

Měření množství škodlivých těkavých organických látek vdechovaných přes masky

sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651323004190

Pod licencí Creative Commons [licence](#) ⁷
otevřený přístup

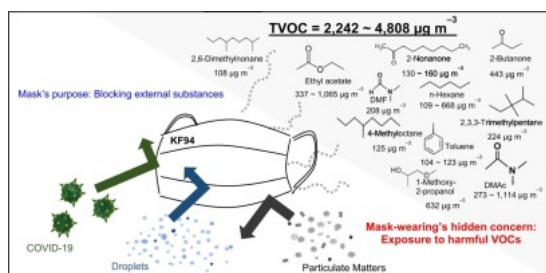
Zvýraznění

- •
VOC jsou emitovány z masek a nositelé masek jsou jim vystaveni vdechováním.
- •
Testovaná maska KF94 vykazovala vysokou koncentraci TVOC $3730 \pm 1331 \mu\text{g m}^{-3}$.
- •
TVOC v maskách KF94 se nerušeně snížil o > 67 % po dobu 30 minut mimo obal.
- •
Vysoké koncentrace DMAc byly detekovány ve všech vzorcích masky KF94 ($601 \pm 450 \mu\text{g m}^{-3}$).

Abstraktní

Nárůst koncentrace částic v životním prostředí a šíření viru COVID-19 dramaticky prodloužily náš čas strávený nošením roušek. Pokud se z těchto masek uvolňují škodlivé chemikálie, může to mít škodlivé účinky na lidské zdraví. V této studii byla kvalitativně a kvantitativně hodnocena koncentrace těkavých organických sloučenin (VOC) emitovaných z některých běžně používaných masek za různých podmínek (včetně různých typů materiálu masky, doby mezi otevřením produktu a nošením a teploty masky). V maskách KF94 1-methoxy-2-propanol ($221 \pm 356 \mu\text{g m}^{-3}$), *N,N*-dimethylacetamid ($601 \pm 450 \mu\text{g m}^{-3}$), *n*-hexan ($268 \pm 349 \mu\text{g m}^{-3}$) a 2-butanon ($160 \pm 244 \mu\text{g m}^{-3}$) byly detekovány v koncentracích 22,9–147krát vyšších než v maskách vyrobených z jiných materiálů, jako je bavlna a další funkční tkaniny. Kromě toho u masek KF94 celkové uvolněné VOC (TVOC) dosahovaly $3730 \pm 1331 \mu\text{g m}^{-3}$, což je asi 14krát více než u masek z bavlny ($267,5 \pm 51,6 \mu\text{g m}^{-3}$). V některých maskách KF94 dosáhla koncentrace TVOC více než $4\,000 \mu\text{g m}^{-3}$, což představuje riziko pro lidské zdraví (na základě pokynů pro kvalitu vnitřního ovzduší stanovených Německým úřadem pro životní prostředí). Pozoruhodné je, že 30 minut poté, co byly masky KF94 vyjmuty z obalu, se koncentrace TVOC snížily asi o 80 % z původních úrovní na $724 \pm 5,86 \mu\text{g m}^{-3}$; dále 6 hodin po odstranění byly zjištěny koncentrace TVOC nižší než $200 \mu\text{g m}^{-3}$. Když byla teplota masek KF94 zvýšena na 40°C , koncentrace TVOC vzrostly o 119–299 %. Vzhledem k tomu, že typy a koncentrace VOC, které budou nositelé masky vdechovat, se liší v závislosti na podmínkách použití masky, je nutné dodržovat podmínky bezpečného nošení masky.

Grafický Abstrakt



- < [Předchozí článek v čísle](#)
- [Další článek v čísle](#) >

Klíčová slova

Maska

KF94

Celková těkavá organická sloučenina

1 . Úvod

Masky jsou klasifikovány jako zdravotní, chirurgické, kapénkové, prachotěsné a mrazuvzdorné v závislosti na jejich účelu ([Karuppasamy a Obuchowski, 2021](#) , [Palmieri et al., 2021](#) , [Rengasamy et al., 2017](#)). Většina masek se používá k zabránění lidem ve vdechování látek znečišťujících ovzduší , i když některé speciální masky, jako jsou teplé masky, existují z jiných důvodů ([McDonald a kol., 2020](#) , [Pacitto a kol., 2019](#) , [Zorko a kol., 2020](#)). Masky pro blokování škodlivin lze dále rozdělit na jednorázové a víceúčelové ([Karuppasamy a Obuchowski, 2021](#) , [O'Kelly et al., 2021](#) , [Rengasamy et al., 2009](#)). Jednorázové masky jsou primárně složeny z polypropylenu , polyethylenu a filtrů foukaných z taveniny a liší se podle účinnosti blokování a cílové velikosti částic (tj. KF94, KF80 a KFAD) (Jung et al., 2014, [Ryu et al., 2022](#)). Tvorba náboje, který ovlivňuje blokování částic a virů, se liší v závislosti na materiálu masky ([Ghatak et al., 2021](#) , [Zhang et al., 2022](#)). Víceúčelové masky jsou vyrobeny z různých materiálů (tj. syntetická pryskyřice , polyuretanová pěna atd.) v závislosti na jejich účelu a v poslední době se zvyšuje používání multifunkčních obličejových masek s dalšími funkcemi, jako je UV ochrana ([Blevens et al., 2021](#) [Hu a kol., 2021](#) , [Pollard a kol., 2021](#)).

Jak se zlepšuje kvalita života, zvyšuje se poptávka po maskách, které by chránily lidi před látkami znečišťujícími ovzduší, jako je jemný prach ([Lee et al., 2020](#) , [Zhang a Mu, 2018](#)). Vědci uvedli, že vdechování jemného prachu způsobuje různé škody, včetně onemocnění dýchacích cest. Jako odpověď na ultrajemný prach, který může způsobit cerebrovaskulární onemocnění prostřednictvím mikrovaskulárního systému, bylo zdůrazněno nošení masky ([Ritz et al., 2019](#) , [Wilker et al., 2015](#)). Kromě toho pandemie COVID-19, která začala na konci roku 2019, zavedla celosvětovou normu povinného nošení roušek ([Betsch a kol., 2020](#) , [Fischer a kol., 2021](#) , [Lyu a Wehby, 2020](#)). Doporučují se masky KF94, KF80 a KFAD, u kterých bylo ověřeno blokování kapek ([Esmeria et al., 2021](#) , [Kang et al., 2020](#) , [Noh et al., 2020](#) , [Safarpour et al., 2022](#)).

Protože se nošení roušek stalo povinným, aby se zabránilo šíření COVID-19, doba strávená nošením roušek se výrazně prodloužila. Protože se masky nosí blízko obličeje (ústa a nos), materiály masek jsou přímo nebo nepřímo vystaveny lidskému tělu prostřednictvím vdechování, úst a kůže ([Bhatia a kol., 2020](#) , [Jin a kol., 2021](#) , [Raval a Sangani, 2021](#)). Pokud se z těchto masek uvolňují nebezpečné sloučeniny, lidské tělo je ohroženo ([Aerts et al., 2020](#) , [Fernández-Arribas et al., 2021](#) , [Xie et al., 2022](#)). Například dimethylformamid (DMF) a dimethylacetamid (DMAc), což jsou organická rozpouštědla používaná při výrobě masek a byla zjištěna v maskách KF v Jižní Koreji ([Liu a kol., 2022](#) , [Mariello a kol., 2021](#)), způsobují reprodukční toxicitu, jaterní toxicitu a rakovinu v lidském těle ([Lamkarkach a kol., 2022](#) , [Maxfield a kol., 1975](#) , [Wang a Chen, 2020](#)). V souladu s tím Jižní Korea navrhla zákon, který reguluje množství DMF a DMAc, které se může uvolňovat z masek KF, a stanovil limit pod 5 mg/kg. Z masek samozřejmě mohou být emitovány různé nebezpečné chemikálie jiné než DMF a DMAc a neexistuje žádná legislativa pro jejich regulaci. Bezpečné používání masek je nezbytné pro monitorování a hodnocení škodlivých chemikálií vyzařovaných z masek a pro provádění výzkumu k potvrzení jejich škodlivých úrovní.

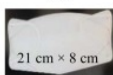
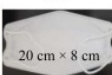
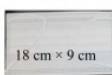
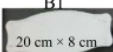
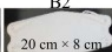
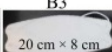
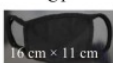
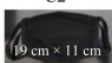
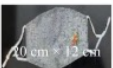
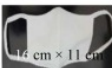


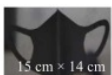

V této studii jsme hodnotili typy a koncentrace těkavých nebezpečných chemikálií (těkavé organické sloučeniny, VOC) a způsob jejich uvolňování v závislosti na podmínkách použití masky. Nakonec navrhuje několik pokynů pro bezpečné používání masky na základě zde vyvinutých experimentálních důkazů.

2 . Materiály a metody

2.1 . Výběr vzorků cílové masky

Jako cílové vzorky byly vybrány různé masky (n = 14). Cílové masky byly vybrány na základě možného opětovného použití (jednorázové a víceúčelové), materiálu a účinnosti blokování kapek. Mezi jednorázovými maskami byly připraveny tři různé značky masek blokujících kapky (KFAD: kódy vzorků A1, A2 a A3) a tři různé značky chirurgických masek (KF94: kódy vzorků B1, B2 a B3). Vzorky A a B, což byly jednorázové masky, byly vyrobeny z polypropylenu a polyuretanový nylon. Víceúčelové masky byly připraveny ve čtyřech různých typech bavlněných masek (hlavní materiály (kódy vzorků): 100% bavlna (C1 a C2), bavlna + ramie (D1) a bavlna + polyuretan (D2)) a ve čtyřech typech multifunkčních masek (kódy vzorků E1, E2, E3 a E4) vyrobených z materiálů s funkcí UV blokování. Vzorky E neposkytly informace o svých hlavních materiálech. Všechny vzorky masek byly zakoupeny z online trhu. Podrobné informace o cílových maskách jsou uvedeny v tabulce 1 .

Tabulka 1 . Základní informace spojené s testovanými maskami.

Order	Sample code	Mask type	Main material	Photos			
1	A1	Droplet blocking mask (KFAD)	Polypropylene, Polyurethane nylon	A1	A2	A3	
2	A2						
3	A3			21 cm × 8 cm	20 cm × 8 cm	18 cm × 9 cm	
4	B1	Surgical mask (KF94)	Polypropylene, Polyurethane nylon	B1	B2	B3	
5	B2						
6	B3			20 cm × 8 cm	20 cm × 8 cm	20 cm × 8 cm	
7	C1	Cotton mask (100% cotton)	Cotton	C1	C2		
8	C2						
9	D1	Cotton mask (Cotton + others)	Cotton and Ramie	D1	D2		
10	D2		95% cotton, 5% polyurethane				
11	E1	Functional mask (Functional fabric + UV protection)	Polyester, Graphene, and Somatid	E1	E2	E3	E4
12	E2		Aerosilver fabric				
13	E3		Cooling fabric	12 cm × 13 cm	16 cm × 13 cm	15 cm × 14 cm	18 cm × 13 cm
14	E4		Copper cotton fabric				

2.2 . Experimentální schémata (exp. 1, 2 a 3)

VOC byly generovány ze vzorků cílové masky za různých podmínek a analyzovány. Experimenty byly klasifikovány podle podmínek tvorby VOC z masek (exp. 1, 2 a 3) (tabulka 2). VOC byly shromážděny a analyzovány (1) systémem sorbentní trubice/termální desorpce-plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie (ST/TD-GC-MS) a (2) 2,4-dinitrofenylhydrazinovou patronou-vysokoúčinná kapalinová chromatografie-UV vis (DNPH cartridge-HPLC-UV) systémem.

Tabulka 2 . Experimentální schémata pro hodnocení emisí VOC z masky.

Objednat	Proměnné	Experimentální kódy		
		Exp 1	Exp 2	Exp 3
1	Klíčová proměnná	Typ masky	Doba předčištění	Emisní teplota
2	Cílový vzorek ^a	Všechny masky	Masky KF94 (ukázkový kód: B)	Masky KF94 (ukázkový kód: B)
3	Průtok před proplachováním (L min ⁻¹)	-	0.2	-
4	Doba předčištění (min)	-	30, 60, 120 a 360	-
5	Teplota (° C)	25	25	40
6	Analytická metoda ^b	ST/TD-GC-MS systém a DNPH cartridge-HPLC-UV systém		

A

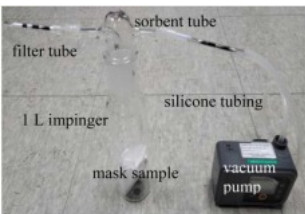
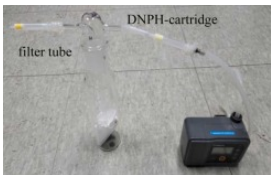


Viz [tabulka 1](#).

b

ST/TD-GC-MS systém: sorbentová trubice/termální desorpce-plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie a DNPH patrona-HPLC-UV systém: 2,4-dinitrofenylhydrazinová patrona-vysokoučinná kapalinová chromatografie-UV vis.

Stručně řečeno, VOC emitované z každé masky byly podrobeny kvalitativní a kvantitativní analýze prostřednictvím systému ST/TD-GC-MS. VOC byly adsorbovány a shromažďovány pomocí ST a po tepelné desorpci byly indukovány systémem TD, poté separovány a analyzovány pomocí GC-MS ([Kim a Lee, 2022](#)). Aldehydy (formaldehyd (FA), acetaldehyd (AA) a propionaldehyd (PA)), které bylo obtížné kvantifikovat systémem ST/TD-GC-MS, byly kvantitativně analyzovány pomocí DNPH cartridge-HPLC-UV systému ([Dutta et al., 2018](#) , [Kim a Kim, 2016](#)). Eluce tří aldehydů z DNPH patrony byla vyvolána injekcí 5 ml acetonitrilu do DNPH patrony, kde se shromáždil aldehyd, a eluované aldehydy byly naneseny do systému HPLC-UV, následovala separace a kvantitativní analýza ([Kim et al., 2020](#)). Podrobné informace týkající se našeho přístrojového systému jsou také uvedeny v [tabulce 3](#) .

Tabulka 3 . Systém používaný ke generování a sběru VOC ze vzorků masky.

Objednat	Proměnné	Analytické metody	
		ST/TD-GC-MS	DNPH patrona-HPLC-UV
1	Vzorkovací přístup		
			
2	Cílové VOC	VOC detekované GC-MS ^a (n = 72)	Formaldehyd, acetaldehyd a propionaldehyd
3	Vzorník	Tři vícevrstvé adsorbenty (Carbopack C, B a X; každý 50 mg) balené v křemenné trubici	2,4-dinitrofenylhydrazinová patrona
4	Vzorkovací průtok (L min ⁻¹)	0.2	2
5	Doba vzorkování (min)	5	5
6	Předběžná úprava	Tepelná desorpce	Extrakce rozpouštědlem (acetonitril)
7	Nástroj	GC-MS	HPLC-UV
8	Kvantitativní metoda	^b Externí kalibrační metoda využívající standardní roztoky a metoda efektivního uhlíkového čísla (ECN) využívající statistiku	Metoda externí kalibrace pomocí standardních roztoků

A

VOC s koncentrací pod 0,1 µg m⁻³ nebo s podobností knihovny pod 80 % hmotnostní spektrometrií.

b

Přístup ke statistickému odhadu pro kvantitativní koncentrace VOC založený na lineárních korelacích mezi přímo měřenými reakcemi detektoru a počtem uhlíků různých funkčních skupin ([Kim et al., 2014](#) , [Szulejko et al., 2013](#)).

2.2.1 . Posouzení VOC emitovaných z masek v závislosti na typu masky (Exp 1)

V Exp 1 byly porovnány typy a koncentrace VOC generovaných ze vzorků masek (každá maska měla jiný kód vzorku: n = 14). Vzorky masky byly vyjmuty z obalu produktu a vstříknuty do impingeru o objemu 1 l. Vstup impingeru byl připojen k filtrační trubici naplněné Carbopack X (100 mg, Supelco, USA). Výstup impingeru byl připojen ke vstupu ST naplněného Carbopackem C, B a X (každý 50 mg, Supelco, USA). Výstup ST byl připojen k vakuové pumpě propojené s regulátorem hmotnostního průtoku (Sibata ΣMP-30, Japonsko) pomocí silikonové hadičky. VOC generované ze vzorků masky v impingeru byly zaneseny do ST rychlostí 0,2 l min⁻¹ průtok plynu po dobu 5 min. VOC byly nakonec shromážděny při průchodu ST. Nicméně tři aldehydy (FA, AA a PA) generované ze vzorků masky byly shromážděny pomocí DNPH kazety namísto sorbentových zkumavek používaných pro sběr VOC. V této době byl průtok vzorku aldehydů 2 l min⁻¹ po dobu 5 min.

2.2.2 . Hmotnostní průtok VOC emitovaných maskou v závislosti na době nošení (Exp 2)

V Exp 2 byly masky KF94 (vzorek B) použity k vyhodnocení, zda se koncentrace VOC emitovaných z masek mění v závislosti na době, která uplynula po otevření obalu. Aby toho bylo dosaženo, byla maska vyjmuta z obalu, umístěna do impingeru s kapacitou 1 l a vzduch procházel filtrační trubicí rychlostí 0,2 l min⁻¹ (předběžné propláchnutí). VOC emitované z masky byly shromážděny a analyzovány stejným způsobem jako v Exp 1. Doba předčištění byla nastavena na 30, 60, 120 a 360 minut.

2.2.3 . Koncentrace VOC emitovaných maskou v závislosti na teplotě masky (Exp 3)

Exp 3 posuzoval, zda se koncentrace VOC zvyšují s rostoucí teplotou masky. Po vložení impingeru s maskami do 20l nádoby naplněné vodou byla teplota upravena na 40 ° C ohřevem vody ponorným elektrickým ohřevákem (DAIHAN Scientific, Korejská republika). VOC byly vytvořeny a shromážděny stejným způsobem jako v Exp 1.

2.3 . Příprava a analýza pracovních standardů pro pořízení kalibračních křivek

V této studii byly připraveny pracovní standardy zahrnující celkem 27 VOC pro hodnocení koncentrací VOC generovaných z masek ((1) dva alkany: pentan (P) a hexan (H), (2) dva aldehydy: butyraldehyd (BA) a valeraldehyd (VA), (3) tři ketony: methylethylketon (2-butanon, MEK), methyloisobutylketon (MIBK) a aceton (AT), (4) tři acetáty: methyloacetát (MeAc), butyloacetát (BuAc) a ethylhexanoát (EtHe), (5) dva alkoholy: isobutylalkohol (i-BuAl) a 1-hexanol (HeAl), (6) čtyři aromáty: benzen (B), toluen (T), p-xylen (pX) a o-xylen (oX), (7) dva fenoly: o-kresol (oC) a m-kresol (mC), (8) jeden amin: nikotin (Nic), (9) sedm kyselin: kyselina octová (ACA), kyselina propionová (PPA), kyselina máselná (BTA), kyselina izovalerová (IVA), kyselina valerová (VLA), kyselina hexanová (HXA) a kyselina heptanová (HPA) a (10) jeden sulfid: dimethyldisulfid (DMDS)).

Reagenční chemikálie (RGC) z 27 VOC byly zakoupeny s čistotou v rozmezí od 96,5 % (VA) do 99,9 % (EtHe) (Sigma-Aldrich, USA). Pracovní standardy byly připraveny gravimetrickým zředěním RGC methanolem: (1) 8,79 ± 1,09, (2) 17,6 ± 2,17, (3) 35,2 ± 4,35, (4) 87,9 ± 10,9 a (5) 176 ± 21 ng μL⁻¹ . Pracovní standard byl přímo vstříkován do ST přes dočasný vstříkovací port vyrobený z teflonové trubice, která spojovala vstup ST a výstup z filtrační trubice, zatímco záložní vzduch proudil z filtrační trubice do ST (0,2 L min⁻¹ po dobu 5 minut) ([Kim a Kim, 2016](#)). VOC nanášené na ST byly poté tepelně desorbovány pomocí systému TD k odvození kalibračních křivek před separací pomocí GC a konečnou detekcí pomocí MS ([Kim a Kim, 2016](#)).

Pro kvantitativní analýzu FA, AA a PA byl zakoupen primární standard obsahující tři aldehydy v koncentraci 15 ng μL⁻¹ (TO11A, Supelco, USA). Primární standard byl zředěn acetonitrilem, aby se vytvořily pracovní standardy pro kalibrační křivky: (1) 0,06, (2) 0,12, (3) 0,30, (4) 1,50 a (5) 3,00 ng μL⁻¹ .

Pracovní standardy byly analyzovány systémem HPLC-UV za účelem získání dat kalibrační křivky. Tabulka S1 ukazuje podrobné postupy tvorby pracovních norem.

2.4 . Instrumentální systém

2.4.1 . Systém ST/TD-GC-MS

Analýza VOC emitovaných z našich vzorků masek byla provedena pomocí GC (GC-2010, Shimadzu, Japonsko) vybaveného MS (GCMS-QP2010, Shimadzu, Japonsko) a TD (TD20, Shimadzu, Japonsko). VOC naložené na ST byly tepelně desorbovány při 280 °C (5 min) při zpětném toku 100 ml min⁻¹ s heliem (> 99,9999 %) nosným plynem. Desorbované analyty byly smeteny do vymrazovače (udržovaného při 5 °C) v proudu nosného plynu. Chladič naplněný křemennou vlnou (10 mg) a Tenax TA (50 mg) v držáku Silcosteel (Shimadzu, Japonsko) byl poté rychle desorbován (280 °C) v reverzním toku nosného plynu za účelem přenesení (vstříku) VOC do kolony (DB vosk - délka: 60 m, průměr: 0,25 mm a tloušťka: 0,25 um, Agilent, USA). Přenos/nástřik analytů z vymrazovacího odlučovače do GC kolony byl proveden rozdělením průtoku mezi kolonu (2 ml min⁻¹) a split ventil (20 ml min⁻¹). Teplota pece byla zpočátku nastavena na 40 °C (po dobu 5 minut), postupně zvyšována na 10 °C min⁻¹ až do dosažení 250 °C a udržována na této teplotě po dobu 4 minut (celková doba chodu 30 minut). Pro detekci VOC byly teploty rozhraní a iontového zdroje nastaveny relativně vysoko (na 230 °C), aby se zabránilo kontaminaci v systému MS. VOC byly zkoumány v režimu celkové iontové chromatografie (TIC) v hmotnostním rozsahu 35–500 m/z . Podrobné informace o přístrojovém systému jsou uvedeny v tabulce S2 .

2.4.2 . HPLC-UV systém

Všechny kapalné vzorky (vzorky extrakce rozpouštědlem na patronu DNPH a pracovní standardy) obsahující tři aldehydy byly analyzovány systémem HPLC-UV (LC-2010, Shimadzu, Japonsko) vybaveným automatickým vzorkovačem (SIL-20A), pumpou (LC-20AD) , pec (CTO-20A) a UV detektor (SPD-20A). Fixní objem vzorku 20 µl byl vstříknut do systému HPLC přes automatický vzorkovač. Analyty byly separovány na koloně Shim-Pack GIS-ODS (délka: 25 mm, průměr: 4,6 mm, velikost částic: 5 µl) za použití mobilní fáze acetonitril-destilovaná voda (6:4 (v/v)) při průtok 1,5 ml min⁻¹ při 30 °C (udržovaný pecí). Celková doba běhu byla 11 minut. Oddělené aldehydy byly detekovány UV detektorem při vlnové délce 360 nm (tabulka S2).

2.5 . Kvantitativní metoda pro výpočet koncentrací VOC emitovaných z masek

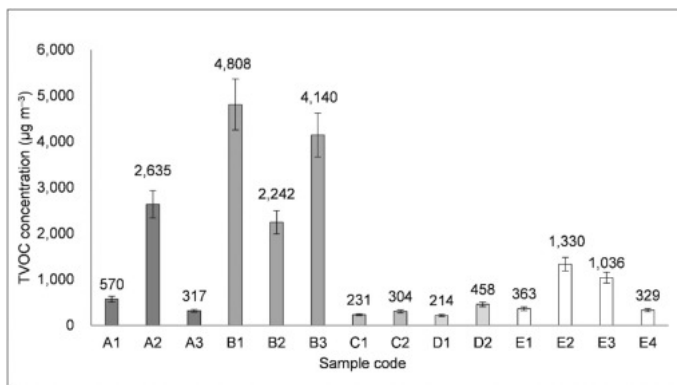
V tomto výzkumu bylo pro externí kalibraci vybráno celkem 27 VOC, které byly připraveny pro pracovní standardy (tabulka S1). Výsledky kalibrace získané pomocí pracovních standardů byly použity k odvození prediktivních rovnic založených na metodě efektivního uhlíkového čísla (ECN) (Faiola et al., 2012 , Kállai et al., 2003 , Kim et al., 2014). Metoda ECN byla poté použita k výpočtu koncentrace každé VOC v důsledku nepřítomnosti standardního materiálu (tj. autentických sloučenin) nebo složitosti standardní přípravy. Mezi VOC detekovanými ze vzorků emisí masky byly VOC, které nebylo možné kvantifikovat externí kalibrací, kvantifikovány prostřednictvím ECN.

Koncentrace VOC byly odvozeny z prediktivních rovnic založených na lineární regresní rovnici mezi hodnotami reakčního faktoru (RF) cílových standardních sloučenin (tabulka S1) a jejich ECN. Každá ECN byla určena spočítáním počtu atomů (C, H, O, N a S) a částí ve funkčních skupinách (např. aldehydové, esterové, ketonové, karboxylové, alkoholové, cyklické a acyklické skupiny) ve smyslu ekvivalent uhlíkového čísla (CNE), který zohledňuje přibližný relativní příspěvek každého k citlivosti (RF) v systému MS. Tento podrobný výpočetní postup je uveden v tabulce S3 .

3 . Výsledky a diskuse

3.1 . VOC emitované z různých vzorků masek (Exp 1)

V této studii byly VOC emitované z masek shromážděny a analyzovány z různých vzorků masek. Koncentrace VOC byly vypočteny jako TVOC a součet koncentrací každé funkční skupiny (tj. alkohol, aldehyd, amid, aromatický atd.) pro usnadnění srovnávací analýzy (obr. 1 , tabulka 4 a obr. S2).



Obr. Koncentrace TVOC ($\mu\text{g m}^{-3}$) emitované z každého vzorku masky.

Tabulka 4. Koncentrace VOC emitovaných ze vzorků masek (s VOC seřazenými podle funkčních skupin).

Order	Functional group	Concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$)														Sum
		A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	D1	D2	E1	E2	E3	E4	
1	Alcohol	109	231	59.8	203	140	731	76.8	53.4	23.1	46.9	41.7	56.7	37.3	54.6	1,864
2	Aldehyde	31.7	38.6	43.3	22.8	39.6	28.0	26.4	25.7	22.7	15.3	0.67	36.3	19.4	17.7	368
3	Amide	24.4	116	8.08	1,114	624	273	8.44	NA ^b	NA	40.7	NA	139	NA	NA	2,348
4	Aromatic	12.2	295	8.78	158	121	143	8.04	9.45	7.59	15.7	23.2	33.9	28.7	26.0	891
5	Carboxyl	80.9	NA	NA	NA	NA	NA	46.6	NA	97.6	199	77.8	153	626	65.6	1,346
6	Cyanide	16.8	45.3	81.0	45.1	17.2	87.3	20.5	27.1	22.5	88.3	68.1	20.4	52.3	10.5	602
7	Dioxane	2.99	15.9	NA	12.5	9.18	9.54	NA	NA	NA	NA	NA	9.44	2.45	13.0	75.1
8	Ester	172	855	4.92	1,073	445	1,076	7.62	13.8	13.9	3.46	15.2	384	197	11.3	4,272
9	Ether	249	144	19.2	82.3	194	980	68.7	37.5	27.7	38.4	27.1	47.4	36.4	25.2	1,977
10	Hydrocarbon ^a	108	908	96.1	1,968	687	1,204	23.3	168	18.1	31.4	120	462	61.5	116	5,973
11	Ketone	10.0	100	6.43	181	148	578	6.73	6.51	5.14	6.53	12.6	28.8	8.38	9.19	1,108
12	Oxane	1.29	64.5	NA	93.3	32.5	28.3	1.11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	221
13	Oxirane	1.53	23.6	1.08	23.0	7.60	7.54	3.62	NA	2.95	7.23	2.16	4.75	3.76	2.76	91.6
14	Siloxane	NA	1.88	7.89	2.20	1.15	0.83	2.69	1.50	0.77	3.10	1.31	0.78	NA	2.45	26.5

^aExcept for aromatics

^bNA: not available, The compounds with the concentration of below $0.1 \mu\text{g m}^{-3}$ or the library similarity of below 80% by mass

spectrometry (MS).

$> 100 \mu\text{g m}^{-3}$

$> 1,000 \mu\text{g m}^{-3}$

Nejvyšší koncentrace TVOCs byla zaznamenána ve vzorku B (KF94), jednorázové masce ($3730 \pm 1331 \mu\text{g m}^{-3}$). Vzorek A (KFAD), další jednorázová maska, byl spojen s další nejvyšší koncentrací TVOC ($1174 \pm 1271 \mu\text{g m}^{-3}$). Vzorky jednorázových masek A a B vykazovaly různé koncentrace TVOC více než dvojnásobné pro každého výrobce. To znamená, že ačkoli byly masky vyrobeny ze stejných materiálů, koncentrace VOC generovaných z masek se lišily v závislosti na výrobních procesech. Koncentrace TVOC generované ze vzorků B1 ($4808 \pm 957 \mu\text{g m}^{-3}$) a B3 ($4140 \pm 823 \mu\text{g m}^{-3}$), což jsou nejběžněji používané masky KF94 pro ochranu proti COVID-19, odpovídají vysoce rizikové úrovni (zdraví obavy, TVOC = 3000 až $10\,000 \mu\text{g m}^{-3}$) jak je stanoveno směrnicemi TVOC stanovenými německou Spolkovou agenturou pro životní prostředí týkajícími se vnitřních orientačních hodnot (AIR) ([der Ad-hoc-Arbeitsgruppe, 2007](#), [Heinzow a Sagunski, 2009](#), [Salthammer, 2011](#)). Víceúčelové masky vykazovaly relativně nižší koncentrace TVOC ($267 \pm 51,4 \mu\text{g m}^{-3}$ (vzorek C), $336 \pm 172 \mu\text{g m}^{-3}$ (vzorek D) a $764 \pm 498 \mu\text{g m}^{-3}$ (vzorek E)) ve srovnání s jednorázové masky (vzorky A a B). Oba vzorky C a D, které byly vyrobeny z bavlny jako hlavního materiálu, měly koncentrace TVOC pod $460 \mu\text{g m}^{-3}$. Tyto úrovně koncentrace TVOC odpovídaly úrovni, která je pro lidské tělo neškodná (žádné relevantní zdravotní problémy, TVOC $< 1000 \mu\text{g m}^{-3}$) ([der Ad-hoc-Arbeitsgruppe, 2007](#), [Fromme et al., 2019](#), [Salthammer, 2022](#)). V případě vzorku E byly koncentrace TVOC E2 a E3 relativně vysoké, a to $1330 \pm 259 \mu\text{g m}^{-3}$, resp. $1036 \pm 204 \mu\text{g m}^{-3}$. Bylo obtížné vyhodnotit vzorce koncentrace TVOC pro vzorek E s materiály masky, protože nemohly být konkrétně identifikovány u jejich hlavních materiálů.

Koncentrace VOC emitovaných z každého vzorku masky jsou uvedeny v [tabulce 4](#), rozdělené do 14 hlavních funkčních skupin (alkohol, aldehyd, amid, aromatický, karboxyl, kyanid, dioxan, ester, ether, uhlovodík, keton, oxan, oxiran a siloxan). Jednotlivé VOC detekované v relativně vysokých koncentracích ($> 100 \mu\text{g m}^{-3}$) jsou uvedeny v [tabulce S4](#). Ve vzorku B mají alkohol, amid, aromáty, ester, uhlovodík a keton relativně vysoké koncentrace nad $100 \mu\text{g m}^{-3}$, bez ohledu na výrobce. Konkrétně ve vzorku B1

byly detekovány amidové, esterové a uhlovodíkové sloučeniny ve vysokých koncentracích nad $1000 \mu\text{g m}^{-3}$ ($1114 \mu\text{g m}^{-3}$ (amid), $1073 \mu\text{g m}^{-3}$ (ester) a $1968 \mu\text{g m}^{-3}$ (uhlovodík)). Zde byly amidové sloučeniny 100 % DMAc a esterové sloučeniny byly 99,25 % ethylacetátu, což představovalo většinu kvantitativně. Uhlovodíky detekované ze vzorku B1 byly většinou alkany s 6–12 atomy uhlíku. Koncentrace esterových a uhlovodíkových sloučenin pro vzorek B3 byly také relativně vysoké, a to $1076 \mu\text{g m}^{-3}$ a $1204 \mu\text{g m}^{-3}$ a většina esterových sloučenin byl ethylacetát (70,1 %). Koncentrace VOC emitovaných ze vzorku A byly obecně nižší než u vzorku B; avšak koncentrační vzorce VOC pro každou funkční skupinu byly u vzorků A a B podobné. Ve vzorku A byly případy, kdy byly zjištěny koncentrace alkoholových, amidových aromatických, esterových, uhlovodíkových a ketonových sloučenin až $100 \mu\text{g m}^{-3}$ nebo větší. Jinými slovy, VOC s relativně různými funkčními skupinami byly uvolňovány v relativně vysokých koncentracích z každé z jednorázových masek, jako jsou vzorky A a B. Ve vzorcích C a D, které používaly bavlnu jako svůj primární materiál, byly koncentrace VOC podle funkčních skupin byly většinou nízké, pod $100 \mu\text{g m}^{-3}$ (kromě uhlovodíku ve vzorku C2 ($168 \mu\text{g m}^{-3}$) a karboxylu ve vzorku D2 ($199 \mu\text{g m}^{-3}$)). Ve vzorku E byla multifunkční maska, karboxylové, esterové a uhlovodíkové sloučeniny detekovány v relativně vysokých koncentracích ($231 \pm 266 \mu\text{g m}^{-3}$ karboxyl), $152 \pm 178 \mu\text{g m}^{-3}$ (ester) a $190 \pm 183 \mu\text{g m}^{-3}$ (uhlovodík)). Karboxylové sloučeniny byly detekovány ve svých nejvyšších koncentracích (v průměru) ve vzorku E. Karboxylové sloučeniny detekované ve vzorku E byly všechny kyseliny octové.

Počet VOC detekovaných nad koncentrací $100 \mu\text{g m}^{-3}$ byl jasně rozlišen mezi maskami na jedno použití (vzorky A a B) a maskami na více použití (vzorky C, D a E) ([tabulka S4](#)). DMAc byl detekován v relativně vysokých koncentracích $480 \pm 440 \mu\text{g m}^{-3}$ ve vzorcích A2, B1, B2 a B3. Ve vzorku B2, DMF, který má amidovou skupinu jako DMAc, byla také detekována vysoká koncentrace ($208 \mu\text{g m}^{-3}$). Potvrdili jsme, že amidové sloučeniny byly emitovány z většiny vzorků jednorázových masek. Mezi víceúčelovými maskami byl DMF detekován ve vysoké koncentraci $139 \mu\text{g m}^{-3}$ pouze ve vzorku E2. V případě toluenu relativně vysoké koncentrace $155 \mu\text{g m}^{-3}$ (A2), $123 \mu\text{g m}^{-3}$ (B1) a $104 \mu\text{g m}^{-3}$ (B2) byly zaznamenány pouze u vzorků jednorázových masek. Naproti tomu toluen nebyl detekován (nebo nižší než $100 \mu\text{g m}^{-3}$) ve víceúčelových maskách. Vysoké koncentrace karboxylových sloučenin (nad $100 \mu\text{g m}^{-3}$) byly zjištěny pouze ve vzorcích víceúčelových masek a všechny byly kyselinou octovou. 2-nonaon s ketonovou skupinou byl detekován ve vysoké koncentraci $142 \pm 16,0 \mu\text{g m}^{-3}$ pouze ve vzorku B. Stručně řečeno, koncentrace jednotlivých VOC generovaných z každé masky se lišily podle typu masky. Potvrdili jsme, že VOC s různými funkčními skupinami byly generovány v relativně vysokých koncentracích ve vzorku B, maska KF94.

Patnáct druhů VOC zjištěných ze vzorků masek bylo v souladu s nebezpečnými chemikáliemi běžně se vyskytujícími v pracovním prostředí, jak zjistil Národní institut pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (NIOSH) Spojených států (Barsan, 2007) ([tabulka 5](#)). Z těchto 15 nebezpečných chemikálií je známo, že DMAc a DMF potenciálně způsobují jaterní a reprodukční toxicitu a aromatické sloučeniny, jako je toluen a xylen, jsou toxické pro nervový systém (Gong a kol., 2016, Niaz a kol., 2015, Saito a kol. [al., 2011](#), [Wegner et al., 2021](#)). [Acetonitril](#) je také škodlivá látka, která může způsobit zánět kůže a očí a může způsobit neurologické poruchy ([Ahmed a kol., 1992](#), [Hashimoto, 1991](#), [Joshi a Adhikari, 2019](#)). n-Hexane je látka dráždivá kůži, která může při vdechování způsobit bolesti hlavy a plicní edém. Současná expozice n-hexanu a 2-butanonu může způsobit závažnou neurotoxicitu ([Todd a Melia, 2019](#)). Zjištěné úrovně koncentrací nebezpečných chemických látek (VOC) však byly velmi nízké, téměř 100–1000krát nižší, než je doporučený expoziční limit stanovený NIOSH. Nicméně jsou vyžadovány pokyny týkající se bezpečného nošení masek, protože těchto 15 VOC jsou škodlivé látky.

Tabulka 5 . Koncentrace nebezpečných VOC emitovaných ze vzorků masek.

Objednat	Funkční skupina	Název sloučeniny	Číslo CAS	Vzorec	Molekulová hmotnost (g mol^{-1})	NIOSH REL ^a (mg m^{-3})	Koncentrace ($\mu\text{g m}^{-3}$)							
							A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C
1	Alkohol, éter	1-Methoxy-2-propanol	107–98–2	C4H10O2 _ _ _ _	90	360	NA	32.0	NA	2.43	28.7	632	NA	4

Objednat	Funkční skupina	Název sloučeniny	Číslo CAS	Vzorec	Molekulová hmotnost (g mol ⁻¹)	NIOSH REL ^a (mg m ⁻³)	Koncentrace (µg m ⁻³)							
							A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C
2	Amid	dimethylformamid (DMF)	68-12-2	C3H7NO -_-_-	73	30	NA	NA	NA	NA	208	NA	NA	N
3	Amid	N,N-dimethylacetamid (DMAc)	127-19-5	C4H9NO -_-_-	87	35	24.4	116	8.08	1114	417	273	8.44	N
4	Aromatický	Toluen	108-88-3	C7H8 -_-	92	375	7.45	155	6.42	123	104	75.2	4.87	4
5	Aromatický	Ethylbenzen	100-41-4	T _{8:10} -_-	106	435	1.61	27.0	1.19	8.33	4.57	5.09	1.08	1
6	Aromatický	p-xylen	106-42-3	T _{8:10} -_-	106	435	1.26	16.1	NA	5.36	3.56	25.5	NA	0
7	Aromatický	m-xylen	108-38-3	T _{8:10} -_-	106	435	1.38	41.6	1.18	8.28	4.44	5.78	1.15	1
8	Aromatický	o-xylen	95-47-6	T _{8:10} -_-	106	435	0.47	50.1	NA	9.85	2.76	13.8	NA	1
9	Aromatický	1,3,5-trimethylbenzen	108-67-8	C9H12 -_-	120	125	NA	2.52	NA	3.29	1.87	16.5	0.93	N
10	Karboxyl	Octová kyselina	64-19-7	C2H4O2 -_-_-_-	60	25	80.9	NA	NA	NA	NA	NA	46.6	N
11	Kyanid	acetonitril	75-05-8	C2H3N -_-	41	34	16.8	43.9	81.0	44.2	17.2	87.3	19.4	2
12	Ester	Ethylacetát	141-78-6	C4H8O2 -_-_-_-	88	1400	1.37	831	4.92	1065	337	754	5.22	1:
13	HC	n-hexan	110-54-3	C6H14 -_-	86	180	NA	3.43	NA	668	109	26.0	NA	N
14	HC	cyklohexan	110-82-7	C6H12 -_-	84	1050	NA	6.49	NA	7.10	23.9	NA	NA	0
15	keton	2-Butanon	78-93-3	C4H8O -_-	72	590	6.72	14.8	2.54	20.6	17.7	443	3.29	2

A

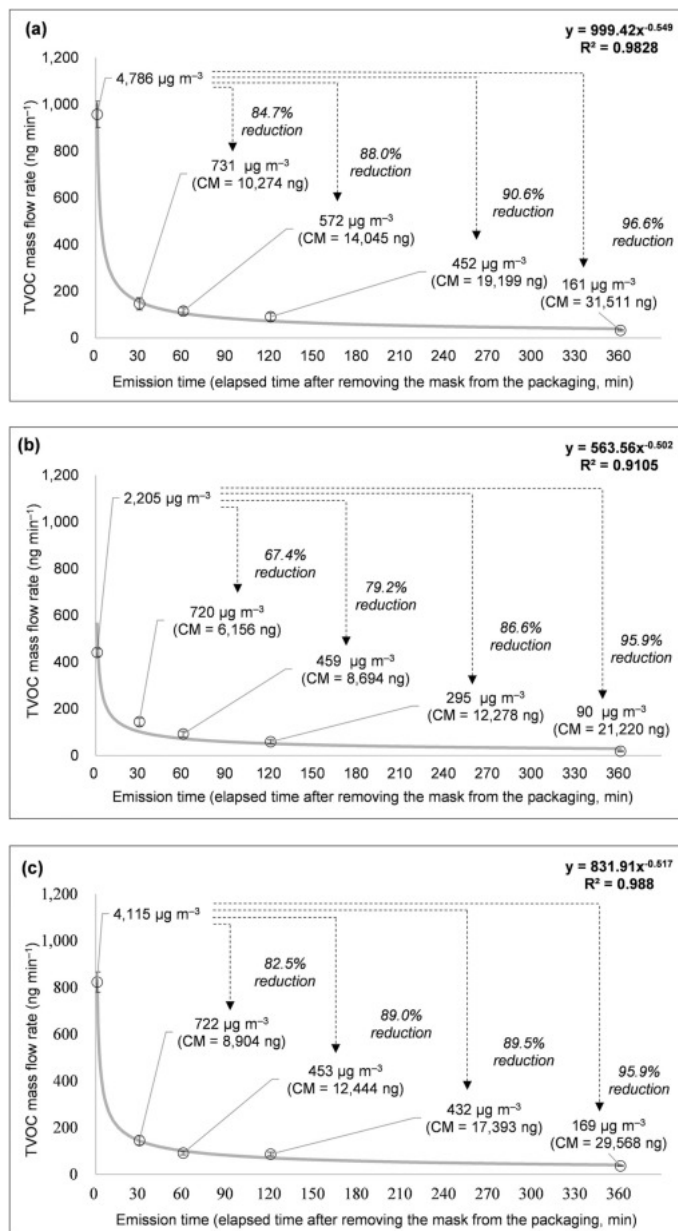
Směrnice doporučeného expozičního limitu (REL) pro až 8 hodin pracovního dne byly stanoveny agenturou amerického Národního institutu pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (NIOSH).

b

NA: není k dispozici, sloučeniny s koncentrací pod 0,1 µg m⁻³ nebo s podobností knihovny pod 80 % hmotnostní spektrometrií (MS).

3.2 . Exp 2: Hmotnostní průtoky TVOC v závislosti na době nošení masky

VOC adsorbované na povrchu masky se snadno vypařují do vzduchu dýcháním nebo větrem. V souladu s tím se množství VOC emitovaných z masek může lišit v závislosti na době, která uplynula po otevření masky. V Exp 2 byly hmotnostní průtok a koncentrace VOC generovaných z masek vzorku B hodnoceny v různých časech. Hmotnostní průtok a koncentrace každé VOC byly vypočteny jako TVOC a jsou uvedeny na Obr . Vzorek B, maska KF94, byla vybrána jako cílová maska pro hodnocení v Exp 2, protože generovala nejvyšší koncentraci VOC ze všech masek hodnocených v Exp 1 a je celosvětově doporučovanou maskou pro prevenci COVID-19.



Obr. Hmotnostní průtoky (ng m^{-3}) VOC emitovaných ze vzorků masky KF94 v různých časech po vyjmutí každé masky z obalu: (a) B1, (b) B2 a (c) B3.

Hmotnostní průtok TVOC vzorku masky B ($n = 3 \times 3$) byl průměrně $740 \pm 268 \text{ ng min}^{-1}$ ihned po otevření balení. 30 minut po otevření se však hmotnostní průtok TVOC vzorku B snížil o $78,2 \pm 9,44 \%$ na $145 \pm 1,22 \text{ ng min}^{-1}$. Po 6 hodinách byl hmotnostní průtok TVOC $28,7 \pm 9,35 \text{ ng min}^{-1}$ a většina VOC se z masek vypařila. Hmotnostní průtok TVOC generovaný z masky exponenciálně klesal, jak se prodlužoval čas a korelace byla dostatečně vysoká, aby ukázala střední R^2 hodnota $0,9604 \pm 0,0433$. Jak jsme pozorovali, jakmile byl obal masky otevřen, hmotnostní průtok VOC generovaných z masky rychle poklesl. Všechny experimenty v Exp 2 byly opakovány třikrát pro posouzení reprodukovatelnosti ve smyslu RSD (%). Exp 2 vykazovala dobrou reprodukovatelnost s RSD pod 20 % (průměr $19,1 \pm 8,15 \%$).

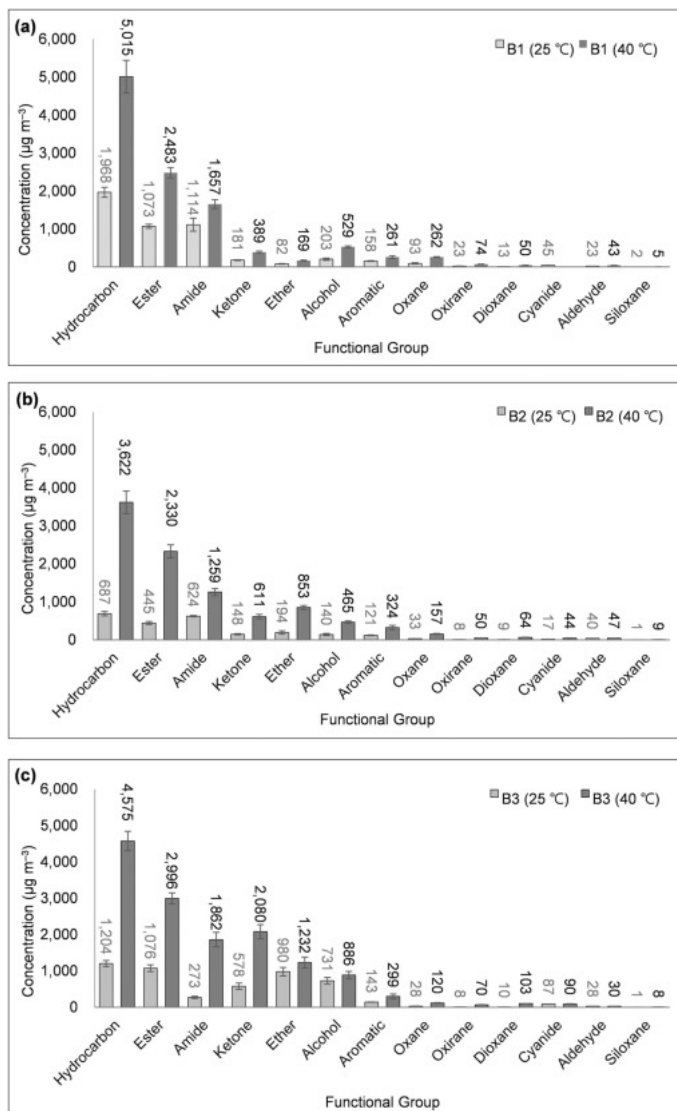
Nošení masky ihned po otevření obalu může vést k expozici koncentraci TVOC $3702 \pm 1339 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$. Expozici však lze výrazně snížit, pokud se maska otevře a nechá se sedět alespoň 30 minut. Například se vzorkem masky B1, pokud se nosí po dobu 6 hodin (bezprostředně po otevření produktu), je nahromaděná hmota TVOC, kterou lze inhalovat, $31,5 \text{ } \mu\text{g}$. Pokud je vzorek masky ponechán 1 hodinu po otevření, kumulativní hmota inhalovatelného TVOC se výrazně sníží na $19,7 \text{ } \mu\text{g}$ při nošení po dobu 6 hodin. Při novém produktu masky každou hodinu po dobu 6 hodin je celková exponovaná hmota TVOC poměrně vysoká, $84,3 \text{ } \mu\text{g}$.

3.3 . Exp 3: rozdíly v koncentraci VOC v masce na základě změn teploty

Vzhledem k tomu, že masky nosíte blízko obličeje, může se teplota vlivem tělesného tepla zvýšit nad okolní teplotu. Sluneční záření a okolní teplota také působí jako faktor zvyšující teplotu masky. Když teplota masky stoupne, mohou se s ní zvýšit i typy a koncentrace VOC emitovaných z masky ([Gravina et al., 2021](#) , [Kerkeling et al., 2021](#)). V Exp 3 byly hodnoceny změny v koncentraci VOC emitovaných z každé masky za různých teplotních podmínek (pokojová teplota: 25 ° C a vysoká teplota: 40 ° C) s použitím vzorku B. Vlivem povětrnostních podmínek (tj. teploty, intenzity slunečního záření, vlhkosti atd.) a charakteristik masky (tj. barvy) se teplota masky může zvýšit na úroveň tělesné teploty nebo nad ni. ([Pal a kol., 2021](#) , [Zhong a kol., 2020](#)). Proto jsme pro zohlednění těchto faktorů provedli experiment s emisemi VOC při teplotě 40 ° C, která je mírně vyšší než tělesná teplota.

Emisní koncentrace TVOC ze vzorku B byly $4808 \pm 489 \mu\text{g m}^{-3}$ (B1), $2242 \pm 144 \mu\text{g m}^{-3}$ (B2) a $4140 \pm 376 \mu\text{g m}^{-3}$ (B3) při 25 ° C. Když teplota dosáhla 40 ° C, koncentrace TVOC ve vzorku masky B byly zaznamenány jako $10\,521 \pm 1\,134 \mu\text{g m}^{-3}$ (B1), $8\,833 \pm 955 \mu\text{g m}^{-3}$ (B2) a $13\,029 \pm 42,7 \mu\text{g m}^{-3}$ (B3), což představuje nárůst o 119–299 % oproti koncentracím zaznamenaným při 25 ° C. Rozdíl v koncentracích TVOC mezi výrobci masek (B1, B2 a B3) se snižoval, když teplota vzrostla na 40 ° C (RSD = 36,2 % (25 ° C) a 19,7 % (40 ° C)). Předpokládáme, že je to výsledek aktivního těkání VOC lehce adsorbovaných na maskách, když se teplota masky zvyšovala ([Chang et al., 2022](#) , [Li et al., 2021](#)).

Obr. 3 ukazuje emisní koncentrace VOC ze vzorků masky B za různých teplotních podmínek masky jejich sečtením podle funkčních skupin. Jak se teplota masky zvyšovala, koncentrace VOC ve všech funkčních skupinách stoupaly. Uhlovodíky, z nichž nejvyšší koncentrace byly zaznamenány při 25 ° C, vykazovaly nejvyšší koncentraci ze všech funkčních skupin i při 40 ° C ($1286 \pm 644 \mu\text{g m}^{-3}$ (25 ° C) a $4\,404 \pm 712 \mu\text{g m}^{-3}$ (40 ° C)). Nárůst koncentrace uhlovodíků při zvýšení teploty masky byl také největší, a to $287 \pm 136 \%$. Bylo také pozorováno zvýšení koncentrací esteru, amidu a ketonu ($244 \pm 157 \%$ (ester), $244 \pm 294 \%$ (amid) a $229 \pm 102 \%$ (keton)). Průměrné koncentrace šesti funkčních skupin (oxanu, oxiranu, dioxanu, kyanidu, aldehydu a siloxanu), které byly zaznamenány při relativně nízkých koncentracích při 25 ° C ($\text{pod } 100 \mu\text{g m}^{-3}$), se jednou zvýšily více než dvojnásobně. teplota masky dosáhla 40 ° C ($23,7 \pm 18,6 \mu\text{g m}^{-3}$ (25 ° C) a $68,4 \pm 59,0 \mu\text{g m}^{-3}$ (40 ° C)). Koncentrace oxidantů jako oxanu, oxiranu a dioxanu významně vzrostly ($25,0 \pm 22,8 \mu\text{g m}^{-3}$ (25 ° C) a $106 \pm 64,3 \mu\text{g m}^{-3}$ (40 ° C)). Reprodukovatelnost těchto stanovení koncentrací byla poměrně dobrá s hodnotami RSD pod 20 % ($15,8 \pm 9,56 \%$ (25 ° C) a $12,3 \pm 8,14 \%$ (40 ° C)).



Obr. Koncentrace VOC ($\mu\text{g m}^{-3}$) při různých teplotách masky: (a) B1, (b) B2 a (c) B3.

Experiment 3 experimentálně ukázal, že jak teplota produktu masky roste, zvyšují se koncentrace VOC, kterým jsou nositelé masky vystaveni. Přesná koncentrace expozice se liší v závislosti na typech VOC. V souladu s tím by masky měly být používány po zohlednění faktorů, jako jsou povětrnostní podmínky, které ovlivňují teplotu masky.

3.4 . Doporučení k použití masky a studijní omezení

Od roku 2020 vydávají země doporučení pro prevenci šíření COVID-19 nošením roušek ([Dzisi a Dei, 2020](#) , [Rab et al., 2020](#)). Když je sociální distancování obtížné, doporučuje se nebo povinné nošení roušky, která by měla pevně zakrývat nos i ústa. Důrazně se doporučuje používat masky navržené tak, aby odfiltrovaly alespoň 95 % částic, včetně virů a bakterií (tj. KF94, N95, FFP2) (Han et al., 2021, [Knobloch et al., 2023](#) , [Ohara et al., 2022](#)). Ve Spojených státech Centrum pro kontrolu a prevenci nemocí (CDC) doporučuje používat dvě nebo více vrstev bavlněných masek nebo masek N95. Německo doporučuje používat masky FFP2 nebo N95, zatímco [Korea](#) doporučuje používat masky KF94. Chybí pokyny pro zacházení se škodlivými VOC z masek. Podle této studie se doporučuje masku vyrobenou z materiálu, jako je KF94, otevřít alespoň 30 minut před jejím nasazením a nechat ji při pokojové teplotě, aby se odstranily škodlivé VOC.

V této studii jsme hodnotili koncentraci tvorby VOC na základě typu masky, doby nošení a teploty masky. Ačkoli byly hodnoceny různé masky, pouze maska KF94 byla zaměřena na vyhodnocení tvorby VOC na základě doby nošení a teploty. Budoucí studie by měly vyhodnotit tvorbu VOC na maskách jiných než

KF94 kvůli rychle rostoucímu počtu typů masek ([De Sio et al., 2020](#) , [Dharmaraj et al., 2021](#) , [Gereffi, 2020](#)) a měl by být k dispozici dostatečný počet vzorků masek. vyhodnoceny, aby byly zajištěny statisticky významné výsledky. Navíc, protože vlhkost může ovlivnit koncentraci ve vodě rozpustných VOC, je třeba prozkoumat vliv vlhkosti ([Markowicz a Larsson, 2015](#) , [Wolkoff, 1998](#)).

4 . Závěry

Jak roste počet problémů, které vyžadují nošení roušek (včetně znečištění ovzduší a COVID-19), roušky jsou stále důležitější. Nyní, když jsou masky téměř povinné, je třeba vyhodnotit škodlivé chemikálie, které se z nich mohou uvolňovat. V této studii byly hodnoceny VOC generované z různých typů masek, včetně běžně používaných jednorázových masek KF94. Byly vypočteny a porovnány typy a koncentrace VOC, kterým budou lidé pravděpodobně vystaveni z těchto masek za různých podmínek (tj. doba emise, teplota a typy masek). Tato studie prokázala, že jednorázové masky (KF94) uvolňovaly vyšší koncentrace TVOC ve srovnání s bavlněnými maskami, s hodnotami $3730 \pm 1331 \mu\text{g m}^{-3}$ pro KF94 a $268 \pm 51,6 \mu\text{g m}^{-3}$ na bavlněné roušky. Koncentrace TVOC v maskách KF94 jsou dostatečně vysoké, aby vzbuzovaly obavy na základě směrnic pro kvalitu vnitřního ovzduší, které stanovila německá federální agentura pro životní prostředí. Nicméně, když byly masky KF94 otevřeny a ponechány v klidu po dobu 30 minut při pokojové teplotě, koncentrace TVOC významně poklesly na $724 \pm 5,86 \mu\text{g m}^{-3}$ (snížení o $78,2 \pm 9,45 \%$ oproti hladinám naměřeným bezprostředně po otevření). Je jasné, že je třeba věnovat zvláštní pozornost VOC spojeným s používáním masek KF94 a jejich účinkům na lidské zdraví. Na základě našich zjištění navrhuje, aby před nasazením masky KF94 byl každý produkt otevřen a nenošen po dobu alespoň 30 minut, čímž se sníží koncentrace TVOC na úroveň, která nepoškodí lidské zdraví.

prohlášení o autorském příspěvku CRediT

Hajoo Ryu: Formální analýza, Vyšetřování, Správa dat, Psaní – původní návrh. **Yong-Hyun Kim:** Konceptualizace, Metodologie, Formální analýza, Vyšetřování, Psaní – originální návrh, Psaní – kontrola a editace, Supervize.


Prohlášení o konkurenčním zájmu

Autoři prohlašují, že nemají žádné známé konkurenční finanční zájmy nebo osobní vztahy, které by se mohly zdát ovlivnit práci uvedenou v tomto článku.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Korejské národní výzkumné nadace (NRF) financovaným korejskou vládou (MSIT) (č. [2021R1F1A1063467](#)) a grantem [číslo grantu [23212MFDS252](#)] Ministerstva pro bezpečnost potravin a léčiv v roce 2023 .

Dodatek A . Doplnkový materiál

 [Stáhnout : Stáhnout dokument Word \(2 MB\)](#)

Doplnkový materiál

.

Dostupnost dat

Údaje budou zpřístupněny na vyžádání.

Reference

1. [Aerts a kol., 2020](#)
O. Aerts , E. Dendooven , K. Foubert , S. Stappers , M. Ulicki , J. Lambert
Dermatitida chirurgické masky způsobená formaldehydem (uvolňovače) během pandemie COVID-19
Kontaktujte Dermat. , 83 (2020) , str. 172-173 __
[CrossRef](#)↗[Zobrazit ve Scopusu](#)↗[Google Scholar](#)↗
2. [Ahmed a kol., 1992](#)
AE Ahmed , JP Loh , B. Ghanayem , GI Hussein
Studie mechanismu toxicity acetonitrilu I: celotělová autoradiografická distribuce a makromolekulární interakce 2-14C-acetonitrilu u myši
Pharmacol. Toxicol. 70 (1992) , str . 322-330 _
[CrossRef](#)↗[Zobrazit ve Scopusu](#)↗[Google Scholar](#)↗
3. [Barsan, 2007](#)
Barsan, ME, 2007. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards.
[Google Scholar](#)↗
4. [Betsch a kol., 2020](#)
C. Betsch, L. Korn, P. Sprengholz, L. Felgendreff, S. Eitze, P. Schmid, R. Böhm
Sociální a behaviorální důsledky zásad masek během pandemie COVID-19
Proč. Natl. Akad. Sci. , 117 (2020) , s. 111-1 21851 - _
[CrossRef](#)↗[Zobrazit ve Scopusu](#)↗[Google Scholar](#)↗
5. [Bhatia a kol., 2020](#)
R. Bhatia , T. Sindhuja , S. Bhatia , T. Dev , A. Gupta , M. Bajpai , S. Gupta
Iatrogenní dermatitida v době COVID-19: pandemie v pandemii
J. Eur. Akad. Dermatol. Venereol. , 34 (2020) , článek e563
[Zobrazit ve Scopusu](#)↗[Google Scholar](#)↗
6. [Blevens a kol., 2021](#)
MS Blevens , HF Pastrana , HC Mazzotta , CS-J. Tsai
Látkové obličejové masky obsahující stříbro: vyhodnocení stavu
ACS Chem. Zdraví Saf. , 28 (2021) , str . 171-182
[CrossRef](#)↗[Zobrazit ve Scopusu](#)↗[Google Scholar](#)↗
7. [Chang a kol., 2022](#)
X. Chang , Y. Xiao , Y. Long , F. Wang , Z. You
Teplotní závislost vlastností uvolňování VOC asfaltových materiálů za různých testovacích podmínek
J. Traffic Transp. Ing. Engl. Ed. , 9 (2022) , str . 280-292
[Zobrazit PDF](#)[Zobrazit článek](#)[Zobrazit ve Scopusu](#)↗[Google Scholar](#)↗

8. [Od Sio a kol., 2020](#)
L. De Sio , B. Ding , M. Focsan , K. Kogermann , P. Pascoal-Faria , F. Petronela , G. Mitchell , E. Zussman , F. Pierini
Personalizované opakovaně použitelné obličejové masky s inteligentním nano-asistovaným ničením patogenů pro COVID-19: vizionářská cesta
Chem. Eur. J. , 27 (20) (2020)
6112-3130
[Google Scholar](#) ↗
9. [ad hoc pracovní skupina, 2007](#)
H. pracovní skupina ad hoc
Posouzení kontaminace vnitřního vzduchu pomocí referenčních a směrných hodnot
známý Z. Federal Environment Agency , 50 (2007) , s . 990-1005 , [10.1007/s00103-007-0290-y](#) ↗
[Google Scholar](#) ↗
10. [Dharmaraj a kol., 2021](#)
S. Dharmaraj , V. Ashokkumar , S. Hariharan , A. Manibharathi , PL Show , CT Chong , C. Ngamcharussrivichai
Odpad z pandemické masky COVID-19: kvetoucí hrozba pro mořské prostředí
Chemosphere , 272 (2021) , článek 129601
[Zobrazit PDF](#)[Zobrazit článek](#)[Zobrazit ve Scopusu](#) ↗[Google Scholar](#) ↗
11. [Dutta a kol., 2018](#)
T. Dutta , K.-H. Kim , RJ Brown , Y.-H. Kim , D. Boukhvalov
Kovovo-organická struktura a Tenax-TA jako optimální směs sorbentů pro současnou GC-MS analýzu karbonylových sloučenin C1 až C5
Sci. Rep. , 8 (2018) , str. 5033
[Zobrazit ve Scopusu](#) ↗[Google Scholar](#) ↗
12. [Dzisi a Dei, 2020](#)
E.K.J. Dzisi, O.A. Dei
Dodržování sociálního odstupu a nošení roušek ve veřejné dopravě během pandemie COVID 19
Transp. Res. Interdiscip. Perspektiva. , 7 (2020) , článek 100191
[Zobrazit PDF](#)[Zobrazit článek](#)[Zobrazit ve Scopusu](#) ↗[Google Scholar](#) ↗
13. [Esmeria a kol., 2021](#)
Esmeria, J., Fernandez, P., Oyong, G., 2021. Studie odezvy elektrostatičkého pole místně prodáváných obličejových masek na Filipínách. J. Phys. Conf. Ser., 2071, str. 012055.
[Google Scholar](#) ↗
14. [Faiola a kol., 2012](#)
C. Faiola, M. Erickson, V. Fricaud, B. Jobson, T. VanReken
Kvantifikace biogenních těkavých organických látek plamenově ionizačním detektorem s využitím konceptu efektivního uhlíkového čísla
Atmos. Meas. Tech. , 5 (2012) , s. 1911 - 1923
[CrossRef](#) ↗[Zobrazit ve Scopusu](#) ↗[Google Scholar](#) ↗

15. [Fernández-Arribas a kol., 2021](#)
J. Fernández-Arribas , T. Moreno , R. Bartroli , E. Eljarrat
Obličejové masky COVID-19: nový zdroj vystavení člověka a životního prostředí organofosfátovým esterům
Environ. Int. , 154 (2021) , článek 106654
[Zobrazit PDF](#)[Zobrazit článek](#)[Zobrazit ve Scopusu](#) [Google Scholar](#)
16. [Fischer a kol., 2021](#)
CB Fischer , N. Adrien , JJ Silguero , JJ Hopper , AI Chowdhury , MM Werler
Maska dodržování a míra COVID-19 ve Spojených státech
PLoS One , 16 (2021) , článek e0249891
17. [Fromme a kol., 2019](#)
H. Fromme , M. Debiak , H. Sagunski , C. Röhl , M. Kraft , M. Kolossa-Gehring
Německý přístup k regulaci znečištění vnitřního vzduchu
Int. J. Hyg. Environ. Zdraví , 222 (2019) , s . 347-354
18. [Gereffi, 2020](#)
G. Gereffi
Co nás pandemie COVID-19 učí o globálních hodnotových řetězcích? Případ zdravotnického materiálu
J. Int. Autobus. Politika , 3 (2020) , s . 287-301
19. [Ghatak a kol., 2021](#)
20. [Gong a kol., 2016](#)
21. [Gravina a kol., 2021](#)
Gravina, R., López, RA, Ordoñez-Ordoñez, PF, 2021. Obličejová maska: inteligentní osobní ochranný prostředek pro posuzování souladu s osvědčenými postupy pro kontrolu pandemie. In: Sborník z IEEE 2nd International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS). IEEE, 2021, s. 1–6.
[Google Scholar](#)
22. [Han a kol., 2021](#)
23. [Hashimoto, 1991](#)
24. [Heinzow a Sagunski, 2009](#)
25. [Hu a kol., 2021](#)
26. [Jin a kol., 2021](#)
27. [Lyu a Wehby, 2020](#)
W. Lyu , GL Wehby
Komunitní používání roušek a COVID-19: důkazy z přirozeného experimentu státních mandátů v USA: studie zkoumá dopad na míru růstu COVID-19 související s vládními mandáty vyžadujícími používání obličejových masek na veřejnosti
Zdraví Aff. , 39 (2020) , s . 1419–1425

Citováno podle (0)