranné kukly, jedná se o mobilní zařízení, zhotovené modifikací Bioboxu EBXT 06,
- běžecký treňažér PROTEUS 6 800 s nastavitelnou rychlostí posunu pásu,
- ventilátor – slouží pro homogenizaci atmosféry uvnitř zkušební komory,
- přenosný infračervený spektrometr MIRAN 1B2 – určen pro měření koncentrace SF₆ ve zkušební komoře,
- fotoakustický infračervený spektrometr FD 1412 – určen pro měření průniku hexafluoridu sírového SF₆ do prostoru pod ochrannou kuklou,
- vnější filtroventilační jednotka – slouží pro přívod čerstvého vzduchu do kukly v době, kdy dochází ke stabilizaci koncentrace hexafluoridu sírového ve vnitřním prostoru kukly,
- filtroventilační jednotka firmy Clean-Air s nastavitelným průtokem v rozsahu 120–210 l.min⁻¹ – slouží pro nastavení průtoku vzduchu, při kterém byl sledován průnik hexafluoridu sodného do vnitřního prostoru kukly,
- fluorid sírový SF₆ – inertní plyn s bodem varu -63,8 °C, nehořlavý, netoxický a nekorozivní, s téměř pětkrát vyšší hustotou než vzduch.

Vlastní průběh zkoušek

Měření průniku hexafluoridu sírového do ochranné kukly bylo prováděno dle interní metodiky [13] vycházející z ČSN EN 12 941 [14] a porovnáno s měřením dle ČSN EN 136 [15].

Koncentrace hexafluoridu sírového ve zkušební komoře byla pro měření průniku do ochranné kukly nastavena na hodnotu 1 000 ppm a po celou dobu měření byla na této hodnotě udržována. Teplota ve zkušební komoře se pohybovala v rozsahu 20 ± 5 °C.

Před vlastním měřením byla každá zkušební osoba stručně seznámena s jednotlivými ochrannými kuklami, s jejich správným způsobem nasazování a s vlastní metodikou měření. Následně bylo provedeno vlastní měření průniku.

Zkušební osoba si nasadila kuklu do ochranné polohy, vstoupila do zkušební komory s připojenou filtroventilační jednotkou Clean-Air (dále jen komory), kde již byla vytvořena požadovaná koncentrace hexafluoridu sírového a po připojení k měřicímu zařízení (IČ spektrometr FD 1412) a k vnějšímu přívodu čistého vzduchu vháněného pomocí vnější filtroventilační jednotky vyčkávala do doby, dokud nedošlo ke stabilizaci koncentrace ve vnitřním prostoru kukly (tato hodnota by se měla blížit nule a byla vzata jako hodnota pozadí).

Po ustálení podmínek byl přívod čerstvého vzduchu pomocí vnější filtroventilační jednotky pozastaven (jednotka byla vypnuta a odpojena), zkušební osoba nyní začala samovolně dýchat za současného přívodu vzduchu pomocí filtroventilační jednotky Clean-Air s přednastaveným požadovaným průtokem. Zároveň s tím si zkušební osoba spustila běhací treňažér s přednastavenou rychlostí 6 km/h. Během této chůze pak prováděla v souladu s ČSN EN 12 941 následující cvičení:

- chůze po dobu 2 min bez pohybu hlavou a bez mluvení;
- po dobu 2 min otáčení hlavou z jedné strany na druhou;
- po dobu 2 min zvedání a sklánění hlavy;
- po dobu 2 min hlasité mluvení;
- po dobu 2 min závěrečná chůze, opět bez pohybu hlavou a bez mluvení.

Během této doby byla zároveň obsluhujícím personálem zaznamenávána koncentrace hexafluoridu sírového ve zkušební komoře a zároveň udržována na příslušné hodnotě 1 000 ppm a dále byly zaznamenávány hodnoty průniku během každého cvičení. Po skončení cyklu při 140 l.min⁻¹ byla jednotka Clean-Air přepnuta na 180 l.min⁻¹ a stejným způsobem bylo provedeno měření i při tomto průtoku vzduchu.

Výpočet průniku

Průnik (P) hexafluoridu sírového do ochranné kukly byl vypočítán z měření provedených při jednotlivých předepsaných činnostech během posledních 100 vteřin, aby se zabránilo překrývání výsledků jednotlivých cvičení.

Pro výpočet průniku P platí vztah:

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

kde: C_1 - koncentrace ve zkušební komoře [ppm],
 C_2 - průměrná koncentrace pod kuklou [ppm],
 C_0 - koncentrace pozadí [ppm].

Výpočet statistických parametrů byl proveden podle následujících vzorců:

a) *výběrová směrodatná odchylka s* [16]

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

kde: N ... počet měření,
 x_i ... i -tá hodnota měření,
 \bar{x} ... průměrná hodnota měření.

b) *variační koeficient v_k* [17]

$$v_k [\%] = \frac{s}{\bar{x}} 100 \quad (3)$$

c) *medián M_e* [18]

V případě lichého počtu položek byl medián vzat jako prostřední hodnota, v případě sudého počtu položek byl medián vypočten jako aritmetický průměr hodnot na místech $n/2$ a $n/2 + 1$.

VÝSLEDKY

Tabulka 1 demonstruje výsledky průniku hexafluoridu sírového do 3 ochranných kukel firmy MALINA-SAFETY, a to do CA-1, CA-2 a CA-10, tabulka 2 do dvou ochranných kukel téže firmy, a to Doctor a Senior a tabulka 3 do čtyř zahraničních ochranných kukel, a to FLOWHOOD 25 chemická, (dále jen FLOWHOOD), X-Plore 8000 Premium (dále jen X-Plore 8000), OPTIHOOD a SR-562. Výsledky jsou uvedeny jak pro nižší průtok 140 l.min^{-1} , tak i pro vyšší 180 l.min^{-1} , a to pro všechny mužské zkušební osoby.

Průnik hexafluoridu sírového do kukel byl posuzován především podle normy ČSN EN 136 pro hodnocení ochranných masek, pro kterou platí, že maska vyhoví tehdy, jestliže je průnik nižší než 0,05 %. Hodnocení kukel dle normy ČSN EN 12 941 je sice správnější, získané výsledky však mají odlišnou vypovídací hodnotu s ohledem na skutečnost, že hodnocení kukel dle této normy je komplikovanější, neboť kukly podle svého průniku jsou zařazovány do tří tříd. Třídě TH-1 (kde hodnota průniku nesmí přesáhnout při vdechování 10 %) by takto vyhovělo všech 9 kukel při obou průtocích a u všech testovaných osob, třídě TH-2, kde hodnota průniku nesmí přesáhnout 2 %, by této podmínce v případě českých kukel nevyhověla kukla Senior u zkušební osoby č. 8 při průtoku 180 l.min^{-1} . Také zahraniční kukly FLOWHOOD a X-Plore 8000 by při obou průtocích a u všech zkušebních osob bez problému splnily požadavky třídy TH-2.

Tabulka 1

Hodnocení průniku do ochranných kulek CA-1, CA-2 a CA-10 se zkušebními osobami mužského pohlaví při průtoku 140 a 180 l.min⁻¹

ZO	Ochranná kukla					
	CA-1		CA-2		CA-10	
	Průtok vzduchu [l.min ⁻¹]					
	140	180	140	180	140	180
	Průnik SF ₆ [%]					
1	0,00600	0,01200	0,00200	0,00500	0,00400	0,00800
2	0,00300	0,05000	0,00500	0,00400	0,00400	0,00400
3	0,01400	0,01800	0,64300	0,41000	0,01400	0,01300
4	0,03700	0,02200	0,03300	0,03200	0,02400	0,02500
5	0,00800	0,01100	0,00600	0,01400	0,07700	0,05000
6	0,01900	0,02600	0,05500	0,06300	0,01900	0,02200
7	0,00200	0,01100	0,02900	0,06200	0,00500	0,00600
8	0,12200	0,03000	0,05500	0,04900	0,02700	0,01800
9	0,01100	0,02900	0,04900	0,14000	0,03200	0,10200
10	0,06800	0,01300	0,15600	0,07600	0,03700	0,05900
11	0,00500	0,00600	0,00600	0,01000	0,01200	0,03100
12	0,03500	0,02900	0,04600	0,03700	0,02300	0,02600
13	0,00700	0,00800	0,00700	0,01800	0,00200	0,00700
14	0,03700	0,07100	0,00500	0,00800	0,00500	0,01800
Ø _{průnik}	0,02671	0,02400	0,07836	0,06629	0,02036	0,02779
s	0,03322	0,01797	0,16745	0,10572	0,01989	0,02675
Me	0,01250	0,02000	0,03100	0,03450	0,01650	0,02000
v _k [%]	1,24346	0,74875	2,13697	1,59490	0,97689	0,96283

Poznámka: ZO ... zkušební osoba; s ... směrodatná odchylka; Me ... medián;
v_k ... variační koeficient; tyto zkratky platí i pro všechny následující tabulky
tmavě vyznačené hodnoty ... jsou hodnoty, které nesplnily podmínky normy ČSN
EN 136 na průnik, tj. byly vyšší než 0,05 %; platí pro všechny tabulky

Avšak u kukly OPTIHOOD a zejména u kukly SR-562 by požadavek na průnik pro třídu TH-2 již v řadě případů nebyl splněn. U kukly SR-562 by to bylo při průtoku 140 l.min⁻¹ u všech zkušebních osob a při průtoku 180 l.min⁻¹ u zkušebních osob č. 4, č. 6, č. 12 a č. 13. V případě kukly OPTIHOOD, i když hodnoty průniku byly poměrně vysoké, podmínky třídy TH-2 nebyly splněny pouze u zkušební osoby č. 8 při obou průtocích a u zkušební osoby č. 10 při průtoku 140 l.min⁻¹. Tato zkušební osoba měla, jak je z tabulky č. 3 vidět, poměrně značné problémy s vykonáním příslušného měření (osoba nezkušená v používání masek, navíc s nízkou fyzickou přípravou).

V případě třídy TH-3 (kde průnik nesmí přesáhnout hodnotu 0,2 %) by tomuto požadavku z českých kulek nevyhověla kukla CA-2, a to u zkušební osoby č. 3 při obou průtocích a kukla Senior u zkušebních osob č. 8 a č. 10, rovněž při obou průtocích.

Ze zahraničních kukul tuto podmínku nesplňují opět kukly OPTIHOOD a SR-562, rovněž při obou průtocích. Naopak kukly FLOWHOOD a X-Plode 8000 by plně ve všech případech vyhověly této podmínce.

Jsou-li však kukly hodnoceny dle normy na ochranné masky, tj. dle ČSN EN 136, jsou získány poněkud odlišné výsledky, neboť kukla vyhovuje pouze tehdy, je-li průnik nižší než 0,05 %. U kukul třídy TH-1 (vyhovuje v rozmezí 2–10 %) a TH-2 (vyhovuje od 0,2 do 2 %) jsou již takto hodnocené kukly automaticky nad touto hranicí 0,05 %, tudíž dle ČSN EN 136 nevyhovující. V případě třídy TH-3, kde kukla je vyhovující při průniku nižším než 0,2 %, kdežto masky až při průniku nižším než 0,05 %, je tato situace ještě více komplikovaná, neboť kukla by při průniku vyšším jak 0,05 % již nevyhověla, kdežto dle podmínek třídy TH-3 vyhověla. Proto byla, s ohledem na větší citlivost průniku při nižších hodnotách, větší pozornost zaměřena na výsledky získané dle normy pro masky – ČSN EN 136.

Jak je z tabulek 1–3 patrné, na výši průniku se podílely všechny sledované parametry, tj. jak jednotlivé zkušební osoby, tak i jednotlivé kukly a velikosti průtoku vzduchu přicházejícího od filtroventilační jednotky do vnitřního prostoru kukly.

Vliv tvaru a rozměrů obličeje (např. morfologická výška, bizygomatická šířka, hloubka obličeje popř. další) u jednotlivých zkušebních osob na průnik je sice zřejmý, i když v tomto případě v daleko menší míře, než tomu bylo u ochranných masek [11], v tomto případě však nebyl diskutován. Funkce ochranné kukly spočívá na poněkud odlišnějším způsobu ochrany, neboť průniku nebezpečných látek do vnitřního prostoru kukly je bráněno nejen vhodnou těsnicí linií kukly a jejím přilnutím k obličeji pomocí stahovacích gumiček či šňůrek, ale především vytvořeným vnitřním přetlakem vznikajícím pomocí vzduchu přiváděného filtroventilační jednotkou do vnitřního prostoru kukly. Tento přetlak pak zabraňuje vnikání nebezpečných látek do vnitřního prostoru kukly. Naměřený průnik u jednotlivých osob se tak pohyboval poměrně v širokém rozmezí, od velmi nízkých (řádově v tisícinách procenta) až po velmi vysoké hodnoty odpovídající třídě TH-1.

Značný vliv na hodnoty průniku měly především jednotlivé kukly. Velmi dobře vycházely zejména české ochranné kukly CA-1, CA-10 a Doktor a zahraniční FLOWHOOD a X-Plore 8000, a to při obou měřených průtocích. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami průniku byl minimální a pohyboval se přibližně od 0,01 % (kukla Doctor při průtoku 140 l.min⁻¹) do cca 0,03 % (kukla FLOWHOOD při 180 l.min⁻¹). Tyto ochranné kukly tak splnily v mnoha případech nejen požadavky normy ČSN EN 136, ale i požadavky normy ČSN EN 12941 pro třídu TH-3. Také další české kukly CA-2 a Senior dopadly v hodnocení poměrně dobře, přesto jejich průměrné hodnoty průniku byly již vyšší a překračovaly požadovanou hodnotu 0,05 %. Na těchto vyšších průměrných hodnotách se však vždy podílelo pouze několik měření (např. u kukly CA-2 při průtoku 140 i 180 l.min⁻¹ hodnoty průniku vždy u 4 zkušebních osob a u kukly Senior při obou průtocích u 3 zkušebních osob – viz tabulky 1 a 2, tučně zvýrazněno).

Naopak, naměřené hodnoty u zahraničních kukul OPTIHOOD a SR-562 nejenže nevyhověly požadavkům normy ČSN EN 136, ale dokonce je i vysoce překračovaly. Průnik se pohyboval ve většině případů v rozmezí od 1 do 3 %. Na těchto nepříznivých hodnotách se však podílel fakt, že kukla OPTIHOOD je prvotně určena pro třídu TH-2 (požadovaný průnik 0,2–2,0 %) s požadovaným průtokem od 130 do 160 l.min⁻¹, což kromě dvou případů (u zkušební osoby č. 8 a č. 10, tabulka 3) bylo splněno. Také u kukly SR-562, aby vyhověla účelu, pro který byla vyvinuta a schválena, naměřené hodnoty již nejsou tak negativní, jak by z výsledků na první pohled vyplývalo. Pro tuto kuklu je výrobcem požadován průtok 175–225 l.min⁻¹, měření však byla prováděna spíše při nižším průtoku 180 l.min⁻¹. Při tomto průtoku kukla kromě čtyř měření (zkušební osoby č. 4, č. 6, č. 12 a č. 13, tabulka 3) vyhověla požadavkům třídy TH-2.

Uvedené statistické hodnoty pak do určité míry charakterizují, zda kukly splnily požadavky příslušné normy (průměr a medián) a zároveň poukazují na vliv jednotlivých

zkušebních osob, průtoku vzduchu a použitých kulek na naměřené hodnoty. Z tohoto pohledu je patrné, že jak hodnoty směrodatné odchylky, tak i variačního koeficientu jsou velmi nízké opět u týchž kulek, které byly charakterizovány nízkým průnikem (např. CA-1). To poukazuje na velmi malé rozdíly při měření s různými zkušebními osobami. Vliv tvaru a parametrů obličejce nebyl v tomto případě až tak významný. U některých kulek (OPTIHOOD a zejména SR-562) poměrně vysoký průnik nesignalizoval extrémní zvýšení hodnot „s“ a „v_k“, naopak u těchto kulek byly zjištěny zejména poměrně nízké hodnoty „v_k“, a to při obou měřených průtocích. Tyto hodnoty „v_k“ byly dokonce nižší, než v případě kulek s velmi nízkým průměrným průnikem (např. CA-1).

Také v případě průtoků nelze učinit jednoznačné závěry, neboť u kulek CA-1, CA-2 a X-Plore 8000 při měření při vyšším průtoku bylo dosaženo nižších hodnot „s“ a „v_k“, u kulek Senior, FLOWHOOD, OPTIHOOD a SR-562 naopak vyšších hodnot „s“ a „v_k“ a u dvou zbývajících – CA-10 a Doktor, s rostoucím průtokem došlo ke zvýšení hodnot „s“, ale ke snížení hodnot „v_k“.

Tabulka 2

Hodnocení průniku do ochranných kulek Senior a Doktor se zkušebními osobami mužského pohlaví při průtoku 140 a 180 l.min⁻¹

ZO	Ochranná kulka			
	Senior		Doktor	
	Průtok vzduchu [l.min ⁻¹]			
	140	180	140	180
	Průnik SF ₆ [%]			
1	0,01500	0,07400	0,00700	0,01700
2	0,00900	0,00800	0,00200	0,00300
3	0,00500	0,00900	0,00000	0,00200
4	0,02100	0,02100	0,02200	0,03500
5	0,00200	0,00500	0,00200	0,01500
6	N	0,02700	N	0,03300
7	0,00400	0,01700	0,00100	0,00300
8	0,49000	2,91000	0,00200	0,00300
9	0,08400	0,19800	0,01300	0,04400
10	0,53000	0,23900	0,07000	0,14500
11	0,00400	N	0,00200	0,00900
12	0,02500	0,03400	0,00200	0,00200
13	0,02000	N	0,00400	0,02600
14	0,00400	0,08700	0,00200	0,00600
Ø _{průnik}	0,09331	0,30242	0,00992	0,02450
s	0,18635	0,82478	0,01907	0,03743
M _e	0,01500	0,03050	0,00200	0,01200
v _k [%]	1,99717	2,72728	1,92155	1,52777

Poznámka: N ... neměřeno

Tabulka 3
Hodnocení průniku do zahraničních kukel se zkušebními osobami mužského pohlaví při průtoku 140 a 180 l.min⁻¹

ZO	Ochranná kukla							
	FLOWHOOD		X-Plore 8000		OPTIHOOD		SR-562	
	Průtok vzduchu [l.min ⁻¹]							
	140	180	140	180	140	180	140	180
	Průnik SF ₆ [%]							
1	0,00900	0,00900	0,00200	0,02500	0,95800	0,83300	2,29800	1,77900
2	0,00100	0,00200	0,00400	0,00700	0,86600	1,00700	2,46500	N
3	0,00300	0,00800	0,00600	0,01200	0,80800	0,67500	2,09200	1,55100
4	0,03700	0,02400	0,06200	0,04700	1,48100	0,84500	3,10000	2,67500
5	0,01300	0,02200	0,00700	0,02300	0,88900	0,81600	2,16600	1,67400
6	0,02300	0,02400	0,02300	0,02800	1,42000	1,55800	2,65600	3,99200
7	0,01700	0,02100	0,00400	0,01400	1,19700	0,87800	2,60100	1,87400
8	0,01200	0,01900	0,03900	0,07800	3,22300	4,60500	2,52000	1,91000
9	0,02200	0,05400	0,00600	0,01400	1,18900	1,14000	2,06000	1,50100
10	0,11100	0,16300	N	N	2,17300	1,04800	N	N
11	0,00200	0,00400	0,00400	0,00500	1,25700	0,83400	2,12800	1,40800
12	0,03900	0,04200	0,03400	0,02800	1,36100	1,12600	2,99300	2,45100
13	0,00600	0,01400	0,07500	0,02600	0,82500	0,65900	2,87700	2,30000
14	0,01100	0,01800	0,00500	0,01000	1,13400	1,09100	2,50300	1,89400
Ø _{průnik}	0,02186	0,03029	0,02085	0,02439	1,34150	1,22250	2,49685	2,08408
s	0,02835	0,04087	0,02469	0,02004	0,67438	1,01451	0,43579	0,98631
M _e	0,01250	0,02000	0,00600	0,02300	1,19300	0,94250	2,50300	1,88400
v _k [%]	1,29675	1,34913	1,18400	0,82187	0,50270	0,82987	0,17454	0,47326

V tabulkách 4 a 6 jsou zobrazeny výsledky ochranných kukel při průtoku 140 l.min⁻¹, včetně statistických parametrů jednotlivých osob a v tabulkách 5 a 7 obdobné výsledky při průtoku 180 l.min⁻¹. Získané výsledky demonstrují, jak uvedený soubor ochranných kukel (českých i zahraničních) vyhovuje dané zkušební osobě.

Z výsledků (tabulka 4) je patrné, že kukly z pohledu průměrného průniku byly nevyhovující u tří zkušebních osob, a to u osoby č. 3, č. 8 a č. 10. U osoby č. 3 se na tomto nepříznivém výsledku, přestože měla značné zkušenosti s používáním ochranných prostředků, zejména masek, podílela pouze jediná kukla, a to CA-2. Obdobné výsledky byly dosaženy i u osoby č. 8. Opět značné zkušenosti s používáním ochranných prostředků, přesto průměrný průnik souboru českých masek nevyhověl podmínce průniku pod 0,05 %. Zde se však na tomto nepříznivém výsledku podílely 3 kukly, a to CA-1, CA-2 a Senior. Je zřejmé, že u těchto dvou osob tyto nepříznivé výsledky ovlivnil především tvar jejich obličejů, neboť se zde

nepředpokládalo, že by si tyto osoby neuměly správně nasadit a utěsnit kuklu. Naopak u osoby č. 10, jež měla s používáním kukel velmi malé zkušenosti, se toto nepříznivě projevilo na výsledném průniku, a to u více kukel. Je také pravděpodobné, že i tvar obličeje zde hrál svou nezanedbatelnou roli.

Velmi nízké průměrné hodnoty průniku byly nalezeny u osob č. 1, č. 2, č. 4, č. 11 a č. 13, čili u osob s určitou zkušeností v používání ochranných masek, které ale ochranné prostředky nepoužívají profesionálně.

Nejvyšší směrodatná odchylka „s“, a tudíž i větší rozdíly v dosažených výsledcích s jednotlivými kuklami, byla nalezena u osoby č. 3 (tabulka 4). To je zapříčiněno zejména velmi vysokou hodnotou průniku u již zmiňované kukly CA-2, přičemž tento jediný negativní výsledek nepříznivě ovlivnil celý soubor kukel. Poměrně vysoké směrodatné odchylky byly nalezeny také u osob č. 8 a č. 10, zde se však na nepříznivém výsledku podílelo více měření.

Také variační koeficient „v_k“ zde hraje určitou roli, neboť též u osoby č. 3 byla nalezena jeho nejvyšší hodnota. V dalších případech však již výsledky tolik nekorespondovaly s předchozími. Vyšší variační koeficient byl nalezen u osob č. 5 (přibližně 1,7), č. 7, č. 8 a č. 14 (cca 1,4) a č. 10 (asi 1,2). Naopak velmi nízká hodnota tohoto koeficientu byla u osob č. 2, č. 6, č. 11 a č. 12 (cca 0,6–0,7) a zejména u osoby č. 4 (0,26). Této zkušební osobě velmi dobře vyhověly všechny měřené české kukly, a to s minimálním rozdílem v hodnotách průniku.

Tabulka 4

*Hodnocení průniku do českých kukel se zkušebními osobami mužského pohlaví při průtoku
140 l.min⁻¹ – statistické parametry jednotlivých osob*

ZO	Ochranná kukla								
	CA-1	CA-2	CA-10	Senior	Doktor				
	Průtok vzduchu 140 [l.min ⁻¹]					Ø _{průnik kukel}	S	M _e	v _k [%]
	Průnik SF ₆ [%]								
1	0,00600	0,00200	0,00400	0,01500	0,00700	0,00680	0,00497	0,00600	0,73088
2	0,00300	0,00500	0,00400	0,00900	0,00200	0,00460	0,00270	0,00400	0,58696
3	0,01400	0,64300	0,01400	0,00500	0,00000	0,13520	0,28393	0,01400	2,10007
4	0,03700	0,03300	0,02400	0,02100	0,02200	0,02740	0,00716	0,02400	0,26131
5	0,00800	0,00600	0,07700	0,00200	0,00200	0,01900	0,03253	0,00600	1,71211
6	0,01900	0,05500	0,01900	N	N	0,03100	0,02078	0,01900	0,67032
7	0,00200	0,02900	0,00500	0,00400	0,00100	0,00820	0,01173	0,00400	1,43049
8	0,12200	0,05500	0,02700	0,49000	0,00200	0,13920	0,20116	0,05500	1,44511
9	0,01100	0,04900	0,03200	0,08400	0,01300	0,03780	0,03011	0,03200	0,79656
10	0,06800	0,15600	0,03700	0,53000	0,07000	0,17220	0,20486	0,07000	1,18966
11	0,00500	0,00600	0,01200	0,00400	0,00200	0,00580	0,00377	0,00500	0,65000
12	0,03500	0,04600	0,02300	0,02500	0,00200	0,02620	0,01633	0,02500	0,62328
13	0,00700	0,00700	0,00200	0,02000	0,00400	0,00800	0,00704	0,00400	0,88000
14	0,03700	0,00500	0,00500	0,00400	0,00200	0,01060	0,01481	0,00500	1,39717

Při vyšším průtoku byla situace obdobná (tabulka 5), průměrný průnik přesahující 0,05 % byl nalezen u 4 zkušebních osob, a to u osoby č. 3, č. 8, č. 9 a č. 10, a byl ve všech případech, kromě osob č. 3, č. 4, č. 10 a č. 12, dokonce vyšší než při průtoku 140 l.min⁻¹. Toto zjištění bylo poměrně neočekávané, neboť se předpokládalo, že při vyšším průtoku bude v kukle vyšší přetlak a tím i menší průnik. Vyšší nárůst průniku při vyšším průtoku vzduchu pravděpodobně souvisí nejen s nepatrně odlišnými podmínkami při měření při různých průtocích vzduchu jednotlivých zkušebních osob, jakými jsou teplota a tlak v okolí zkušební komory, ale pravděpodobně též i s konstrukčním uspořádáním kukly, zejména s její těsnicí linií, s charakterem proudění vzduchu uvnitř kukly, popř. s celou řadou dalších faktorů, které jsou obtížně definovatelné.

Také zde, u osoby č. 3, se na tomto nepříznivém výsledku podílela pouze jediná hodnocená kukla a totéž bylo i v případě osoby č. 8. U osob č. 9 a č. 10 (3, resp. 4 zkušební kukly nesplnily požadavky na průnik) se ukázalo, že ani zvýšený průtok se pozitivně neprojevil na hodnotách průměrného průniku.

Nejvyšší směrodatná odchylka „s“ a variační koeficient „v_k“ byly nalezeny u osoby č. 8. Ukázalo se, že vliv jediného nepříznivého výsledku negativně ovlivňuje celkový výsledek, neboť výsledky průměrného průniku u této osoby u ostatních kukel jsou na velmi dobré úrovni (pohybují se v rozmezí 0,003–0,049%). Tento poznatek se projevil nejen při tomto vyšším průtoku, ale jak již bylo uvedeno dříve, i při nižším průtoku – viz tabulka 4, zkušební osoba č. 3. Naopak velmi nízká směrodatná odchylka „s“ byla u osoby č. 13 (0,009) a č. 4 (0,0062) (zde i při nižším průtoku 140 l.min⁻¹) a variační koeficient „v_k“ u týchž zkušebních osob a u osob č. 6 a č. 12, přičemž nejnižší byl opět u osoby č. 4 (0,2296). Jak již bylo konstatováno, této zkušební osobě vyhověly na průnik všechny české kukly při obou měřených průtocích, přičemž bylo dosaženo velmi nízkých hodnot.

Tabulka 5

Hodnocení průniku do českých kukel se zkušebními osobami mužského pohlaví při průtoku 180 l.min⁻¹ – statistické parametry jednotlivých osob

ZO	Ochranná kukla								
	CA-1	CA-2	CA-10	Senior	Doktor				
	Průtok vzduchu 180 [l.min ⁻¹]								
	Průnik SF ₆ [%]					Øprůnik kukel	s	M _e	v _k [%]
1	0,0120	0,0050	0,0080	0,0740	0,0170	0,02320	0,02875	0,0120	1,2392
2	0,0500	0,0040	0,0040	0,0080	0,0030	0,01380	0,02033	0,0040	1,4731
3	0,0180	0,4100	0,0130	0,0090	0,0020	0,09040	0,17876	0,0130	1,9774
4	0,0220	0,0320	0,0250	0,0210	0,0350	0,02700	0,00620	0,0250	0,2296
5	0,0110	0,0140	0,0500	0,0050	0,0150	0,01900	0,01776	0,0140	0,9347
6	0,0260	0,0630	0,0220	0,0270	0,0330	0,03420	0,01657	0,0270	0,4845
7	0,0110	0,0620	0,0060	0,0170	0,0030	0,01980	0,02418	0,0110	1,2212
8	0,0300	0,0490	0,0180	2,9100	0,0030	0,60200	1,29032	0,0300	2,1433
9	0,0290	0,1400	0,1020	0,1980	0,0440	0,10260	0,06955	0,1020	0,6778
10	0,0130	0,0760	0,0590	0,2390	0,1450	0,10640	0,08799	0,0760	0,8269
11	0,0060	0,0100	0,0310	N	0,0090	0,01400	0,01146	0,0095	0,8185
12	0,0290	0,0370	0,0260	0,0340	0,0020	0,02560	0,01387	0,0290	0,5418
13	0,0080	0,0180	0,0070	N	0,0260	0,01475	0,00900	0,0130	0,6101
14	0,0710	0,0080	0,0180	0,0870	0,0060	0,03800	0,03812	0,0180	1,0031

V následujících tabulkách 6 a 7 jsou uvedeny výsledky průniku souboru zahraničních kulek. Jestliže v případě českých kulek bylo u jednotlivých osob dosaženo celkem přijatelného průměrného průniku, v případě zahraničních kulek byl při obou průtocích u všech zkušebních osob překročen požadovaný průměrný průnik 0,05 %. Na těchto výsledcích se však nepříznivě podílelo hodnocení zejména dvou kulek – kukly OPTIHOOD a kukly SR-562.

Poměrně vysoký průměrný průnik byl při 140 l.min⁻¹ nalezen u 5 osob, a to u osob č. 4, č. 6, č. 8, č. 10 a č. 12 a při 180 l.min⁻¹ u 2 osob – č. 6 a č. 8, naopak nižší průniky byly u osoby č. 3 a č. 5 při 140 l.min⁻¹ a zejména u osoby č. 2 při 180 l.min⁻¹, která jako jediná splnila požadovaný předpoklad průměrného průniku nižšího než 0,05 %, i když tento výsledek byl ovlivněn nepříznivým hodnocením kukly OPTIHOOD.

Směrodatná odchylka při obou průtocích byla poněkud vyšší (při průtoku 140 l.min⁻¹ se pohybovala od cca 0,99 do 1,67; při průtoku 180 l.min⁻¹ od 0,58 do 1,87), obdobně i variační koeficient dosahoval vyšších hodnot (při průtoku 140 l.min⁻¹ se pohyboval od 1,15 do 1,42; při průtoku 180 l.min⁻¹ od 0,97 do 1,71). Nejnižší nalezené hodnoty „s“ byly u osoby č. 3 při obou průtocích a „v_k“ u osoby č. 8 při průtoku 140 l.min⁻¹ a u osoby č. 9 při průtoku 180 l.min⁻¹.

Tabulka 6

Hodnocení průniku do zahraničních kulek se zkušebními osobami mužského pohlaví při průtoku 140 l.min⁻¹ – statistické parametry jednotlivých osob

ZO	Ochranná kukla							
	FLOWHOOD	X-Plore 8000	OPTIHOOD	SR-562				
	Průtok vzduchu 140 [l.min ⁻¹]							
	Průnik SF ₆ [%]				Øprůnik kulek	s	Me	v _k [%]
1	0,00900	0,00200	0,95800	2,29800	0,81675	1,08479	0,48350	1,32818
2	0,00100	0,00400	0,86600	2,46500	0,83400	1,16103	0,43500	1,39212
3	0,00300	0,00600	0,80800	2,09200	0,72725	0,98553	0,40700	1,35515
4	0,03700	0,06200	1,48100	3,10000	1,17000	1,45293	0,77150	1,24182
5	0,01300	0,00700	0,88900	2,16600	0,76875	1,01951	0,45100	1,32619
6	0,02300	0,02300	1,42000	2,65600	1,03050	1,26808	0,72150	1,23055
7	0,01700	0,00400	1,19700	2,60100	0,95475	1,23182	0,60700	1,29020
8	0,01200	0,03900	3,22300	2,52000	1,44850	1,66805	1,27950	1,15157
9	0,02200	0,00600	1,18900	2,06000	0,81925	0,99552	0,60550	1,21516
10	0,11100	N	2,17300	N	1,14200	1,45805	1,14200	1,27675
11	0,00200	0,00400	1,25700	2,12800	0,84775	1,03822	0,63050	1,22468
12	0,03900	0,03400	1,36100	2,99300	1,10675	1,40398	0,70000	1,26856
13	0,00600	0,07500	0,82500	2,87700	0,94575	1,33986	0,45000	1,41672
14	0,01100	0,00500	1,13400	2,50300	0,91325	1,18533	0,57250	1,29792

Tabulka 7

Hodnocení průniku do zahraničních kukel se zkušebními osobami mužského pohlaví při průtoku
180 l.min⁻¹ – statistické parametry jednotlivých osob

ZO	Ochranná kukla				Ø _{průnik kukel}	s	M _e	v _k [%]
	FLOWHOOD	X-Plore 8000	OPTIHOOD	SR-562				
	Průtok vzduchu 180 [l.min ⁻¹]							
	Průnik SF ₆ [%]							
1	0,00900	0,02500	0,83300	1,77900	0,66150	0,72614	0,42900	1,09772
2	0,00200	0,00700	1,00700	N	0,03387	0,57880	0,00700	1,70889
3	0,00800	0,01200	0,67500	1,55100	0,56150	0,63252	0,34350	1,12648
4	0,02400	0,04700	0,84500	2,67500	0,89775	1,07803	0,44600	1,20081
5	0,02200	0,02300	0,81600	1,67400	0,63375	0,68238	0,41950	1,07673
6	0,02400	0,02800	1,55800	3,99200	1,40050	1,62166	0,79300	1,15792
7	0,02100	0,01400	0,87800	1,87400	0,69675	0,76511	0,44950	1,09811
8	0,01900	0,07800	4,60500	1,91000	1,65300	1,86621	0,99400	1,12898
9	0,05400	0,01400	1,14000	1,50100	0,67725	0,65594	0,59700	0,96853
10	0,16300	N	1,04800	N	0,60550	0,62579	0,60550	1,03351
11	0,00400	0,00500	0,83400	1,40800	0,56275	0,59399	0,41950	1,05551
12	0,04200	0,02800	1,12600	2,45100	0,91175	0,99407	0,58400	1,09029
13	0,01400	0,02600	0,65900	2,30000	0,74975	0,93229	0,34250	1,24347
14	0,01800	0,01000	1,09100	1,89400	0,75325	0,79190	0,55450	1,05131

ZÁVĚR

Provedená měření 9 ochranných kukel na průnik se zapojenou filtroventilační jednotkou jednoznačně prokázala, že to, jak kukla vypadá, jaký je tvar její těsnicí linie, jakým způsobem je prováděno zatěsnění okolo krku a to, zda-li kukla končí v úrovni krku nebo chrání i ramena, má značný vliv na průnik nebezpečných látek do vnitřního prostoru kukly – čili na velikost poskytované ochrany.

Porovnáním souboru českých a zahraničních kukel se potvrdila skutečnost, že použití kukel za jiných podmínek, než pro které byly schváleny, vede ke zhoršení průniku, a tím i ke snížení vlastní ochrany. To se projevilo nejen při posuzování dle ČSN EN 12941, ale i dle ČSN EN 136. Odchytky od těchto podmínek vedou k nevyhovujícím výsledkům nebo ke snížení ochranné třídy. Takto nevyhověly zejména zahraniční kukly OPTIHOOD a SR-562.

Srovnáváním jednotlivých kukel pak bylo zjištěno, že zejména kukly CA-1, CA-10, Doktor, FLOWHOOD a X-Plore 8000 dosáhly velmi dobrých hodnot průniku, jež se pohybovaly hluboko pod úrovní požadovanou pro hodnocení ochranných masek, tj. pod 0,05 %. Nejlépe takto hodnocenou kuklou byla kukla DOKTOR primárně vyvinutá pro potřeby ochrany zdravotnického personálu.

Protože měření průniku byla prováděna při 2 průtocích, předpokládalo se, že při vyšším průtoku bude docházet k nižšímu průniku a tím i ke zvýšení těsnosti a ochranných vlastností kukly. Toto však nebylo prokázáno, naopak v mnoha případech docházelo se vzrůstajícím průtokem ke zvyšování průměrného průniku. Vyšší nárůst průniku při vyšším průtoku vzduchu pravděpodobně, jak se domníváme, souvisí nejen s nepatrně odlišnými podmínkami při měření při různých průtocích jednotlivých zkušebních osob, ale pravděpodobně také s konstrukčním uspořádáním kukly, zejména s její těsnicí linií a dále se způsobem proudění vzduchu uvnitř kukly.

Toto zvýšení se zejména projevovalo u kukel, které jinak vycházely velmi dobře. Jednalo se zejména o zahraniční kukly FLOWHOOD a X-Plore 8000 a české kukly CA-10 a Doktor. Naopak k poklesu docházelo zejména v těch případech, kdy kukly dle ČSN EN 136 nevyhověly. Z českých kukel to byla kukla CA-2 a ze zahraničních kukla OPTIHOOD a SR-562.

Lze však konstatovat, že v případě, kdy kukla nevyhověla při jednom nebo dvou měření, nebyl průměrný průnik ovlivněn do té míry, aby kukla dle EN 136 nevyhověla. Výjimkou byla zkušební osoba č. 3 v případě českých kukel a zkušební osoba č. 10 v případě zahraničních kukel.

Závěrem lze říci, že kukla, která odpovídá svému určení s požadovaným průtokem vzduchu, poskytuje ochranu odpovídající třídě dle EN 12941, pro kterou byla kukla odzkoušena a v řadě případů také splňuje podmínku pro průnik do ochranných masek dle EN 136.

Literatura

- [1] SÝKORA, Vlastimil a Čestmír HYLÁK. Ochranné masky – chrání nebo nechrání, popř. proč? In: *Konference DEKONTAM 2013: Sborník abstraktů*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013, s. 161–166. ISBN 978-80-7385-122-4.
- [2] 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. 13–22. ISBN 978-80-260-7609-4.
- [3] SÝKORA, Vlastimil a Čestmír HYLÁK. Testování českých ochranných masek – vztah mezi průnikem a obsahem oxidu uhličitého. In: *Konference OCHRANA OBYVATELSTVA - ZDRAVOTNÍ ZÁCHRANÁŘSTVÍ 2020: Sborník abstraktů*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2020, s. 47–49. ISBN 978-80-7385-227-6.
- [4] SÝKORA, Vlastimil a Čestmír HYLÁK. Testování zahraničních ochranných masek – vztah mezi průnikem a obsahem oxidu uhličitého. *The Science for Population Protection*. 2020, Vol. 12, č. 1, s. 63-79. ISSN 1803-568X.
- [5] SÝKORA, Vlastimil a Čestmír HYLÁK. SHIGEMATSU – nová ochranná maska na českém trhu. Vlastnosti, zkoušení. *Krizový manažment*. 2020, ročník 19, č. 2, s. 27–36. ISSN 1336-0019.
- [6] Prospekt firmy MALINA-SAFETY.
- [7] Prospekt firmy 3M.
- [8] Prospekt firmy Dräger.
- [9] Prospekt firmy MSA-AUER.
- [10] Prospekt firmy Sundström.
- [11] HYLÁK, Čestmír, Vlastimil SÝKORA, Dagmar URBANOVÁ a Hana KOVALIČOVÁ. Faktory ovlivňující těsnost ochranných masek a možnosti jejich dotěsnění. In: *Sborník příspěvků 21. ročníku Mezinárodní konference o separační chemii a analýze toxických*

- látek*. Lázně Bohdaneč: MV – GŘ HZS ČR Institut ochrany obyvatelstva, 2015, s. 56–67. ISBN 978-80-86466-79-8.
- [12] SÝKORA, Vlastimil a Čestmír HYLÁK. Vliv vousů, použití FVJ či dýchacího přístroje na průnik nebezpečných toxických látek do vnitřního prostoru ochranné masky. In: *Ochrana obyvatelstva 2014: sborník přednášek XIII. ročníku mezinárodní konference*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2014, s. 224–227. ISBN 978-80-7385-142-2.
- [13] HYLÁK, Čestmír, Vlastimil SÝKORA, Dagmar URBANOVÁ a Hana KOVALIČOVÁ. *Metodika měření těsnosti ochranných kukel*. Lázně Bohdaneč: MV – GŘ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, 2018, 14 s.
- [14] ČSN EN 12 941. *Ochranné prostředky dýchacích orgánů – Filtrační prostředky s pomocnou ventilací připojené k přilbě nebo ke kukle – Požadavky, zkoušení a značení*. Praha: Český normalizační institut, 1999, 52 s.
- [15] ČSN EN 136. *Ochranné prostředky dýchacích orgánů – Obličejové masky – Požadavky, zkoušení a značení*. Praha: Český normalizační institut, 1998, 44 s.
- [16] Výpočet směrodatné odchylky. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 5. 1. 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sm%C4%9Brodan%C3%A1_odchylka
- [17] Výpočet variačního koeficientu. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 5. 1. 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Varia%C4%8Dn%C3%AD_koeficient
- [18] Výpočet mediánu. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 5. 1. 2022]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Medi%C3%A1n>