

ROZDZIAŁ 25 JAKOŚĆ POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO – ANALITYKA I MONITORING

Bożena Zabiegała, Monika Partyka, Jacek Namieśnik
*Katedra Chemii Analitycznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska,
ul. G.Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk*

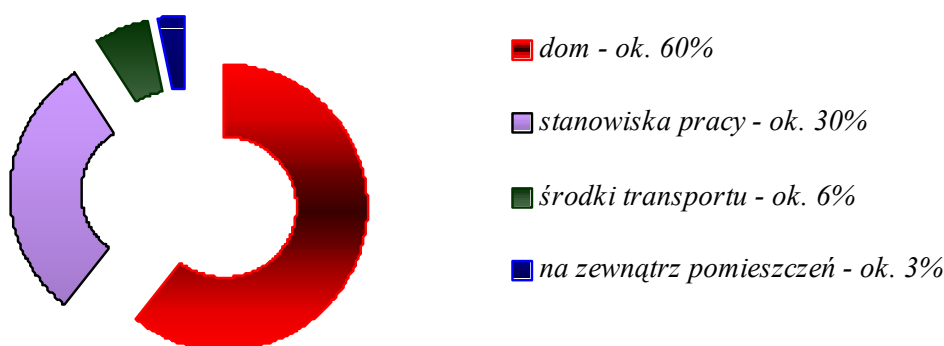
STRESZCZENIE

Jakość powietrza wewnętrznego jest istotnym parametrem wpływającym na dobre samopoczucie i zdrowie człowieka. Kluczowego znaczenia nabiera więc jego nieustanna kontrola i oznaczanie zawartości zanieczyszczeń, które występują w nim na różnych, często niskich i bardzo niskich poziomach stężeń. Do oceny jakości powietrza wewnętrznego wykorzystywana jest – obok innych technik izolacji i wzbogacania – technika dozymetrii pasywnej. Mimo że technika ta znana jest od ponad pół wieku, w literaturze wciąż pojawiają się doniesienia o nowych rozwiązaniach metodycznych i technicznych dozymetrów pasywnych, mogących znaleźć zastosowanie przy ocenie jakości powietrza.

1. WSTĘP

Wpływ czynników szkodliwych na ludzkie zdrowie i samopoczucie jest zagadnieniem, stanowiącym przedmiot zainteresowania wielu zespołów naukowców i lekarzy. Według wielu badaczy przyczyną złego samopoczucia i problemów zdrowotnych są najczęściej czynniki obecne w bezpośrednim otoczeniu człowieka, a więc w środowiskach, w jakich najczęściej on przebywa.

Jak wynika z danych literaturowych, dorosły człowiek przeciętnie spędza około 80% swojego czasu w pomieszczeniach zamkniętych [1-3]. W przypadku dzieci, osób chorych oraz starszych, okres ten jeszcze bardziej się wydłuża, powodując, że jednostki najmniej odporne, teoretycznie stają się najbardziej narażone na działanie – obecnych w powietrzu – szkodliwych czynników. Podział czasu, spędzanego w poszczególnych mikrośrodkach przez statystycznego dorosłego człowieka przedstawiono na rysunku 1 [4,5].



Rys. 1. Podział czasu, jaki człowiek spędza w poszczególnych środowiskach.

Powietrze wewnętrzne, czyli powietrze otaczające człowieka w pomieszczeniach zamkniętych, to swoisty mikroklimat, odmienny w składzie od powietrza atmosferycznego (powietrza zewnętrznego). Jest systemem dynamicznym, podlegającym zmianom- jakościowym i ilościowym- nawet w bardzo krótkim okresie czasu. Jakość powietrza wewnętrznego kształtowana jest przez wiele czynników, główne z nich to:

- wentylacja budynków,
- temperatura i wilgotność względna powietrza,
- fluktuacja emisji zanieczyszczeń ze źródeł endogennych,
- jakość powietrza zewnętrznego w bezpośrednim sąsiedztwie budynku.

Jakością powietrza wewnętrznego interesowano się od początków XX wieku. Początkowo przyjmowano generalnie, że zanieczyszczeniami wewnątrz pomieszczeń są tylko: ditlenek węgla, para wodna, nieprzyjemne zapachy, kurz, pył i mikroorganizmy, a jedynym źródłem toksycznych substancji jest powietrze zewnętrzne, skażone w wyniku działalności człowieka. Przeprowadzone badania wykazały jednak, że wiele związków organicznych i nieorganicznych, obecnych w powietrzu wewnętrznym występuje na poziomie wyższym niż w powietrzu zewnętrznym, co jednoznacznie sugerowało istnienie wewnętrznych (endogennych) źródeł zanieczyszczenia powietrza [6,7].

W roku 1982 Światowa Organizacja Zdrowia (*World Health Organization* – WHO) przedstawiła definicję pojęcia "syndromu chorych budynków" (ang. *Sick Building Syndrome* – SBS). Zgodnie z tą definicją, budynek można nazwać chorym, jeśli "20% jego użytkowników stwierdza, że przyczyną objawów złego samopoczucia jest budynek, tzn., że objawy chorobowe pojawiają się i nasilają tylko w czasie przebywania w tym budynku, zaś znikają prawie natychmiast po jego opuszczeniu" [8]. Chorym budynkiem nazywane jest więc pomieszczenie, w którym jego użytkownicy skarżą się na ogólne złe samopoczucie, przewlekłe bóle głowy, podrażnienia błon śluzowych oczu, nosa i gardła, stany uczuleniowe skóry, częste bóle głowy, zawroty, kłopoty z koncentracją, permanentne uczucie zmęczenia i ośpienia, problemy z układem oddechowym, pokarmowym, a w skrajnych przypadkach także z układem nerwowym. Schorzenia, które są następstwem przebywania w takim "chorym budynku" określa się pojęciem chorób związanych z budynkiem (ang. *Building Related Illness* – BRI). Inne powszechnie używane pojęcia, związane z syndromem chorych budynków to [9]:

- syndrom nadwrażliwości chemicznej (ang. *Chemical Hypersensitivity Syndrome* – CHS),
- choroby środowiskowe (ang. *Ecological, Environmental Illness* – EI),
- ból głowy wywołany truciznami środowiskowymi (ang. *Toxic Headache* – TH),
- choroby dwudziestego wieku (ang. *Twentieth Century Disease* – TCD).

Dotychczasowa wiedza na temat syndromu chorych budynków umożliwia opracowanie klasyfikacji najczęstszych przyczyn problemów zdrowotnych osób, zamieszkujących "chore pomieszczenia", co schematycznie zostało przedstawione na rysunku 2. Istotnym parametrem (wskaźnikiem) określającym jakość powietrza wewnętrznego może być poziom stężeń substancji obecnych w monitorowanym powietrzu. Do najczęściej monitorowanych związków w powietrzu wewnętrznym należą:

- lotne związki organiczne (ang. *Volatile Organic Compounds* – VOC), których zawartość określa się zarówno indywidualnie dla każdego związku jak również sumarycznie jako całkowitą zawartość lotnych związków organicznych (ang. *Total Volatile Organic Compounds* – TVOC),

- radon (izotop ^{222}Rn),
- pyły i aerozole,
- związki nieorganiczne takie jak: tlenki węgla, siarki i azotu,
- zanieczyszczenia biologiczne.

2. RODZAJE ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA WENĘTRZNEGO

Zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego podzielić można na trzy zasadnicze grupy:

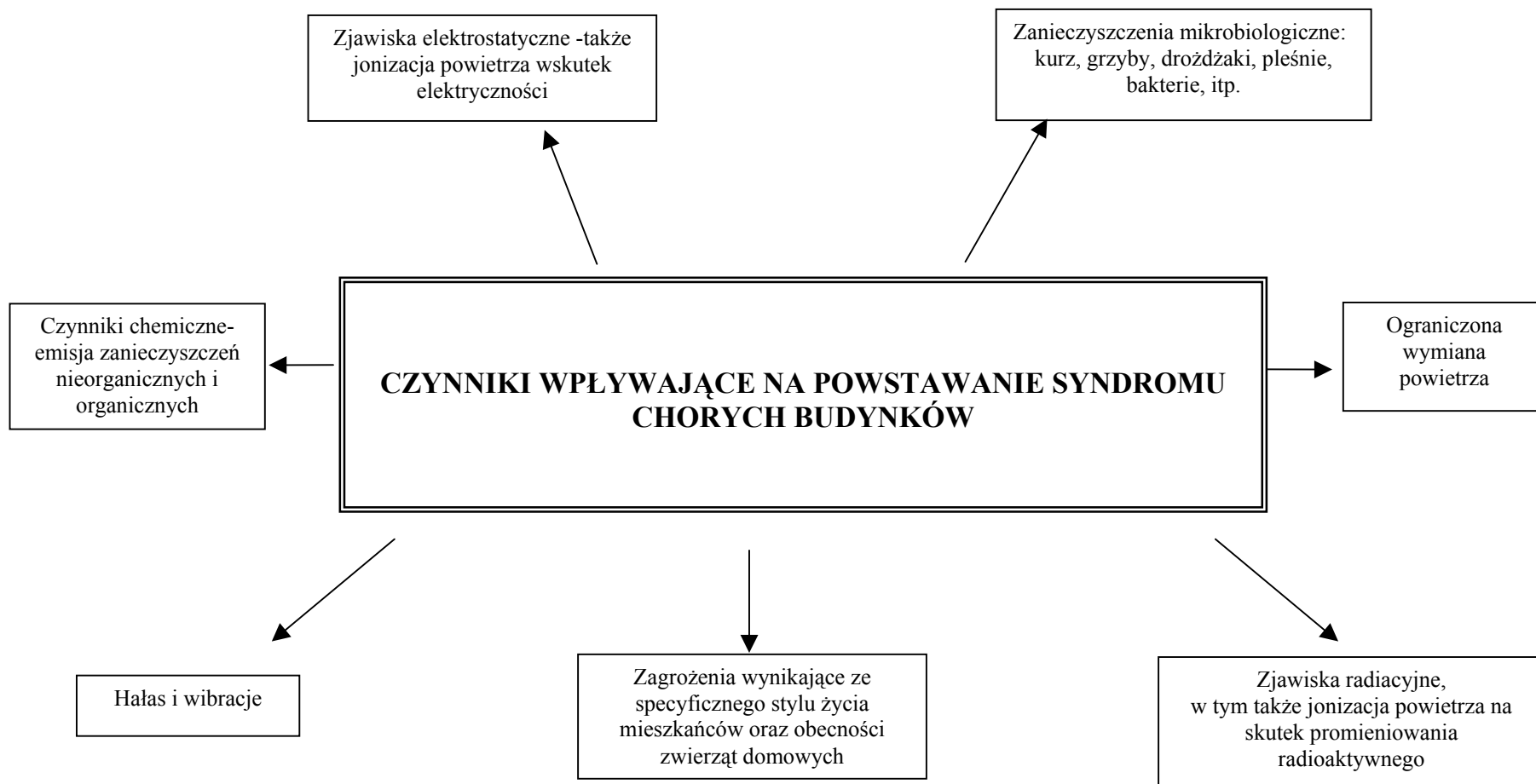
- zanieczyszczenia fizyczne,
- zanieczyszczenia chemiczne,
- zanieczyszczenia biologiczne.

Każda z tych grup niesie ze sobą inne zagrożenia, a konkretne zanieczyszczenia w zasadniczy sposób wpływają na jakość powietrza wewnętrznego. Informacje dotyczące podstawowych zanieczyszczeń obecnych w powietrzu wewnętrznym wraz z opisem ich potencjalnego wpływu na stan zdrowia ludzkiego przedstawiono w tabeli 1.

3. MONITORING I KONTROLA POZIOMU ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA WENĘTRZNEGO

Dbłość o jakość powietrza wewnętrznego w tzw. budynkach nieprzemysłowych w chwili obecnej staje się coraz bardziej powszechna. Przyczyn tego zjawiska można się dopatrywać zarówno we wzroście świadomości społeczeństwa o zagrożeniach płynących z obecności różnorodnych substancji w powietrzu wewnętrznym jak również, co wydaje się być bardziej istotne, z coraz większą dbałością producentów o jakość wytwarzanych produktów, zarówno producentów materiałów budowlanych jak i producentów elementów wyposażenia pomieszczeń. Dbłość ta przejawia się w stosowaniu nowoczesnych technologii, co związane jest z ograniczeniem stosowania rozpuszczalników organicznych na etapie produkcji, a w efekcie końcowym minimalizującą ilość związków organicznych emitowanych do powietrza wewnętrznego na etapie użytkowania wytworzonych produktów. Całkowite wyeliminowanie zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego jest jednak niemożliwe, dlatego też niezbędne jest ciągłe kontrolowanie jakości powietrza, w którym dorosły człowiek spędza około 90 % swojego życia. Proces ciągłej kontroli i monitoringu stanu powietrza wewnętrznego staje się zagadnieniem pierwszorzędnej wagi. Powody, dla których bada się jakość powietrza wewnętrznego mogą być różne, generalnie jednak badania oceny jakości powietrza wewnętrznego podejmuje się:

- jako odpowiedź na narzekania użytkowników pomieszczeń na złą jakość powietrza wewnętrznego objawiającą się np. wystąpieniem objawów związanych z tzw. syndromem chorych budynków; jakkolwiek użytkownicy pomieszczeń odczuwają tylko doraźne efekty (*sensory effects*), takie jak: nieprzyjemne zapachy, rozdrażnienie, podrażnienie śluzówek oczu i nosa lub ból głowy, podczas gdy dużo groźniejsze, długofalowe oddziaływania (systematyczne) nie są przez użytkowników pomieszczeń zauważane,
- jako część badań epidemiologicznych,
- w celu oceny skuteczności działań podjętych, aby poprawić jakości powietrza wewnętrznego,
- jako konieczność sprawdzenia czy określone parametry powietrza wewnętrznego (np. poziom stężenia lotnych związków organicznych) są zgodne z obowiązującymi przepisami prawnymi.



Rys. 2. Podział czynników wpływających na powstawanie i występowanie syndromu chorych budynków.

Tabela 1. Potencjalny wpływ zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego na ludzkie samopoczucie i zdrowie.

Typ zanieczyszczenia		Wpływ na zdrowie – możliwe zaburzenia	Odnosnik literaturowy
Zanieczyszczenia fizyczne	Hałas	Zaburzenia słuchu (przejściowy lub trwały ubytek słuchu) i skutki pozasłuchowe – znużenie lub pobudliwość, zmiany w centralnym układzie nerwowym (patologiczny zapis fal EEG, trudność w koncentracji, kłopoty w zapamiętywaniu, w uczeniu się, przerywanie myśli), zmiany w układzie krążenia (obniżenie częstości tętna, spadek lub podwyższenie ciśnienia tętniczego krwi), zmiany w układzie oddechowym(zwiększenie częstości oddechu, spadek objętości oddechowej, mniejsze zużycie tlenu), zmiany w układzie pokarmowym (zwiększenie częstotliwości pojawiania się wrzodów żołądka, dwunastnicy), zmiany w procesie przemiany materii, ból głowy, bezsenność.	[10]
	Wibracje	Uczucie zmęczenia, apatii, brak chęci do pracy, bóle i zawroty głowy, drętwienie i mrowienie kości, bezsenność, przy jednoczesnym rozdrażnieniu, a nawet agresji. Wibracje mogą powodować uszkodzenia układu kostnego, przede wszystkim stawów i dysków, przy dużym obciążeniu nawet pęknięcie kości i zmiżdżenie tkanek stawowych.	[10]
	Promieniowanie jonizujące	Działa mutagennie, powodując powstawanie uszkodzeń w DNA w wyniku bezpośredniego niszczenia cząsteczek kwasów nukleinowych oraz produkcji wolnych rodników.	[10]
	Promieniowanie elektromagnetyczne	Zaburzenia funkcjonowania układu wewnątrzwydzielniczego, zmiany błon śluzowych dróg oddechowych, zaburzenia snu, bóle głowy, brak koncentracji, problemy ze wzrokiem, zmiana ciśnienia krwi, zmiany poziomu hormonów oraz obrazu krwi (zachwianie stosunku białych i czerwonych krwinek), zmęczenie nieadekwatne do wysiłku.	[10]

Typ zanieczyszczenia		Wpływ na zdrowie – możliwe zaburzenia	Odnosińnik literaturowy
Zanieczyszczenia biologiczne	Kurz	Astma oskrzelowa, alergiczny całoroczny nieżyt nosa, alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych, pyłkowica (alergiczny sezonowy nieżyt nosa), pokrzywka, alergiczne zapalenie oskrzeli, wyprysk kontaktowy, alergiczne zapalenie spojówek; cząstki pochodzenia nieorganicznego w postaci pyłów i aerozoli mogą osadzać się w przewodzie oddechowym człowieka, powodując jego uszkodzenia, przewlekłe choroby, a nawet zmiany nowotworowe.	[11-15]
	Roztocza i saprofity, oraz produkty ich metabolizmu	Alergia, objawy całorocznego atopowego nieżyty błony śluzowej nosa.	[16,17]
	Pleśnie	Kaszel, napady kichania, pokrzywka, ostre zaburzenia oddychania i schorzenia alergiczne (alergiczny nieżyt nosa, alergiczne zapalenie spojówek, astma oskrzelowa, alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych), złe samopoczucie, czasem depresja.	[18,19]
	Mykotoksyny	Działanie kancerogenne, immunotoksyczne, neurotoksyczne, mutagenne i teratogenne.	[20]
	Bakterie typu <i>Legionella pneumophilis</i>	Ostra niewydolność płuc, często prowadząca do śmierci.	[21]

Typ zanieczyszczenia		Wpływ na zdrowie – możliwe zaburzenia	Odnosińnik literaturowy
Zanieczyszczenia chemiczne	Ditlenek azotu	Kaszel, ślinotok, katar, zaburzenia w oddychaniu, w większych stężeniach może nawet powodować uszkodzenie płuc i oskrzeli, a nawet prowadzić do śmierci.	[22,23]
	Ditlenek siarki	Podrażnienie błon śluzowych, stany zapalne dróg oddechowych, zapalenie oskrzeli oraz duszność.	[23,24]
	Amoniak	Miejscowe objawy podrażnienia błon śluzowych oczu, nosa i gardła, bóle głowy, wymioty, nudności, pieczenie za mostkiem, zapalenie tchawicy, kaszel z podrażnienia, duszność, przy wysokich stężeniach – oparzenie chemiczne.	[25]
	Tlenek węgla	Zablokowanie transportu tlenu do komórek (karboksyhemoglobina), zablokowanie niektórych układów enzymatycznych, zaburzenia układu nerwowego. Często następstwem ekspozycji na niskie, ale ciągłe stężenie tlenu węgla jest osłabienie kondycji organizmu, osłabienie spostrzegawczości oraz zwolnienie reakcji psychofizycznych.	[26]
	Ditlenek węgla	W wysokich stężeniach powoduje zakłócenia rytmu i głębokości oddechu, złe samopoczucie, bóle i zawroty głowy. Ciągła ekspozycja na podwyższone stężenie CO ₂ w powietrzu może być przyczyną nadciśnienia.	[10]
	Ozon	Powoduje uszkodzenie błon komórkowych wskutek tworzenia nadtlenu wodoru i krótkołańcuchowych aldehydów. Blokuję aktywność niektórych enzymów i zmniejsza efektywność oddychania komórkowego. W niewielkim stężeniu wywołuje kaszel, uczucie zmęczenia, bóle głowy, wzmożoną pobudliwość, podrażnienie oczu i zmniejszenie pojemności płuc. Przy długotrwałym narażeniu dochodzić może do zwłóknienia tkanki płucnej oraz zmniejszenia zdolności obronnych organizmu.	[10,27]

Typ zanieczyszczenia	Wpływ na zdrowie – możliwe zaburzenia	Odnosnik literaturowy
<p>Lotne zanieczyszczenia organiczne</p>	<p>Częste bóle i zawroty głowy (formaldehyd, tetrachloroetylen, polichlorowane bifenyle, nikotyna i jej pochodne), uczucie permanentnego zmęczenia i senności (tetrachloroetylen, chlorek winylu), podrażnienie błon śluzowych oczu, gardła, dróg oddechowych (formaldehyd, chlorek winylu, akroleina, aldehyd octowy, benzen), nadmierne pocenie się (tetrachloroetylen), uszkodzenie wątroby, nerek (tetrachloroetylen, polichlorowane bifenyle), układu nerwowego (benzen, toluen, styren, czterochlorek węgla), układu krwionośnego i limfatycznego (benzen, styren). W wyższych stężeniach mogą powodować obrzęk płuc czy astmę, a także zmiany skórne. Niektóre z lotnych związków organicznych (benzen, czterochlorek węgla, styren, tetrachloroetylen, <i>p</i>-dichlorobenzen, chlorek winylu, polichlorowane bifenyle, chloroform, naftaleny, fenol) mają udowodnione właściwości kancerogenne, teratogenne i genotoksyczne lub są podejrzewane o takie działanie na organizm człowieka w przypadku długotrwałej ekspozycji.</p>	<p>[23,27-30]</p>
<p>Środowiskowy dym tytoniowy (<i>Environmental Tobacco Smoke</i> – ETS)</p>	<p>Infekcje oddechowe, kaszel, pojawienie się flegmy, trudności z oddychaniem zwłaszcza u dzieci, upośledzenie wzrostu płuc u dzieci, podrażnienie błon śluzowych, rak płuc.</p>	<p>[23,31,32]</p>

Badania jakości powietrza wewnętrznego prowadzone są z różną intensywnością na całym świecie. Oprócz standardowych badań wykorzystujących znane i sprawdzone metody analityczne do oznaczania zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego stale prowadzone są prace nad doskonaleniem istniejących już technik i metodyk umożliwiających oznaczanie związków występujących w powietrzu wewnętrznym na coraz niższych poziomach stężeń. Tworzone są również nowe metodyki wychodzące naprzeciw pojawiającym się problemom związanym z obecnością w powietrzu wewnętrznym coraz to nowych związków.

W procesie monitoringu zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego istotnym zagadnieniem jest kontrola poziomu i źródeł emisji lotnych związków organicznych, które – według Światowej Organizacji Zdrowia – w głównej mierze podejrzewane są o wywoływanie syndromu chorych budynków. Poważnym źródłem zanieczyszczeń w użytkowanych pomieszczeniach są materiały budowlane i wyposażeniowe, będące źródłem ciągłej emisji stosunkowo niewielkich ilości lotnych związków organicznych. W tabeli 2 przedstawiono wykaz substancji, emitowanych z materiałów budowlanych i wykończeniowych.

Można wyróżnić dwie podstawowe grupy technik i metodyk analitycznych, wykorzystywanych w badaniach powietrza wewnętrznego:

- metodyki umożliwiające uzyskanie informacji analitycznej w miejscu pomiaru (*in-situ*),
- metodyki wymagające transportu próbki gazowej bądź też koncentratu analitów (próbki o odpowiednim stopniu wzbogacenia analitów) do laboratorium, gdzie prowadzone są dalsze prace prowadzące do uzyskania informacji analitycznej.

Ze względu na niskie, a często nawet i bardzo niskie, stężenia większości analitów obecnych w powietrzu wewnętrznym konieczne jest wykorzystanie odpowiednich procedur umożliwiających przeprowadzenie wzbogacenia analitów na etapie pobierania próbek. Coraz powszechniej na tym zakresie wykorzystywana jest technika dozymetrii pasywnej. Dodatkowo chcąc ocenić długofalowe oddziaływania zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego na użytkowników pomieszczeń niezbędne jest prowadzenie długoterminowego monitoringu. Również w tym zakresie dozymetria pasywna staje się techniką wyboru.

Tabela 2. Zanieczyszczenia emitowane przez niektóre materiały budowlane i wykończeniowe [13,33].

Źródło emisji	Emitowane zanieczyszczenia	
Farby i emalie	Węglowodory alifatyczne,	pentan, heptan, oktan, nonan, dekan, undekan, metylocykloheksan,
	węglowodory aromatyczne,	etylobenzen, toluen, o-, m-, p-ksylen,
	alkohole,	metylopropanol,
	estry,	octan metylu, octan dimetylu, octan butylu ,
	ketony,	formaldehyd, aceton, metylobutanon,
	terpeny.	pinen, karen.
Lakiery	Węglowodory alifatyczne,	heptan, oktan, tetrametylooktan, nonan, dekan, undekan, dimetyloheptan, trimetyloheptan, etylocykloheksan,

Źródło emisji	Emitowane zanieczyszczenia	
	węglowodory aromatyczne,	etylobenzen, toluen, o,m,p,-ksylen, propylobenzen, metyloetylobenzen, trimetylobenzen,
	alkohole,	etanol, izopropanol, butanol,
	estry,	octan butylu, propionian butylu, metakrylan metylu,
	aldehydy i ketony,	formaldehyd, aceton, izobutyloketon, 2-butanon.
Wykładziny podłogowe	Węglowodory alifatyczne,	dimetyloheptan, pentametyloheptan, dimetylononan, trimetylodekan,
	węglowodory aromatyczne,	etylobenzen, toluen,
	alkohole,	izopropanol, butanol, fenol, glikol propylenowy, butoxyetanol,
	estry, ketony.	octan etylu, octan butylu, formaldehyd, cykloheksanon.
Płyty styropianowe	Węglowodory alifatyczne,	pentan, metylobutan, 1-penten,
	węglowodory aromatyczne,	toluen, etylobenzen, styren,
	estry,	octan etylu,
	ketony.	formaldehyd, 2-butanon,
Tapety	Węglowodory aromatyczne,	toluen,
	ketony,	formaldehyd, aceton, 2-butanon.
Kleje	Węglowodory alifatyczne,	metylopentan, dimetylopentan, metyloheksan, heptan, cykloheksan, metylocykloheksan,
	węglowodory aromatyczne,	benzen, toluen, trimetylobenzen
	alkohole,	etanol, fenoksyetanol,
	estry,	octan metylu, octan etylu, octan winylu, ftalan dibutyli,
	ketony,	formaldehyd, aceton, 2-butanon,
	terpeny.	pinen, karen, limonen, kamfen.

4. WYKORZYSTANIE DOZYMETRÓW PASYWNYCH W BADANIACH JAKOŚCI POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

Zasada działania dozymetrów pasywnych oparta jest na wykorzystaniu zjawiska transportu masy, opisywanego przez I prawo dyfuzji Ficka. W przypadku pasywnych dozymetrów dyfuzyjnych transport analitów odbywa się na zasadzie swobodnej dyfuzji analitu przez warstwę gazu, natomiast w przypadku pasywnego dozymetru permeacyjnego – na zasadzie przenikania analitu przez półprzepuszczalną membranę. Zasadę działania dwóch typów dozymetrów pasywnych w sposób schematyczny przedstawiono w tabeli 3, zaś szczegółowy opis zasady działania dozymetrów pasywnych można znaleźć w dostępnej literaturze [5,7,26,34].

Dozymetria pasywna po raz pierwszy została wykorzystana w 1853 roku przez szwajcarskiego chemika Schönbeina. Dokonał on próby określenia obecności ozonu atmosferycznego używając paska bibuły nasączonego jodkiem potasu [35]. Do ponownego wykorzystania dozymetrii pasywnej doszło w 1927 roku, kiedy to zastosowano dozymetr pasywny do oznaczania tlenu węgla w powietrzu. Były to

jednak próby o charakterze póliłościowym. Właściwy rozwój techniki pasywnej, jako techniki wzbogacania analitów, datuje się jednak dopiero od roku 1973 [5]. Od tego czasu powstało wiele prac o charakterze monograficznym i przeglądowym; zaproponowano wiele rozwiązań konstrukcyjnych, umożliwiających izolacje i/lub wzbogacanie szerokiego spektrum analitów zarówno organicznych jak i nieorganicznych. Chronologiczne zestawienie najważniejszych rozwiązań metodycznych i konstrukcyjnych w zakresie dozymetrii pasywnej przedstawiono w tabeli 4. Trzeba jednak pamiętać, że w rozwoju techniki dozymetrii pasywnej było wiele rozwiązań konstrukcyjnych, a każde zastosowanie nowego medium sorpcyjnego czy drobne zmiany jakiegokolwiek elementu budowy było swoistym *novum*. Wiele z pomysłów było wykorzystanych jedynie na etapie doświadczeń laboratoryjnych, inne – wykorzystywane były (i są) przez wąską grupę naukowców. Istnieje też wiele rozwiązań konstrukcyjnych, specyficznych dla danego tylko ośrodka badawczego.

Tabela 3. Opis zasady działania dwóch podstawowych typów dozymetrów pasywnych

	Dozymetr pasywny dyfuzyjny	Dozymetr pasywny permeacyjny
Zjawisko wykorzystywane do transportu masy analitów.	Dyfuzja	Permeacja
Zasada działania dozymetru pasywnego.		
Równanie opisujące szybkość przenoszenia analitu w kierunku do medium zatrzymującego w dozymetrze.	$U = \frac{DA}{L}(C_0 - C)$ <p> <i>U</i> – dyfuzyjna szybkość przenoszenia [mol·s⁻¹] <i>A</i> – przekrój poprzeczny strefy dyfuzji [cm²] <i>D</i> – współczynnik dyfuzji danego składnika w powietrzu [cm²·s⁻¹] <i>C</i> – stężenie analitu wewnątrz strefy dyfuzji dozymetru [mol·cm⁻¹] <i>C</i>₀ – stężenie analitu w bezpośrednim sąsiedztwie dozymetru [mol·cm⁻¹] <i>L</i> – długość strefy dyfuzji [cm] </p>	$U = SA \frac{(p_1 - p_2)}{L_M}$ <p> <i>U</i> – dyfuzyjna szybkość przenoszenia [mol·s⁻¹] <i>A</i> – przekrój poprzeczny strefy dyfuzji [cm²] <i>S</i> – stała przenikalności (permeacji) związana z materiałem membrany [cm²·min⁻¹] <i>(p</i>₁<i>-p</i>₂<i>)</i> – różnica ciśnień cząstkowych analitu po obu stronach membrany <i>L</i>_M – grubość membrany [cm] </p>
Równanie opisujące	$M = U \cdot t$	

	Dozymetr pasywny dyfuzyjny	Dozymetr pasywny permeacyjny
ilość analitu zatrzymanego w medium zatrzymującym w dozymetrze (dla określonego czasu ekspozycji – t).	$M = \frac{DA}{L} C_0 t$	$M = \frac{SAa}{L_M} C_0 t$
Wyrażenie określające szybkość pobierania analitu z powietrza przez dozymetr pasywny	$\frac{DA}{L} = (SR)$ SR – (<i>Sampling Rate</i>) – szybkość pobierania analitów [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]	$k = \frac{L_M}{SAa}$ k – stała kalibracji [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]
Równanie pozwalające wyznaczyć stężenie analitu w powietrzu w trakcie ekspozycji dozymetru.	$C = \frac{(SR)M}{t}$	$C = \frac{kM}{t}$

Znanych jest wiele sposobów klasyfikacji dozymetrów pasywnych ze względu na konstrukcję, typ oznaczanego związku chemicznego, przeznaczenie, rodzaj stosowanego sorbentu czy zjawisko wykorzystywane na etapie izolacji i wzbogacania. Istotnym zagadnieniem jest dobór odpowiedniego medium, które warunkuje proces zatrzymywania analitów z badanego powietrza oraz umożliwia uzyskanie wysokiego stopnia selektywności pobieranej próbki. Przy wyborze odpowiedniej techniki należy się kierować:

- siłą oddziaływań między medium zatrzymującym a analitem,
- łatwością przeprowadzenia oznaczeń końcowych,
- dogodnością użycia sorbentu,
- kosztem i łatwością utylizacji zużytego sorbentu.

Stosowane są trzy rodzaje mediów jako wypełnienie pułapek do zatrzymywania analitów:

- sorbent stały,
- roztwór absorpcyjny oraz
- reagenty osadzone na odpowiednim nośniku.

Obecnie dozymetry zawierające sam sorbent są bardzo rzadko wykorzystywane, stosuje się raczej kombinacje konstrukcyjne – próbki, w których sorbent oddzielony jest porowatą lub nieporowatą membraną od monitorowanego medium. W przypadku sorbentów stałych często praktykuje się stosowanie kilku rodzajów sorbentów o różnej sile wiążącej anality, umożliwiającą poszerzenie spektrum związków analizowanych w monitorowanym medium. Należy jednak pamiętać, że wykorzystanie każdego z wyżej wymienionych typów mediów sorpcyjnych niesie ze sobą obok korzyści także i utrudnienia, zarówno na etapie wzbogacania, jak i uwalniania analitów. Efektem prac badawczych prowadzonych nad rozszerzeniem możliwości wykorzystania techniki dozymetrii pasywnej do oceny jakości powietrza jest mnogość różnych rozwiązań

konstrukcyjnych dozymetrów – dostępnych również komercyjnie. Wybrane handlowe próbniki pasywne zestawiono w tabeli 5, natomiast wygląd wybranych, dostępnych w handlu dozymetrów pasywnych przedstawiono na rysunku 3.

Proces wzbogacania analitów z fazy gazowej, czyli efektywność pracy dozymetru pasywnego, może zostać zakłócony przez wiele czynników fizyko-chemicznych. Z problemem tym można mieć do czynienia na wszystkich etapach użytkowania dozymetrów zaczynając od etapu przechowywania dozymetru poprzez ekspozycję, przechowywanie po ekspozycji, etap uwalniania zatrzymanych analitów. Dlatego też podczas ekspozycji dozymetru w warunkach rzeczywistych uwagę należy zwrócić na takie parametry, jak:

- temperatura, ciśnienie oraz wilgotność względna medium w którym prowadzony jest proces izolacji i wzbogacania analitów,
- ruch mas powietrza w bezpośrednim otoczeniu dozymetru,
- stopień nasycenia sorbentu (reagenta) stosowanego do wzbogacania,
- czas odpowiedzi dozymetru, czyli wrażliwość dozymetru na wahania stężenia podczas ekspozycji;
- możliwość występowania zjawiska dyfuzji wstecznej.

Istotna jest także powtarzalność i skuteczność operacji uwalniania uprzednio zatrzymanych w dozymetrze analitów przed ich oznaczeniem końcowym.

Najstarszą i najczęściej używaną techniką desorpcji analitów zatrzymywanych w dozymetrze pasywnym jest ekstrakcja w układzie ciało stałe-ciecz. W przypadku węgla aktywnego cieczą wykorzystywaną najczęściej jest disiarczek węgla – CS₂ [2,5,79-81,95], rzadziej wykorzystuje się ekstrakcję za pomocą acetonitrylu [96] lub przy użyciu toluenu [97]. W przypadku desorpcji rozpuszczalnikiem nie bez znaczenia jest czystość stosowanych cieczy – ze względu na możliwość interferencji konieczne jest stosowanie rozpuszczalników o wysokiej klasie czystości.

Problem przypadkowego zanieczyszczenia próbki podczas desorpcji nie ma miejsca w przypadku zastosowania desorpcji termicznej. Desorpcja termiczna może być stosowana w przypadku, gdy do zatrzymywania analitów używano polimerowych sorbentów takich jak *Tenax* [2,98], *Carbotrap* [91], *Chromosorb* [99] czy też *Carbopack* [96]. Każda z wybranych technik uwalniania analitów ma swoje wady i zalety – do zalet desorpcji termicznej zaliczyć można łatwą możliwość automatyzacji procesu i bezpośredniego podłączenia do analizatora (co w efekcie daje skrócenie czasu analizy), a także brak rozcieńczania próbki, zaś wady to możliwość termicznego rozkładu związków termicznie niestabilnych, możliwość strat związków trudno lotnych, niebezpieczeństwo degradacji termicznej złoża sorbentu oraz konieczność stosowania skomplikowanej aparatury, co podraża koszt całej analizy. W przypadku desorpcji przy użyciu rozpuszczalnika zaletą jest prostota i niski koszt stosowanej aparatury, możliwość stosowania do oznaczania związków trudno lotnych oraz możliwość powtórzenia oznaczeń, ale wadą jest toksyczność rozpuszczalników (zwłaszcza, jeżeli stosowany jest CS₂), wielość rozcieńczeń powodująca spadek czułości, obecność pasma rozpuszczalnika w analizie chromatograficznej i – oczywiście – pracochłonność.

W monitoringu jakości powietrza wewnętrznego dozymetry pasywne wykorzystywane są coraz częściej. W tabeli 6 zestawiono wybrane dozymetry pasywne (zarówno dostępne w handlu, jak i prototypy laboratoryjne), stosowane w analizie zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego wraz z krótką charakterystyką oraz wykorzystywanymi technikami oznaczeń końcowych analitów zatrzymanych w dozymetrze.

Tabela 4. Istotne wydarzenia w rozwoju techniki pasywnego pobierania próbek analitów z powietrza.

Nr	Rok	Charakterystyka	Komentarz	Lit
1.	1853	Wykrywanie obecności ozonu w powietrzu.	Oznaczenia o charakterze jakościowym – wykrywanie obecności ozonu w powietrzu atmosferycznym w wyniku ekspozycji bibuły nasączonej roztworem jodku potasu.	[35]
2.	1927	Pobieranie próbek tlenku węgla z powietrza.	Oznaczenia o charakterze ilościowym.	[36]
3.	1968	Pobieranie próbek hydrazyny z powietrza	Oznaczenia o charakterze ilościowym.	[37]
4.	1973	Pierwszy pasywny dozymetr dyfuzyjny służący do pobierania próbek tlenku azotu z powietrza.	Rurka Palmesa – dozymetr o budowie rurkowej z filmem acetonowego roztworu trietanolaminy (TEA) jako medium zatrzymującym (na siateczce ze stali nierdzewnej).	[38]
5.	1973	Pierwszy permeacyjny dozymetr pasywny służący do pobierania próbek tlenku siarki z powietrza.	<i>Reiszner-West-Badge</i> – dozymetr o budowie pudełkowej (<i>ang.</i> – <i>badge type</i>), z membraną silikonową jako barierą dyfuzyjną.	[39]
6.	1976	Konstrukcja pierwszego pudełkowego dozymetru dyfuzyjnego.	<i>Gasbadge Dosimeter</i> – dozymetr produkowany komercyjnie przez firmę Abcor.	[40]
7.	1977	Konstrukcja dozymetru pasywnego typu pudełkowego służącego do pobierania próbek rtęci z powietrza.	Pary rtęci przenikające przez warstwę dyfuzyjną ulegały adsorpcji na folii wykonanej ze złota.	[41]
8.	1980	Dozymetr pasywny do pobierania próbek NO ₂ , SO ₂ , O ₃ z powietrza atmosferycznego.	Próbnik <i>Yanagisawa-Nishimura</i> – stał się jednym z najbardziej popularnych pasywnych dozymetrów, wykorzystywanych w monitoringu zanieczyszczeń atmosfery.	[42]
9.	1980	Konstrukcja próbnika przeznaczonego do wzbogacania NO ₂ z powietrza atmosferycznego.	Dozymetr <i>Amaya-Sugiura</i> .	[43]

Nr	Rok	Charakterystyka	Komentarz	Lit
10.	1980	Konstrukcja pasywnego dozymetru typu pudełkowego (<i>Organic Vapor Monitor – OVM</i>), służącego do pobierania próbek lotnych związków organicznych z powietrza.	Dozometr – produkowany na dużą skalę przez koncern 3M – był rozwiązaniem innowacyjnym, gdyż umożliwił desorpcje analitów bezpośrednio w komorze dozymetru (specjalna konstrukcja dozymetru jest przeznaczona do dozowania rozpuszczalnika bezpośrednio do wnętrza dozymetru, bez konieczności przenoszenia medium sorpcyjnego do osobnego naczynia). W późniejszym czasie dozometr obustronnie otwarto, co pozwoliło na skrócenie czasu ekspozycji.	[44]
11.	1981	Wykorzystanie desorpcji termicznej na etapie uwalniania analitów zatrzymywanych w dozymetrze pasywnym (typu rurkowego).	Jednostronnie otwarty dozometr firmy <i>Perkin-Elmer</i> wypełniony sorbentem umożliwił ilościowe pobieranie próbek analitów z powietrza, a zastosowanie desorpcji termicznej umożliwiło uniezależnienie się od toksycznych rozpuszczalników. Jako sorbent wykorzystany został Porapak Q. Możliwe jest zastosowanie różnego typu sorbentów, co zwiększa zakres stosowalności tego typu dozymetrów.	[45]
12.	1981	Wprowadzenie do produkcji pudełkowego dozymetru pasywnego z bezpośrednim odczytem stężenia analitów.	Dozometr ten znalazł zastosowanie do określania ośmiogodzinnego średniego ważonego w czasie stężenia analitów w atmosferze na stanowiskach pracy.	[46]
13.	1981	Konstrukcja dozymetru pasywnego typu dyfuzyjnego z sorbentem węglowym, z dwoma strefami dyfuzji.	Zastosowanie takiej konstrukcji próbnika (dostępnego w handlu jako dozometr ORSA) pozwoliło na zwiększenie szybkości pobierania analitów.	[47]
14.	1982	Konstrukcja dozymetru pasywnego typu rurkowego z roztworem absorpcyjnym jako medium zatrzymującym.	Dozometr ten przeznaczony był do pobierania ditlenku siarki z powietrza atmosferycznego, jako medium sorpcyjne wykorzystano roztwór trietanolaminy (TEA).	[48]

Nr	Rok	Charakterystyka	Komentarz	Lit
15.	1982	Wprowadzenie permeacyjnego dozymetru pasywnego połączonego z rurką wskaźnikową.	Szlakana rurka wskaźnikowa połączona została z membraną z gumy silikonowej; wypełnieniem rurki było medium reakcyjne, zmieniające barwę pod wpływem reakcji z analitem. Stężenie analitu odczytywano na podstawie położenia czoła barwnej plamy i znaków kalibracyjnych na rurce.	[49]
16.	1984	Pierwszy dozymetr pasywny służący do pobierania próbek podtlenku azotu.	Dozymetr służący do monitoringu osobistego.	[50]
17.	1985	Konstrukcja pierwszego dozymetru pasywnego typu pudełkowego umożliwiającego przeprowadzenie termicznej desorpcji zatrzymanych analitów.	Konstrukcja dozymetru umożliwiła przeprowadzenie termicznej desorpcji analitów bezpośrednio z próbki. Konieczne jest jednak zastosowanie desorberów termicznych o specjalnej konstrukcji, co podraża koszt całej analizy.	[51]
18.	1986	Konstrukcja pierwszego dozymetru pasywnego do pobierania próbek formaldehydu z powietrza.	Dozymetr typu dyfuzyjnego; proces pobierania próbek formaldehydu z powietrza prowadzono przy użyciu filtrów szklanych impregnowanych za pomocą DNPH.	[52]
19.	1986	Modyfikacja próbki <i>Amaya-Sugiura</i> .	Modyfikacja umożliwiła zabezpieczenie operacji pobierania analitów przed wpływem niekorzystnych czynników atmosferycznych.	[53]
20.	1989	Konstrukcja dozymetru pasywnego typu rurkowego przeznaczonego do pobierania próbek lotnych związków organicznych z powietrza.	Wykorzystanie podwójnej warstwy dyfuzyjnej oraz dwóch typów sorbentów o różnej sile wiążącej anality pozwoliło na zwiększenie szybkości pobierania próbek analitów	[54]
21.	1990	Konstrukcja nowego typu dyfuzyjnego dozymetru pasywnego do pobierania próbek lotnych związków organicznych z powietrza.	Próbki <i>Analyst</i> zostały również wykorzystane do pobierania próbek średniolotnych związków organicznych (WWA) oraz został dostosowany do pobierania próbek tlenków azotu i ozonu.	[55]
22.	1990	Konstrukcja pasywnego dozymetru pudełkowego przeznaczonego do pobierania próbek amoniaku z powietrza atmosferycznego.	Dozymetr o nazwie <i>Willems Badge</i> – w późniejszym czasie konstrukcja próbki dostosowana została również do pobierania próbek tlenków azotu.	[56]

Nr	Rok	Charakterystyka	Komentarz	Lit
23.	1991	Konstrukcja dozymetru opracowanego przez Ferma.	Dozymetr, którego konstrukcja oparta jest na wykorzystaniu rurki Palmesa, wyposażono w porowatą membranę dla zapewnienia odpowiedniej warstwy dyfuzyjnej, wolnej od wpływu turbulencji powietrza.	[57]
24.	1993	Konstrukcja pasywnego dozymetru typu pudełkowego do pobierania próbek ozonu z powietrza atmosferycznego.	Produkowany na dużą skalę jako dozymetr <i>Ogawa PS</i> – obecne rozwiązania konstrukcyjne pozwalają na pobieranie za pomocą tego próbnika takich związków jak: tlenki azotu, ditlenek siarki, ozon.	[58,59]
25.	1995	Konstrukcja dozymetru pasywnego przeznaczonego do pobierania próbek pyłów z powietrza atmosferycznego.	Wypełnieniem dozymetru jest elektret – polaryzowany na stałe dielektryk mający charakter dipola elektrycznego o trwałym ładunku powierzchniowym.	[60]
26.	1996	Konstrukcja dyfuzyjnego dozymetru o geometrii radialnej.	Dozymetr <i>Radiello</i> – w zależności od zastosowanego sorbenta może być wykorzystywany w analityce różnego typu zanieczyszczeń powietrza. Radialna konstrukcja dozymetru w znaczący sposób zwiększa szybkość pobierania analitów, umożliwiając wydatne skrócenie czasu ekspozycji.	[61]
27.	2000	Nowe rozwiązanie konstrukcyjne w zakresie pobierania próbek średniolotnych związków organicznych z powietrza.	Dozymetr pasywny, oparty na pomysłu skonstruowania "sztucznego liścia", na którym osadzają się średniolotne związki organiczne, pozwala na połączenie korzyści płynących z wykorzystania elementów przyrody ożywionej z klasyczną techniką pasywnego wzbogacania.	[62]
28.	2001	Dostosowanie próbnika <i>Analyst</i> do pobierania próbek związków średniolotnych i trudnolotnych z matryc gazowych.	Zmiany konstrukcyjne, prowadzące do otwarcia próbnika z obu stron i zastosowania sorbentu dedykowanego związkom średnio- i trudnolotnym, pozwoliły na pobieranie wielopierścieniowych związków aromatycznych (WWA) z matrycy gazowej.	[63,64]

Tabela 5. Informacje o wykorzystaniu wybranych dozymetrów pasywnych w analityce zanieczyszczeń powietrza.

Typ dozymetru / Producent	Obszar zastosowania
Gas Badge Abcor [65-68]	Wykorzystywany w analityce lotnych związków organicznych w zakresie: - monitoringu indywidualnego, - monitoringu atmosfery, - kontroli jakości powietrza wewnętrznego.
PDS Porton Diffusion Sampler [69,70]	Stosowany jest do analityki średniolotnych związków organicznych w zakresie: - monitoringu indywidualnego, - monitoringu atmosfery.
Mini Monitor West Badge Reiszner [71-73]	Przeznaczony do analityki lotnych związków organicznych w zakresie: - monitoringu indywidualnego; - monitoringu atmosfery.
PSD MRC Monsanto Research Corporation [74-76]	Dozymetr przeznaczony do lotnych i średniolotnych związków organicznych w zakresie: - monitoringu indywidualnego, - monitorowania atmosfery, - kontroli jakości powietrza wewnętrznego.
ProTek G-AA, G-BB Du Pont [66,67]	Wykorzystywany w analityce lotnych związków organicznych do: - monitoringu indywidualnego, - monitoringu atmosfery.
OVM 3500 3M Company [66,67,77-81]	Dozymetr nie jest zalecany jako urządzenie do pobierania próbek węglowodorów o niskim ciężarze cząsteczkowym oraz dla amin i chlorku metylenu. Z dużym powodzeniem stosowany w analityce szeregu lotnych związków organicznych zakresie: - monitoringu indywidualnego, - kontroli jakości powietrza wewnętrznego.
GABIE Arelco, France [82]	Pudełkowy dozymetr przeznaczony do monitoringu lotnych związków organicznych w atmosferze przemysłowej.
Dyfuzyjny monitor Perkin Elmer [2,83-87]	Możliwe jest zwiększenie zakresu praktycznego wykorzystania dozymetru w wyniku zastosowania jako medium sorpcyjnego różnego rodzaju polimerów porowatych (Tenax TA, Tenax GC, Chromosorb 106, Carbopack X, itp.). Dozymetr może być wykorzystany do: - monitoringu indywidualnego, - kontroli jakości powietrza atmosferycznego, - kontroli jakości powietrza wewnętrznego.
ORSA 5 National Dräger [2,65,79,88,89]	Wykorzystywany głównie w analityce lotnych związków organicznych do: - monitoringu indywidualnego, - monitoringu atmosfery, - kontroli jakości powietrza wewnętrznego.
Ogawa PS Ogawa & Company [4,58,59,89,90]	Wykorzystywany do: - monitoringu atmosfery, - kontroli jakości powietrza wewnętrznego, w zakresie pobierania ozonu, tlenków azotu i tlenku siarki.
Radiello FS Maugeri, [91,92]	W zależności od rodzaju medium sorpcyjnego może być stosowany zarówno w analityce zanieczyszczeń organicznych, jak i nieorganicznych. Stosowany do: - kontroli jakości powietrza atmosferycznego, - monitoringu atmosfery przemysłowej, - kontroli jakości powietrza wewnętrznego.
Umex-100 SKC [93]	Stosowany do: - monitoringu powietrza wewnętrznego, - monitoringu indywidualnego.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Rys. 3. Wygląd wybranych dostępnych w handlu pasywnych dozymetrów wykorzystywanych w badaniach powietrza wewnętrznego (a) – dozymetr pasywny *Ogawa PS* (*Ogawa Company*) [59]; (b) – dozymetr pasywny *Radiello* (*FS Maugeri*) [93]; (c) – dozymetr pasywny *Orsa-5* (*National Dräger*) [94]; (d) – dozymetr pasywny *OVM 3500* (*3M Company*) [94]; (e) – dozymetr pasywny *Umex-100* (*SKC*) [93].

5. PODSUMOWANIE

Z jednej strony zamknięte pomieszczenie jest barierą chroniącą przed negatywnymi czynnikami środowiska zewnętrznego, zmiennymi warunkami pogodowymi – deszczem, wiatrem, niską lub wysoką temperaturą, z drugiej jednak strony – w zamkniętych wnętrzach następuje często kumulacja toksycznych związków organicznych i nieorganicznych, co nie pozostaje bez wpływu na ludzkie zdrowie. Warunki sprzyjające powstawaniu czynników chorobotwórczych mogą się pojawić zarówno na etapie budowy, jak i eksploatacji obiektu. Konieczna jest zatem nieustanna kontrola parametrów jakości powietrza wewnętrznego oraz świadomość istniejących zagrożeń.

Dozymetry pasywne nie mogą być traktowane jako uniwersalne urządzenia do pobierania próbek analitów z powietrza wewnętrznego. Na etapie doboru medium sorpcyjnego oraz podczas oznaczeń końcowych pojawia się wiele problemów. Jednak w związku z prostotą budowy, brakiem specjalnych wymogów odnośnie kwalifikacji personelu oraz wyeliminowaniem z zestawu aparaturowego uciążliwych urządzeń do pomiaru objętości pobieranej próbki cieszą się dużym zainteresowaniem i są bardzo często wykorzystywane w praktyce analitycznej.

Tabela 6. Charakterystyka wybranych dozymetrów wykorzystywanych w badaniach jakości powietrza wewnętrznego.

Dozymetr	Oznaczone zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego	Budowa	Sorbent/ Medium zatrzymujące	Technika oznaczeń końcowych
<i>OVM 3000, 3M Company</i> [95]	Lotne związki organiczne	Pudełkowy	Węgiel aktywny	Desorpcja za pomocą CS ₂ , GC-ECD-FID
<i>OVM 3500, 3M Company</i> [78-81,100]	Lotne związki organiczne	Pudełkowy	Węgiel aktywny	Desorpcja za pomocą CS ₂ , GC-ECD-FID
<i>ORSA 5, National Dräger</i> [79,101]	Lotne związki organiczne	Rurkowy	Węgiel aktywny	Desorpcja za pomocą CS ₂ , GC-ECD-FID, GC-MS
Dozymetr <i>Perkin-Elmer</i> [2]	Lotne związki organiczne	Rurkowy	Tenax TA, Tenax GR, Carbotrap, Chromosorb 106, Carbopack B	TD-GC-FID, TD-GC-ECD, TD-GC-MSD
Dozymetr <i>Ogawa PS (Ogawa & Company)</i> [4,89]	NO, NO ₂ , O ₃	Pudełkowy	O ₃ – azotyn sodu	Chromatografia jonowa (IC)
			NO ₂ – roztwór trietanolaminy	Spektrofotometria
Dozymetr dyfuzyjny [102]	NO ₂	Rurkowy	Roztwór trietanolaminy	Spektrofotometria
	SO ₂		Roztwór KOH	Chromatografia jonowa
Dozymetr ACC C-TEX [103]	Lotne związki organiczne	Pudełkowy	Pas tkaniny pokrytej węglem aktywnym	Desorpcja za pomocą CS ₂ , GC-MS, GC-FID
Dozymetr [104]	Nadtlenki	Rurkowy	Carbotrap – Carbotrap C	SFE-HPLC-MS
Dozymetr <i>Yanagisawa</i> [26]	Ozon	Pudełkowy	NaNO ₂ , Na ₂ CO ₃ , glikol etylenowy	Chromatografia jonowa (IC)
Dozymetr dyfuzyjny, <i>Shibata Scientific Technology</i> [97]	Lotne chlorowce organiczne	Rurkowy	Węgiel aktywny	Desorpcja za pomocą toluenu, GC-ECD

LITERATURA

- [1.] Wesolowski J. , *Ochrona Powietrza*, **1**, 1 (1992)
- [2.] Ilgen E. , Karfich N. , Levsen K. , Angerer J. , Schneider P. , Heirich J. , Wichmann H.E. , Dunemann L. i Begerow J. , *Atmos Environ*, **35**, 1235 (2001)
- [3.] Righi E. , Aggazzotti G. , Fantuzzi G. , Ciccarese V. i Predieri G. , *Sci Total Environ*, **286**, 41 (2002)
- [4.] Chan A.T. , *Atmos Environ*, **36**, 1543 (2002)
- [5.] Zabiegała B. , Przyjazny A. i Namieśnik J. , *J Environ Pathol Toxicol Oncol*, **18**, 47 (1999)
- [6.] Przyk E. , Zabiegała B. i Namieśnik J. , *Chem Inż Ekol*, **8**, 917(2001)
- [7.] Kozdroń-Zabiegała B. , Namieśnik J. i Przyjazny A. , *Indoor Environ*, **4**, 189 (1995)
- [8.] World Health Organization, *Indoor air pollutants: exposure and health effects. EURO Reports and Studies* 78, 1983, World Health Organization
- [9.] Deason J.P. , Tsongas T.A. i Cothorn C.R. , *Environ Engg and Policy*, **1**, 37 (1998)
- [10.] Siemiński Marek, *Środowiskowe zagrożenia zdrowia*, Wyd Naukowe PWN, Warszawa 2001
- [11.] <http://www.ruralfamilymedicine.org>
- [12.] Ahlert B. i Bayas N. , *Umwelt und Gesundheit*, **4**, 118 (1998)
- [13.] Kończalik J. , *Chemiczne zagrożenia zdrowia dzieci w środowisku pomieszczeń zamkniętych w Polsce*, X Konferencja Naukowa *Uwarunkowania środowiskowe zdrowia dzieci*, Legnica 2001, 17
- [14.] Møllhave L. , Schnaider T. , Kjærgaard S.K. , Larsen L. , Norn S. i Jørgensen O. , *Atmos Environ*, **34**, 4767 (2000)
- [15.] Morawska L. i Zhang J. , *Chemosphere* **49**, 1045 (2002)
- [16.] Szponar A. i Szponar B. , *Magazyn Instalatora*, **4**, 64 (2003)
- [17.] Sopol R. i Mincewicz G. , *Wybrane pojęcia z alergologii*, w: Kalinowski L. *Encyklopedia Badań Medycznych*, Wyd. Medyczne MAKmed, Gdańsk 1996
- [18.] Khan Z.U. , Khan M.A.Y. , Chandy R. i Scharma P.N. , *Mycophatologia*, **146**, 25 (1999)
- [19.] McGrath J.J. , Wong W.C. , Cooley J.D. i Straus D.C. , *Current Microbiology*, **38**, 33 (1999)
- [20.] Wilczyńska-Poźniak D. i Paszkiewicz M. , *SANEPID*, **4**, 10 (2002)
- [21.] Banga B. , *Magazyn Instalatora*, **6**, 70 (2003)
- [22.] Ross D. , *Environ Technol*, **17**, 147 (1996)
- [23.] WHO Publikations, *Air Quality Guidelines for Europe*, European Series No 91, WHO, Kopenhaga 2000
- [24.] Matheiu-Nolf M. , *Clinical Toxicology*, **40**, 483 (2002)
- [25.] Roadman M.J. , Scudlark J.R. , Meisinger J.J. i Ullman W.J. , *Atmosph Environ*, **37**, 2317 (2003)
- [26.] Helaleh M.I.H. , Ngudiwaluyo S. , Korenaga T. i Tanaka K. , *Talanta*, **58**, 649 (2002)
- [27.] Harrison P.T.C. , *Sci Total Environ*, **249**, 103 (2000)
- [28.] Nörback D. , Björnsson E. , Janson C. , Widström J. i Boman G. , *Occup Environ Med*, **52**, 388 (1995)
- [29.] Ott W.R. i Roberts J.W. , *Świat Nauki*, **4**, 72 (1998)
- [30.] Chao C.Y.H. , Tung T.C.W. , Niu J.L. , Pang S.W. i Lee R.Y.M. , *Build Environ*, **34**, 319 (1999)
- [31.] Dong J.Z. , Glass J.N. i Moldoveanu S.C. , *J Microcolumn Separation*, **12**, 142 (2000)
- [32.] Zhong L. , Goldberg M.S. , Gao Y.T. i Jin F. , *Cancer Causes and Control*, **10**, 607 (1999)
- [33.] Meininghaus R. , Salthammer T. i Knöppel H. , *Atmos Environ*, **33**, 2395 (1999)
- [34.] Namieśnik J. i Górecki T. , *LC-GC Europe*, **9**, 678 (2000)
- [35.] Cox R.M. , *Environ Pollut*, **126**, 301, (2003)
- [36.] Gordon C.S., Lowe J.T., US Patent 1.644 014, (1927)
- [37.] Plantz C.A. , McConnaughey P.W. i Jenca C.C., *Am Ind Hyg Assoc J*, **29**, 162 (1968)
- [38.] Palmes E.D. i Gunnison A.F. , *Am Ind Hyg Assoc J*, **34**, 78 (1973)
- [39.] Reiszner K.D. i West P.W. , *Environ Sci Technol*, **7**, 523 (1973)
- [40.] Braun L.D. i Trine A. , US Patent 3 950 980, (1976)
- [41.] McCammon C.S. i Woodfin J.W. , *Am Ind Hyg Assoc J*, **38** , 378 (1977)

- [42.] Yanagisawa Y. i Nishimura H. , *J Jpn Soc Air Pollut*, **15**, 316 (1980)
- [43.] Amaya K. , Uproszczone metody pomiaru zanieczyszczeń atmosfery – aktualny stan badań oraz zadania na przyszłość, Tokio 1980 (tłum. z japońskiego)
- [44.] Anders L. , *Paper presented on the 3-rd Utah Conference on Industrial Hygiene Sampling and Analysis*, Salt Lake City, UT, 6-8.10.1980
- [45.] Brown R.H. , Charlton J. i Saunders K.J. , *Am Ind Hyg Assoc J*, **42** , 865 (1981)
- [46.] *ProTek™ Colorimetric Air Monitoring Badge System. Field Validation Protocol for Diffusion-Type Air Monitoring Badges*, Wilmington, Delaware (1981)
- [47.] Lechnitz K. , *Dräger Rewiev*, **50**, 9 (1982)
- [48.] Bertoni G. , Perrino C. i Liberti A. , *Analyt Lett*, **15**, 1039 (1982)
- [49.] Sefton M.V. , Kostas A.V. i Lombardi C. , *Am Ind Hyg Assoc J*, **43**, 820 (1982)
- [50.] Cox P.C. i Brown R.H. , *Am Ind Hyg Assoc J*, **45**, 345 (1984)
- [51.] Lewis R.G. , Mulik J.D. , Coutant R.W. , Wooten G.W. i McMillin C.R. , *Anal Chem*, **57**, 214 (1985)
- [52.] Levin J.O. , Lindahl R. i Andersson K. , *Environ Sci Technol*, **20**, 1273 (1986)
- [53.] Krochmal D. , Rzemieński M. i Górski L. , *Chem Anal*, **32**, 581 (1987)
- [54.] Bertoni G. , Canepari S. , Rotatori M. , Fratarcangeli R. i Liberti A. , *J Chromatogr*, **522**, 285 (1990)
- [55.] Bertoni G. , Fratarcangeli R. i Liberti A. , *J Chromatogr*, **522**, 285 (1990)
- [56.] Willems J.J.H. i Hofschreuder P. , w: *Field intercomparison exercise on ammonia and ammonium measurement. Air pollution Research report 37*, CNR, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium 1991
- [57.] Ferm M. , *A sensitive diffusional sampler*. IVL-Report B1020, Swedish Environmental Research Institute, Göteborg, Sweden (1991)
- [58.] Koutrakis P. , Wolfson J.M. , Bunyaviroch A. , Froehlich S.E., Hirano K. i Mulik J.D. , *Anal Chem*, **65**, 209 (1993)
- [59.] <http://www.ogawausa.com>
- [60.] Brown R.C. , Hemingway M.A. , Wake D. i Thompson J. , *Ann Occup Hyg*, **39**, 603 (1995)
- [61.] Cocheo V. , Boaretto C. i Sacco P. , *Am Ind Hyg Assoc J*, **57**, 897 (1996)
- [62.] Müller J.F. , Hawker D.H. , Connell D.W. , Kömp P. i McLachlan M.S. , *Atmos Environ*, **34**, 3525 (2000)
- [63.] Bertoni G. , Tappa R. i Allegrini I. , *Chromatographia*, **54**, 653 (2001)
- [64.] Bertoni G. , Tappa R. i Allegrini I. , *Chromatographia Suppl*, **53**, S312 (2001)
- [65.] Bamberger R.L. , Esposito G.G. , Jacobs W. , Podolak G.E. i Mazur J.F. , *Am Ind Hyg Assoc J*, **39**, 710 (1978)
- [66.] Perkins J. , *Ann Am Conf Gov Hyg*, **1**, 125 (1981)
- [67.] Stockton S.D. i Underhill D.W. , *Am Ind Hyg Assoc J*, **46**, 526 (1985)
- [68.] Brown R.H. , Walkin K.T. , *Anal Proc*, **18**, 205 (1981)
- [69.] Bailey A. i Hollingdale-Smith P.A. , *Ann Occup Hyg*, **20**, 345 (1977)
- [70.] Evans M. , Molyneux M. , Sharp T. , Bailey A. i Hollingdale-Smith P.A. , *Ann Occup Hyg*, **20**, 357 (1977)
- [71.] Bailey A. i Hollingdale-Smith P.A. , *Passive Sampling and Dosimetry w Trace - Organic Sample Handling*. Reid E. (red), Ellis Horwood Ltd, Chichester, USA, 1981, 43
- [72.] Neims L.H. , Reiszner K.D. i West P.W. , *Anal Chem*, **49**, 994 (1977)
- [73.] West P.W. , *Am Lab*, **12**, 35 (1980)
- [74.] Lewis R.G. , Mulik J.D. , Coutant R.W. , Wooten G.W. i McMillin C.R. , *Anal Chem*, **57**, 214 (1985)
- [75.] Coutant R.W. , Lewis R.G. i Mulik J.D. , *Anal Chem*, **58**, 445 (1986)
- [76.] Brown R.H. , *Pure Appl Chem*, **65**, 1859 (1993)
- [77.] Shih T.S. , Chan C.Y. , Cheng R.I. i Wu L.J. , *Int Arch Occup Environ Health*, **73**, 98 (2000)

- [78.] Son B. , Breyse P. i Yang W. , *Environ Intern*, **29**, 79 (2003)
- [79.] Begerow J. , Jermann E. , Keles T. i Dunemann L. , *Fresenius J. Anal Chem*, **363**, 399 (1999)
- [80.] Elke K. , Jermann E. , Begerow J. i Dunemann L. , *J Chromatogr A*, **826**, 191 (1998)
- [81.] Begerow J. , Jermann E. , Keles T. , Ranft U. i Dunemann L. , *Fresenius J Anal Chem*, **351**, 549 (1995)
- [82.] Delcourt J. i Sandino J.P. , *Int Arch Occup Environ Health*, **74**, 49 (2001)
- [83.] Martin N.A. , Marlow D.J. , Henderson M.H. , Goody B.A. i Quincey P.G. , *Atmos Environ*, **37**, 871 (2003)
- [84.] Patil S.F. i Lonkar S.T. , *J Chromatogr A*, **688**, 189 (1994)
- [85.] Hellen H. , Hakola H. , Laurila T. , Hiltunen V. i Koskentalo T. , *Sci Total Environ*, **298**, 55 (2002)
- [86.] Gelencsér A. , Kiss G. , Hlavay J. , Hafkenscheid T.L. , Peters R.J.B. i Leer E.W.B. , *Talanta*, **41**, 1095 (1994)
- [87.] Leach J. , Blanch A. i Bianchi A.C. , *Atmos Environ*, **33**, 4309 (1999)
- [88.] Ilgen E. , Levsen K. , Angerer J. , Schenider P. , Heinrich J. i Wichmann H.E. , *Atmos Environ*, **35**, 1265 (2001)
- [89.] Chao ChY.H. , *Build Environ*, **36**, 999 (2001)
- [90.] Bytnerowicz A. , Tausz M. , Alonso R. , Jones D. , Johnson R. i Grulke N. , *Environ Pollut*, **118**, 187 (2002)
- [91.] Bomboi M.T. , Perez A. , Rodriguez B. , Galan D. i Diaz Fernandez R. , *Fresenius Environ Bull*, **11**, 437 (2002)
- [92.] <http://www.mlu.at>
- [93.] <http://www.skcgulfcoast.com>
- [94.] <http://www.3m.com>
- [95.] Begerow J. , Jermann E. , Keles T. , Koch T. i Dunemann L. , *J Chromatogr A*, **749**, 181 (1996)
- [96.] Leong S.T. , Muttamara S. i Laortanakul P. , *Atmos Environ*, **36**, 651 (2002)
- [97.] Olansandan , Amagai T. i Matsushitta H. , *Talanta*, **50**, 851 (1999)
- [98.] Zabiegała B. , Górecki T. , Przyk E. i Namieśnik J. , *Atmos Environ*, **36**, 2907 (2002)
- [99.] Cao X.L. i Hewitt C.N. , *J Chromatogr A*, **688**, 368 (1994)
- [100.] Schneider P. , Gebefügi I. , Richter K. , Wölke G. , Schnelle J. , Wichman H.-E. , Heinrich J. i INGA Study Group, *Sci Total Environ*, **267**, 41(2001)
- [101.] Schreiner H. , Wetzal H. i Kirbach I. , *Umweltmed Forsch Prax*, **6**, 143 (2001)
- [102.] Camuffo D. , Brimlecombe P. , Van Grieken R. i Busse H.J. , *Sci. Total Environ*, **236**, 135 (1999)
- [103.] Gesser H. D. i Giller E. , *Environ Int*, **21**, 839 (1995)
- [104.] Hong J. , Maguhn J. , Freitag D. i Kettrup A. , *Fresenius J Anal Chem*, publ on-line 20.10.2001