

KIERUNKI ROZWOJU POMIARÓW ZAPACHU I ZAWARTOŚCI ZWIĄZKÓW MVOC WE WNĘTRZACH BUDYNKÓW

Krystyna Barbara KOSTYRKO¹, Mateusz KOZICKI²

1. Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Fizyki Ciepłej, Akustyki i Środowiska
tel.: 22 56 64 358 e-mail: k.kostyrko@itb.pl
2. Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Fizyki Ciepłej, Akustyki i Środowiska
tel.: 22 57 96 187 e-mail: m.kozicki@itb.pl

Streszczenie: Praca zawiera zestawienie współczesnych technik służących do pomiarów zapachu jak również dopuszczalnych poziomów stężeń substancji uciążliwych zapachowo występujących we wnętrzach budynków. Scharakteryzowano lotne związki organiczne pochodzenia mikrobiologicznego, odpowiedzialne za różnego rodzaju zapachy, jak również techniki analityczne służące do ich chemicznej charakterystyki. Szczególną uwagę poświęcono elektronicznym nosom, będącym coraz powszechniejszymi, często przenośnymi, urządzeniami służącymi do monitorowania stężenia odorantów zapewniającymi analizę w czasie rzeczywistym.

Słowa kluczowe: odorant, powietrze wewnętrzne, mVOC

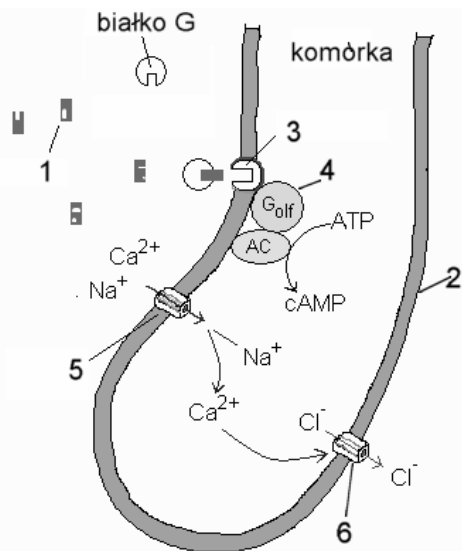
1. WPROWADZENIE

Dziesięciolecia doświadczeń potwierdzają potrzebę włączenia nieprzyjemnych zapachów do listy rodzajów zanieczyszczeń, które muszą być regulowane ustawowo. Zapach jest wrażeniem związanym z jednym lub więcej związkami, które jeśli występują w powietrzu w wystarczająco wysokich stężeniach, powodują reakcje węchowe u wdychających powietrze osób. Lotne Związki Organiczne (ang. VOC) powodujące zły zapach (odór) noszą nazwę odorantów i należy do nich też grupa związków mVOC (tj. związków stanowiących produkty przemiany metabolicznej zanieczyszczeń mikrobiologicznych w powietrzu). Analitykę związków mVOC rozpatruje się zwykle oddzielnie z uwagi na diametralnie niższe stężenia w jakich one występują (przy porównywalnej lub wyższej intensywności złego zapachu). Rozwój technik pomiaru zapachu, wynika z powszechnego uznania, że najpierw muszą pojawić się metody pomiaru zapachów obiektywne i powtarzalne, zanim złe zapachy będą mogły być skutecznie poddane regulacji ilościowej i zanim można będzie ocenić skuteczność technologii ich kontroli. Istnieją różne sposoby oceny ilościowej zapachu.

2. OPIS UPROSZCZONEGO MODELU ODPOWIEDZI RECEPTORÓW WĘCHOWYCH NA ZAPACH

Na rysunku 1 pokazano przekrój rzęski należącej do ciała komórki węchowej. Można na nim prześledzić podstawowe reakcje powstawania i przetwarzania sygnału elektrycznego w odpowiedzi na bodziec węchowy. Rzęska zanurzona jest w środowisku śluzu, który pokrywa pole węchowe. Wypełnione cytoplazmą wewnątrz rzęski oddziela od środowiska śluzu węchowego, do którego dociera odorant (1), błona komórkowa (2) o grubości zaledwie około 5 nm. Na rzęsce, powierzchnię pokrywa błona komórkowa, poprzecinana przez kanały jonowe (5) i (6). Umiejscowiony jest też na niej receptor węchowy (3).

Przechwycenie cząstek odorantu 1 przez receptor węchowy 3 i rozpuszczenie się ich w błonie komórkowej 2 receptora powoduje, że receptor zostaje pobudzony do aktywacji cząstek białka G i zainicjowania procesu dyfuzji jonów przez błonę komórkową (powstaje elektryczny sygnał). Nastąpi to tylko wówczas, gdy zaktywowane białko G_{olf} (4) jest zakodowane przez określony gen. Jak już powiedziano, sygnały pochodzące od milionów komórek węchowych materializują się na powierzchni opuszki węchowej, tworząc szablon danego zapachu zależny od tego, przez jakiego rodzaju komórki węchowe zostały przechwycone z powodzeniem cząstki odorantu. Uczeni sądzą obecnie, że szablon ten przenosi się na swoisty wzór powierzchniowy w polu węchowym i że każdy zapach ma inny wzór aktywowanych komórek węchowych. Badania nad powstawaniem wzoru zapachu i nad przesyłaniem go dalej z opuszki węchowej do odpowiednich obszarów mózgu uhonorowane zostały w 2004 r. nagrodą Nobla w dziedzinie medycyny dla Richarda Axela oraz dla Lindy Buck.



Rys. 1. Elementy odbioru i przetwarzania bodźców węchowych (za zgodą Tima Jacoba z Uniwersytetu Cardiff)

3. CECHY I MIARY ODCZUWANIA ZAPACHU

W olfaktometrii, która jest nauką o pomiarach reakcji ludzi odbierających i oceniających bodźce węchowe, zgodnie z podstawową obecnie normą PN-EN 13725:2007: „odorant jest to substancja, która stymuluje narząd zmysłu węchu do odczuwania zapachu”.

Postrzeganie zapachu, który jest charakterystyczny dla odoranta i który decyduje o odbiorze wrażeń węchowych przez człowieka, ma zasadniczo następujące miary:

- stężenie określające fizyczną intensywność bodźca węchowego zależną od stężenia odorantu w powietrzu; jest ono wyrażane w jednostkach stężenia zapachowego ou/m^3 lub ou_E/m^3 , lub jako stężenie masowe odorantu w powietrzu $\mu g/m^3$

- progi wyczuwalności i rozpoznania zapachu w $\mu g/m^3$
- stopień, w jakim zapach jest pożądany lub nieakceptowalny/niepożądany:

- w hedonicznej skali zapachu, którego miarą jest subiektywna ocena probantów określona w skali hedoniczności H wyrażającej, czy zapach jest przyjemny, czy też nie

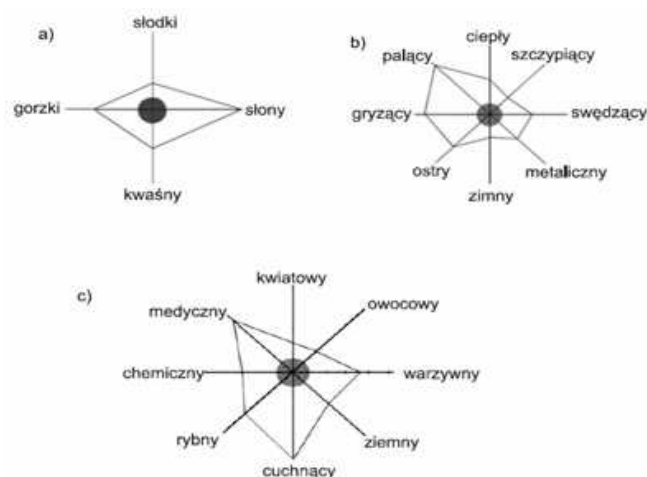
- w skali akceptacji obciążenia powietrza biozanieczyszczeniami lub związkami zapachowymi pochodzącymi np. z materiałów budowlanych, której miarą jest ocena probantów wyrażona przez odsetek ludzi PD niezadowolonych z odczuwanego zapachu

- emisja zapachu jest to wielkość fizyczna wyrażana przez strumień masy odorantu wydzielany ze źródła zapachu (powierzchni emitującej), w $\mu g/(m^2 \cdot h)$

- intensywność zapachu lub, ściślej, wyczuwaną intensywność zapachu, będącą wielkością pochodną stężenia zapachowego, którą wyraża się w skali porządkowej kategorii intensywności zapachu, w skali ilorazowej kategorii intensywności zapachu lub w skali wzorców (określonych roztworów dB_{od})

- rodzaj zapachu określa się, korzystając ze zbiorczych deskryptorów porządkujących kategorie zapachów; zespół probantów (*ang.* panel), ocenia intensywność każdego z bodźców w skali punktowej od 0 (brak zapachu) do 5 (zapach przytłaczający) lub oblicza procent osób deklarujących podobieństwo badanego zapachu do zapachu określanego deskryptorem lub odpowiednią charakterystyką;

wyniki ocen (ankietowych) nanosi się na diagram profilu zapachu lub na trzy diagramy Rys. 2: smaku charakteryzującego zapach (a), czucia bodźca (b) oraz rodzaju zapachu (c).



Rys. 2. Charakterystyka zapachu przy użyciu profili kołowych

4. STAN WIEDZY O POMIARACH ZAPACHÓW WE WNĘTRZACH I KIERUNKI ROZWOJU TYCH POMIARÓW

W monografii [16] omówiono techniki olfaktometryczne z udziałem paneli przeszkolonych probantów oraz podkreślono mocne i słabe punkty metody oceny stężenia zapachowego w pomieszczeniu przez pomiar sensoryczny olfaktometrem dynamicznym. Następnie opisano główne cechy i zasady działania współczesnych elektronicznych nosów (e-nosów), koncentrując się na ulepszaniu ich wyników w zakresie analizy środowiska wewnętrznego. Monitorowanie emisji zapachu przeprowadzane za pomocą obu technik jest ostatecznie poddawane ocenie w badaniach międzylaboratoryjnych, w celu wykazania odtwarzalności wyników oznaczania zapachów z wykorzystaniem panelu probantów lub z zastosowaniem przyrządów. Metody oceny złych zapachów we wnętrzach zebrane są w Tabeli 1, natomiast dopuszczalne poziomy stężenie substancji uciążliwych zapachowo znajdują się w Tabeli 2.

Możliwe ulepszenia w technologii e-nosów i czujników stosowanych w olfaktometrii dotyczą:

- nowych materiałów do wyczuwanie zapachów,
- nowych konstrukcji przetworników,
- e-nosów na wiele rodzajów zapachów,
- e-nosów w postaci układów hybrydowych,
- miniaturyzacji e-nosów.

Nowe materiały wyczuwające zapach będą musiały wykrywać szerszy zakres rodzajów cząsteczek zapachowych i rozróżniać mniejsze bardziej szczegółowe różnice w zapachach. Do materiałów wychwytyjących odoranty mogą należeć nowo opracowane półprzewodniki: tlenki, polimery przewodzące, polimerowe / powłoki dielektryczne, porowate związki klatkowe (*ang.* cage compounds) zastosowane w czujnikach z mikrowagą kwarcową lub filmy (powłoki) biologiczne czujników. Połączone technologie e- nosa czułe na wiele zawartych w powietrzu składników jak również „mieszane” technologie wytwarzania czujników mają na celu zwiększenie "zasięgu" nosa i poprawienie jego

rozdzielczości. Ulepszanie e-nosów sięga do bardziej złożonego wstępnego przetwarzania sygnału i do stosowania bardziej zaawansowanych technik rozpoznawania obrazów PARC (*ang.* Pattern Recognition) do realizacji procesu wieloetapowego formowania końcowego sygnału pomiarowego e-nosa. Inteligentniejszy elektroniczny nos może wykorzystywać bardziej zaawansowane metody ANN, które oscylują w czasie rzeczywistym (w przeciwieństwie do MLP które są statyczne). Do zalet bardziej ‘inteligentnego’ e-nosa należy:

- zredukowana wrażliwość na temperaturę,
- zredukowana wrażliwość na wilgoć,
- zredukowana interferencja z innymi gazami,
- diagnostyka zatruć warstwy czujnikowej.

Wobec faktu, że urządzenia mikroelektroniczne stają się tańsze i bardziej wydajne, koszty ogólne stanowiące barierę dla badań ANN w przeszłości [31], nie są już tak poważnym problemem, a więc "inteligentny nos" może wkrótce stać się rzeczywistością.

Przegląd międzynarodowych badań dotyczących monitorowania jakości powietrza w pomieszczeniach podsumowano w literaturze [1-9]. Prace [10-13] rzucają nowe światło na teorię olfaktometrii zapachów emitowanych przez mieszaniny.

Tabela 1. Metody oceny złych zapachów we wnętrzach

Metody stacjonarne (oficjalne)		Nazwa metody	Wynik w jednostkach	Uwagi
	Metody olfaktometryczne	Indoor air - Determination of odour emissions from building products (odour perceived intensity or sensory acceptance of odour) EN ISO 16000-28: 2012	0÷15 pi intensywność zapachu; od +1 do -1 akceptowalność	Metoda sensorycznego badania poziomu akceptowalności odoru obowiązująca w laboratoriach akredytowanych (notyfikowanych) w UE
		Oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej PN-EN 13725: 2007 (z użyciem europejskiego wzorca zapachu EROM)	stężenie zapachowe w ou/m^3 lub ou_E /m^3	Precyzja pomiarów olfaktometrem dynamicznym jest kontrolowana w programie badań międzylaboratoryjnych UE i USA
	Metody analizy instrumentalnej	GC-MS oraz inne techniki łączone jak GC-MS/MS, GCxGC-MS czy GC-TOF-MS; lub zaopatrzone w porty olfaktometryczne metody GC-MS-O oraz GCxGC-O Spektrometry masowe PTR-MS Spektrometry ruchliwości jonów IMS np: MCC-UV-IMS Analizatory w podczewieni NDIR Analizatory fotoakustyczne PAS	stężenie masowe odoranta w próbce powietrza w $\mu g/m^3$	Nie mierzą poziomu zanieczyszczenia powietrza odorantem w czasie rzeczywistym.
Elektroniczne nosy, e-nosy	Przyrządy przenośne	Czujniki typu MOS oraz MOSFET	stężenie masowe odoranta w próbce powietrza w $\mu g/m^3$	Układ e-nosa, który współpracuje z ANN lub inną metodą uczącą się stosowaną jako klasyfikator, można wywzorcować w jednostkach intensywności zapachu OI, lub w jednostkach stężenia zapachowego ou/m^3 albo ou_E /m^3
		Chemorezystory CP		
		Czujniki piezoelektryczne QCM		
		Czujniki typu SAW		
		Czujniki elektrochemiczne EC		

Tabela 2. Dopuszczalne poziomy stężenia substancji niebezpiecznych, uciążliwych zapachowo, występujących w powietrzu wewnątrz wg zaleceń WHO [a] popartych wynikami programu badawczego Kom. Eur. [b], oraz wg norm PN-EN i rozporządzeń ministerstw [c], [d]; przykład dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń przyjmowanych do certyfikacji budynków biurowych w Hong Kong`u, wg procedury certyfikacji wydanej w 2003 r., zaktualizowanej w 2018 r. [e]

Zanieczyszczenie	WHO Guidelines for IAQ 2017 [a]; WHO IAQ Household 2014 – wartości aktualne i zalecane	Kom. Eur. 2004 [b] Proj. Bad. INDEX	PN-EN ISO 16000-1 PN-EN 15251:2007	projekt Rozp. Min. Zdrowia, 2008, [c] Rozp. Min. Pracy, 2017; NDS - (8 h) [d]	IAQ Cert. Scheme for Offices, Hong Kong 2018 (8 h) [e]
Ditlenek węgla			< 500 ppm nadmiaru do warunków zewn.	9000 mg/m^3 (8h)	< 1000 ppmv
Tlenek węgla	15 min – 100 mg/m^3 60 min – 35 mg/m^3 8 hours – 10 mg/m^3 24 hours – 7 mg/m^3	19 mg/m^3 (8 h)	100 ppm [15 min] 60 ppm [30 min] 30 ppm [1 h] 10 ppm [8 h]	3 mg/m^3 (24h) 10 mg/m^3 (30 min) 23 mg/m^3 (8h)	10 mg/m^3
Formaldehyd (zapach ostry)	0,1 mg/m^3 [30 min]	0,03 mg/m^3 [30 min]	0,1 mg/m^3 [30 min]	20 $\mu g/m^3$ 0,5 mg/m^3	< 0,1 mg/m^3

Benzen* (aromatyczny, słabo słodki)	> 0,17µg/m ³ ryzyko zachorowania na białaczkę	< stężenia na zewnątrz budynku		5µg/m ³ 1600 µg/m ³	16,1µg/m ³
Ditlenek azotu (zapach ostry, cierpki, drażniący)	40 µg/m ³ [1 rok] 200 µg/m ³ [1h]	40 µg/m ³ [1 tydzień]	40 µg/m ³ [1 rok] 200 µg/m ³ [1 h]	700 µg/m ³ [8h]	150 µg/m ³
Naftalen (ostry)	0.01 mg/m ³ (1 rok)	0,01 mg/m ³ (1 rok)		0.05 mg/m ³ 20 mg/m ³	
Trichloroeten (zapach słodki)	> 2,3 µg/m ³ ryzyko zachorowania na raka wątroby			0,1 mg/m ³ 50 mg/m ³	770 µg/m ³
Tetrachloroeten (zapach słodki, kwiatowy)	0,25 mg/m ³ (1 rok)		0,25 mg/m ³ (1 rok)	0,15 mg/m ³ 85 mg/m ³	0,25 mg/m ³
PAH ** (bez poziomu bezpiecznego)	> 0,012 ng/m ³ ryzyko zachorowania na raka płuc			2 µg/m ³ [8h] benzo[a]pirenu	
TVOC ***					600 µg/m ³
mVOC ****	50-500 ng/m ³				

* bez poziomu bezpiecznego, ** węglowodory aromatyczne cykliczne *** dokument przewiduje w nowych budynkach biurowych dodatkowe badania certyfikujące TVOC przez oznaczanie (na poziomie ppbv) zawartości czterochloru węgla, chloroformu, 1,2- oraz 1,4-dichlorobenzenu, etylobenzenu, toluenu oraz o-, m-, p - ksylenów. **** szacowana wartość stężeń granicznych wg Lorenz i in. [15]

a - Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future. WHO Regional Office for Europe; 2017

b - The INDEX project. Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU. Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, Italy, Ispra 2004

c - Projekt Rozporządzenia Ministra Zdrowia z 5 maja 2008 r. w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia wydzielanych przez materiały budowlane, urządzenia i elementy wyposażenia w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi <http://www.mz.gov.pl/>

d - Załącznik do obwieszczenia Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 7 czerwca 2017 r. (Dz. U. z 7 lipca 2017 r. poz.1348)

e - A Guide on Indoor Air Quality Certification Scheme for Offices and Public Places. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. IAQ Management Group. Sept 2003; Supplement – February 2018.

5. LOTNE ZWIĄZKI ORGANICZNE POCHODZENIA MIKROBIOLOGICZNEGO – MVOC

Lotne związki organiczne pochodzenia mikrobiologicznego (*ang.* *mVOC*) to metabolity o niewielkiej masie cząsteczkowej uwalniane do powietrza na wszystkich etapach aktywności życiowej grzybów i bakterii. Nadmierna wilgotność otoczenia czy materiałów, które porastają (np. materiałów budowlanych) wspomaga ich wzrost. Związki mVOC są odpowiedzialne m. in. za charakterystyczny zapach pleśni typu stęchłego. Różnorodność mVOC jest duża (szacowana na kilkaset związków). mVOC są zróżnicowaną grupą związków chemicznych pod względem polarności, struktury chemicznej czy zakresów stężeń w jakich występują (niejednokrotnie obejmuje dwa czy nawet trzy rzędy wielkości). Związki te należą do kilku podstawowych grup jakimi są węglowodory alifatyczne i aromatyczne, alkohole, kwasy tłuszczowe i ich pochodne, aldehydy, ketony, terpeny i pochodne terpenowe, etery i estry.

mVOC są produktami metabolizmu pierwotnego i wtórnego grzybów i bakterii. W metabolizmie pierwotnym organizmy wytwarzają mVOC jako produkty uboczne pochodzące z rozkładu żywności dostępnej w środowisku w celu syntezy DNA, aminokwasów i kwasów tłuszczowych. Dzięki temu, mogą one zaopatrywać w energię swoje struktury komórkowe, umożliwiając tym samym wzrost, rozwój oraz reprodukcję. Liczba metabolitów pierwotnych jest stosunkowo niewielka, a ich biosynteza dobrze poznana. Z kolei, wtórny metabolizm obejmuje związki chemiczne, które mogą być niezbędne do przetrwania w środowisku i radzenia sobie z różnymi zagrożeniami. Metabolity wtórne odgrywają kluczową rolę w komunikacji pomiędzy

organizmem a otoczeniem oraz w pełnieniu funkcji adaptacyjnych i są unikalne dla poszczególnych rodzin i gatunków. Wiele z nich ma złożoną i rozgałęzioną drogę biosyntezy [13].

Zgodnie z raportem WHO [14] ilość drobnoustrojów w powietrzu wewnętrznym mieści się z zakresie $10^1 - 10^4$ jednostek tworzących kolonię na 1 m³ powietrza [CFU/m³], przy czym stężenie w powietrzu wydzielanych przez nich mVOC mieści się średnio w przedziale od kilku do kilkuset ng/m³ [15]. Według raportu WHO istnieje duże prawdopodobieństwo, że intensywność zapachu charakterystycznego dla mVOC (na przykład zapachy ziemiste, stęchlizny, owocowe lub grzybopodobne) odpowiada za ogólny zapach budynku. Wiele światowych komitetów pracuje nad ujednoczeniem postaci wskaźnika IAQ (*ang.* Indoor Air Quality) i przyjęciem poziomu intensywności zapachu emitowanego przez mVOC jako wskaźnika jakości powietrza odczuwanego przez ludzi [16].

6. MVOC WE WNĘTRZACH

Stężenia mVOC wydają się być wyższe w środowiskach wewnętrznych z tego powodu, że miejsca te pozostają zamknięte, a wskaźniki ich wentylacji są niższe w porównaniu do warunków zewnętrznych [17]. Narażenie na działanie grzybów (pomimo braku toksycznych stężeń mVOC) zostało powiązane z szeregiem niekorzystnych skutków zdrowotnych i szeroko opisane w literaturze przedmiotowej [18-20].

Według obecnego stanu wiedzy tylko niewielka liczba mVOC może być przypisana do konkretnych rodzajów, a jeszcze rzadziej do poziomów stężeń w powietrzu poszczególnych gatunków drobnoustrojów. Niemniej jednak, mVOC specyficzne dla danych gatunków emiterów mają potencjał do wykorzystania jako markery selektywnego

wykrywania gatunków grzybów i bakterii w badanym środowisku. Profil emisji mVOC z gatunku rosnącego na danym materiale jest jego indywidualną cechą i zazwyczaj nie zależy od rodzaju materiału, który porasta [21,22].

Niektóre mVOC takie jak 1-okten-3-ol, 2-heksanon, 3-metylo-1-butanol czy 3-metylofuran są emitowane przez wszystkie mikroorganizmy [15]. mVOC takie jak 3-oktanol czy kamfen są emitowane tylko przez grzyby, natomiast 3-metylo-2-butanol, geosmina, borneol, 2-metyloizobbenol i 2-izopropyl-3-metoksyprazynę są wydzielane wyłącznie przez bakterie [15]. Podczas identyfikacji mVOC mogą pojawić się niejednoznaczności wynikające ze źródła ich pochodzenia. Np. terpeny, metylofurany czy alkohole obecne w pomieszczeniach wewnętrznych mogą mieć pochodzenie mikrobiologiczne, ale mogą być również emitowane z drewna, materiałów budowlanych [23] albo pochodzić z chemikaliów takich jak kosmetyki czy produkty czyszczące.

7. METODY POBORU PRÓBEK POWIETRZA WNEŹRZ ZANIECZYSZCZONYCH PRZEZ MVOC

Najczęściej stosowane metody i techniki analityczne służące do poboru mVOC to: przepuszczanie próbek powietrza przez stały sorbent umieszczony w stalowej lub szklanej rurce; mikroekstrakcja do fazy stałej - SPME ; zasysanie próbek powietrza przez roztwór wodny w szklanych płuczkach (*ang.* impingers) czy dyfuzyjny pobór przy pomocy filtrów; przy czym dwie ostatnie techniki wymagają późniejszych etapów ekstrakcji [24]. Zaletą techniki SPME jest możliwość poboru próbek za pomocą włókna bezpośrednio z powierzchni emitującej co pozwala na zredukowanie wpływu emisji związków z otoczenia. Z kolei, zaletą rurek do termodesorpcji ze stałym złożem sorpcyjnym jest to, że pobrane próbki powietrza nie wymagają żadnego przygotowania.

Dane literaturowe wskazują, że metoda ze złożem adsorbenta jest wielokrotnie bardziej czuła niż technika ekstrakcji rozpuszczalnikiem [24, 25]. Metoda aspiracyjnego zasysania (pobór próbki w sposób aktywny) bądź ekspozycja adsorbenta w powietrzu badanego pomieszczenia (pobór próbki w sposób pasywny) przez rurkę sorpcyjną pozwala na przeniesienie próbki, natomiast metoda chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrem mas z zastosowaniem desorpcji termicznej (TDS-GC-MS) służy do detekcji mVOC. Metoda GC-MS oraz inne techniki łączone jak GC-MS/MS, GCxGC-MS czy GC-TOF-MS są bardzo precyzyjne i posiadają niskie granice oznaczalności LOQ (*ang.* Limit of Quantification) pozwalające oznaczyć badane związki w sposób jakościowy i ilościowy, nawet przy niskich stężeniach próbek i w przypadku złożonych matryc środowiskowych. Do wstępnego zateżenia mVOC o spodziewanym małym stężeniu służy pułapka-wymrażacz wypełniona sorbentem. Proces oznaczania mVOC poprzedza wzorcowanie aparatury analitycznej ciekłymi mieszaninami czystych związków. Do wstępnej interpretacji otrzymanych wyników używa się atlasów widm masowych.

Najczęściej stosowanymi sorbentami są Tenax®, Tenax®-Carbotrap, Carbopack B [26,27] lub rurki wypełnione węglem aktywowanym Anasorb® [15,28] umożliwiające zebranie bardzo lotnych mVOC kosztem dłuższego czasu poboru próbek. W celu zebrania pełnego profilu mVOC zaleca się stosowanie rurek sorpcyjnych z

różnymi sorbentami [27] o różnych zdolnościach adsorpcyjnych oraz różnej selektywności.

8. WNIOSKI KOŃCOWE

Metodyki przedstawione w opublikowanych badaniach są bardzo zróżnicowane, począwszy od czasu pobierania próbek (od kilku minut do 2 dni), prędkości przepływu powietrza lub różnic w urządzeniach do poboru próbek. Z tych wszystkich powodów porównywanie danych z różnych metod stanowi duże wyzwanie.

Ryzyko narażenia człowieka na mVOC jest wciąż trudne do oszacowania w czasie rzeczywistym. Nie ma jeszcze szybkiej i przenośnej techniki, która umożliwi szybkie wykrywanie i analizę mVOC na miejscu potencjalnego niebezpieczeństwa [24]. Lorenz i in. [15] przyjęli założenie, że źródłem zanieczyszczenia mikrobiologicznego jest sytuacja, w której 1-okten-3-ol, disiarczek dimetylu albo 3-metylofuran występuje w stężeniu powyżej 50 ng m^{-3} , jak również sytuacja, gdy suma stężeń ośmiu wskazanych w pracy [15], powszechnie występujących mVOC, jest równa lub przekracza 500 ng m^{-3} .

Dąży się do opracowania szybkiej i powtarzalnej metody poboru mVOC oraz ich identyfikacji na podstawie znormalizowanej bazy najpowszechniej występujących mVOC. W ostatnich latach powstała baza danych zawierająca około 2000 związków z prawie 1000 gatunków. Ogólnodostępna baza danych o nazwie mVOC 2.0 [29,30] zawiera np. wyszukiwarkę widm masowych, która umożliwia szybkie porównanie tych widm w celu identyfikacji związków.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Szulczyński B., Gębicki J.: Currently Commercially Available Chemical Sensors Employed for Detection of Volatile Organic Compounds in Outdoor and Indoor Air. *Environments* 2017, 4, 21.
2. Szulczyński B., Namieśnik J., Gębicki J.: Determination of Odour Interactions of Three-Component Gas Mixtures Using an Electronic nose *Sensors* 2017, 17, 2380.
3. Szulczyński B., Wasilewski T., Wojnowski W., Majchrzak T., Dymerski T., Namieśnik J., Gębicki J.: Different Ways to Apply a Measurement Instrument of E-Nose Type to Evaluate Ambient Air Quality with Respect to Odour Nuisance in a Vicinity of Municipal Processing Plants. *Sensors* 2017, 17, 2671.
4. Brattoli M., Gennaro G., Pinto V., Demarinis Loiotile A., Lovascio S., Penza M.: Odour Detection Methods: Olfactometry and Chemical Sensors. *Sensors* 2011, 11, 5290.
5. Borghi F., Spinazzè A., Rovelli S., Campagnolo D., Del Buono L., Cattaneo A., Cavallo D.M.: Miniaturized Monitors for Assessment of Exposure to Air Pollutants: A Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14, 909.
6. Zalejska-Jonsson A., Wilhelmsson M.: Impact of perceived indoor environment quality on overall satisfaction in Swedish dwellings. *Building and Environment* 2013, 63, 134.
7. Eusebio L., Derudi M., Capelli L., Nano G., Sironi S.: Assessment of the Indoor Odour Impact in a Naturally Ventilated Room. *Sensors* 2017, 17, 778.

8. Henshawa P., Nicell J., Sikdar A.: Parameters for the assessment of odour impacts on communities. *Atmospheric Environment* 2006, 40, 1016.
9. Szulczyński B., Armiński K., Namieśnik J., Gębicki J.: Determination of Odour Interactions in Gaseous Mixtures Using Electronic Nose Methods with Artificial Neural Networks. *Sensors* 2018, 18, 519.
10. Marasco A., De Paris A., Migliore M.: Predicting the response of olfactory sensory neurons to odor mixtures from single odor response. *Sci. Rep.* 2016 6, 24091.
11. Furton K.G., Caraballo N.I., Cerreta M.M., Holness H.K.: Advances in the use of odour as forensic evidence through optimizing and standardizing instruments and canines. *Phil. Trans. R. Soc. B* 2015, 370.
12. Mainland J. D., Li Y. R., Zhou T., Wen Ling L. Liu, Matsunami H.: Human olfactory receptor responses to odorants. *Sci. Data* 2015.
13. Korpi A., Jarnberg J., Pasanen A.L.: Microbial Volatile Organic Compounds. *Critical Reviews in Toxicology* 2009, 39, 139-193.
14. WHO: Biological Agents In Indoor Environmental Assessment of Health Risks. Edited by Nevalainen A., Morawska L. Queensland University of Technology, Australia, Brisbane, 2009.
15. Lorenz W., Diederich T., Conrad M.: Practical experiences with MVOC as an indicator for microbial growth, *Proc. Indoor Air* 2002, 341-346.
16. Kostyko K., Wargocki P.: Pomiary zapachów i odczuwalnej jakości powietrza w pomieszczeniach, Prace Naukowe ITB, Warszawa, 2012.
17. Ström G., West J., Wessen B., Palmgren U.: Quantitative analysis of microbial volatiles in damp Swedish houses, *Heal. Implic. Fungi Indoor Environ.* 1994, 1, 291-305.
18. Karvala K, Toskala E, Luukkonen R, Lappalainen S, Uitti J, Nordman H.: New-onset adult asthma in relation to damp and moldy workplaces. *Int Arch Occup Environ Health* 2010, 83, 855–865.
19. Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D.: Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects *Ann Occup Hyg.* 2003, 47(3), 187-200.
20. Godish D., Godish T., Hooper B., Panter C., Cole M., Hooper M.: Airborne mould and bacteria levels in selected houses in the Latrobe Valley, Proceedings of Indoor Air'93, Vol. 4, Australia, Victoria, 1993.
21. Bos L.D.J., Sterk P.J., Schultz M.J.: Volatile metabolites of pathogens: a systematic review, *PLoS Pathog.* 2013, 9, 1-8.
22. Sawoszczuk T, Syguła-Cholewińska J, del Hoyo-Meléndez JM: Optimization of headspace solid phase microextraction for the analysis of microbial volatile organic compounds emitted by fungi: Application to historical objects. *J Chromatogr A.* 2015, 1409, 30-45.
23. Kuske M., Romain A.C., Nicolas J.: Microbial volatile organic compounds as indicators of fungi. Can an electronic nose detect fungi in indoor environments? *Build. Environ* 2005, 40 824-831.
24. Garcia-Alcega S., Ahmad Nasir Z., Ferguson R., Whitby C., Dumbrell A.J., Colbeck I., Gomes D., Tyrrel S., Coulon F.: Fingerprinting outdoor air environment using microbial volatile organic compounds (MVOCs) - A review *Trends in Analytical Chemistry* 2017, 86, 75-83.
25. Siddiquee S., Azad S. Al, Bakar F.A., Naher L., Kumar S.V.: Separation and identification of hydrocarbons and other volatile compounds from cultures of *Aspergillus niger* by GC-MS using two different capillary columns and solvents, *J. Saudi Chem. Soc.* 2015, 19, 243-256.
26. Claeson A., Levin J., Blomquist G., Sunesson A.: Volatile metabolites from microorganisms grown on humid building materials and synthetic media, *J. Environ. Monit.* 2002, 4, 667-672.
27. Gallego E., Roca F.J., Perales J.F., Guardino X.: Comparative study of the adsorption performance of a multi-sorbent bed (Carbotrap, Carbopack X, Carboxen 569) and a Tenax TA adsorbent tube for the analysis of volatile organic compounds (VOCs), *Talanta* 2010, 81, 916-924.
28. Matysik S., Herbarth O., Mueller A.: Determination of microbial volatile organic compounds (MVOCs) by passive sampling onto charcoal sorbents, *Chemosphere* 2009, 76, 114-119.
29. <http://bioinformatics.charite.de/mvoc>
30. Lemfack M.C., Gohlke B.O, Toguem S.M.T., Preissner S., Piechulla B., Preissner R.: mVOC 2.0: a database of microbial volatiles *Nucleic Acids Res.* 2018, 46, 1261-1265.
31. Kośmider J.: Intensywność zapachu. Prawa psychofizyczne i sztuczne sieci neuronowe. Raport z realizacji projektu badawczego. Politechnika Szczecińska, Szczecin 2007.

TRENDS IN ODOUR MEASUREMENTS AND DETERMINING MVOC CONTENT IN THE INTERIORS OF BUILDINGS

The work summarizes contemporary techniques for odour measurements as well as permissible levels of concentrations of odorous substances occurring in the interiors of buildings. Microbial volatile organic compounds which are responsible for various smells have been characterized. The most suitable techniques for sampling and MVOC chemical characterization in indoor environments were reviewed. The olfactometric techniques are discussed and the strong and weak points of odour assessment through human detection are highlighted. Particular attention was paid to electronic noses, which are increasingly common, often portable, devices for monitoring the concentration of odorants providing real-time analysis.

Keywords: odorant, indoor air quality (IAQ), microbial volatile organic compounds (mVOC).