

JAKOŚĆ POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO – LOTNE ZWIĄZKI ORGANICZNE JAKO WSKAŹNIK JAKOŚCI POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

INDOOR AIR QUALITY – VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS AS AN INDICATOR OF THE QUALITY OF INDOOR AIR

Bożena Zabiegała

Katedra Chemii Analitycznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk,
e-mail: pszczola@chem.pg.gda.pl

ABSTRACT

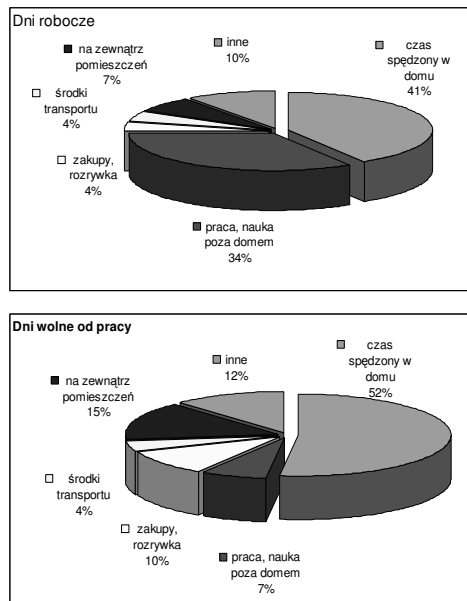
According to numerous papers the concentration of many organic pollutants can be several times higher in indoor air than in atmospheric air. This is so because many pollutants not only infiltrate from atmospheric air into indoor air, but are emitted, at a much higher rate, from endogenous sources such as buildings, finishing and furnishing materials, advanced technological devices (computers, ink and laser printers), cleaning and personal care agents, heat-insulating materials, central heating, air conditioning systems, as well as by oil, gas, coal and firewood combustion and tobacco smoking. Lifestyle, entertainments and hobbies of room occupants, as well as the presence of pets are not insignificant factors. The main aims of this work were the assessment of indoor air quality in selected dwellings in the Tricity area and to find out the relation between fluctuations in VOC concentrations and changes in room use. Permeation passive samplers were used for samples collection and GC-FID, and GC-MS for trapped analytes determination. An attempt has also been made to estimate the influence of the buildings surrounding air on indoor air quality.

Key words: indoor air, organic pollutants, volatile organic compounds VOC, emission of organic compounds, sources of organic pollutants, Total content of organic compounds TVOC

WPROWADZENIE

Dorosły człowiek spędza przeciętnie około 80% swojego czasu w pomieszczeniach zamkniętych. W przypadku dzieci, osób chorych oraz starszych okres ten jeszcze bardziej się wydłuża, powodując, że jednostki najmniej odporne stają się teoretycznie najbardziej narażone na działanie obecnych w powietrzu szkodliwych czynników. Z raportu Głównego Urzędu Statystycznego GUS (1997 r.) wynika, że ponad 62% dorosłych i co czwarte dziecko w Polsce cierpi, na co najmniej jedną chorobę przewlekłą. Stale chory jest co trzeci nastolatek, połowa ludzi w wieku od 30 do 39 lat oraz prawie wszyscy ludzie starsi. Dodatkowo, z raportu GUS z 2004 roku wynika iż w Polsce prawie 80% zgonów spowodowanych jest chorobami określanymi mianem cywilizacyjnych (choroby układu krążenia, nowotwory złośliwe oraz wypadki, urazy i zatrucia), czyli z chorobami

związanymi z jakością środowiska w którym żyjemy. W strefie klimatycznej, w której żyjemy, zdecydowanie największą ilość czasu spędzamy w pomieszczeniach zamkniętych, w atmosferze powietrza wewnętrznego (dom, szkoła, miejsce pracy). Z dużym prawdopodobieństwem można więc przypuszczać, że to właśnie to środowisko w największym stopniu oddziałuje na nasze zdrowie i samopoczucie. Rozkład czasu spędzanego przez dorosłego człowieka w poszczególnych mikrosrodowiskach w dni robocze i w dni wolne od pracy, sporządzony w oparciu o ankietę przeprowadzoną na grupie 200-osobowej, przedstawiono na rysunku 1. Przedstawione statystyki wskazują, iż dbając o kondycję zdrowotną polskiego społeczeństwa nie powinno się lekceważyć problemów związanych z jakością powietrza wewnętrznego.



Rys. 1. Sposób spędzania czasu w poszczególnych mikrośrodkach w dni robocze i w dni wolne od pracy

W Polsce, głównie ze względów ekonomicznych, problem jakości powietrza wewnętrznego był i nadal jest marginalizowany przez użytkowników budynków. Związane jest to głównie z koniecznością zaakceptowania sytuacji istniejącej zarówno na rynku materiałów budowlanych i wyposażeniowych, jak również na rynku mieszkaniowym. Zainteresowanie problematyką związaną z jakością powietrza wewnętrznego wywoływane jest głównie przez pojawienie się nieprzyjemnego zapachu i/lub odczuwanie dolegliwości zdrowotnych w czasie przebywania w pomieszczeniach.

Powietrze wewnętrzne

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 zarówno jakościowym jak i ilościowym nawet w bardzo krótkim okresie czasu, jego jakość kształtuje wiele czynników, a poprawna ocena jego jakości wymaga poznania i zrozumienia wielu współzależnych od siebie parametrów, głównie takich jak (Plusche, 1999):

1. Poznanie oraz scharakteryzowanie źródeł emisji zanieczyszczeń poprzez określenie

sumarycznej zawartości zanieczyszczeń (np. lotnych związków organicznych) zawartych w materiale stanowiącym potencjalne źródło emisji oraz określenie wielkości strumienia emisji lotnych zanieczyszczeń z tego źródła.

2. Wymiana i ruch powietrza zarówno w obrębie budynku jak i na zewnątrz (infiltracja, wentylacja budynków); Jakość powietrza zewnętrznego w bezpośrednim sąsiedztwie budynku (obecność zewnętrznych źródeł emisji);
3. Przepuszczalność ścian budynków w stosunku do zanieczyszczeń;
4. Wzajemne oddziaływanie chemiczne i fizyczne zanieczyszczeń obecnych w powietrzu, bezpośrednio wpływające na poziom ich stężenia.
5. Specyficzny styl życia użytkowników pomieszczeń.

Zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego - rys historyczny

Związki chemiczne znajdowane (obecne) w powietrzu wewnętrznym nie są stałe ani w składzie ani w poziomie stężeń na którym występują. Zmiany jakościowe jak i ilościowe w składzie zanieczyszczeń obecnych w powietrzu wewnętrznym zachodzą zarówno w cyklu dziennym, miesięcznym jak i rocznym, dotyczyć mogą również nawet całych dekad. Początkowo, badając jakość powietrza wewnętrznego największą uwagę poświęcono związkom chemicznym, których źródłem było powietrze atmosferyczne, a które uznane były za związki chemiczne groźne dla zdrowia człowieka. Powodem takiej sytuacji był fakt dużego zainteresowania jakością powietrza atmosferycznego, z jednej strony, oraz zrozumieniem, iż jakość powietrza wewnętrznego determinowana jest również jakością powietrza atmosferycznego. Związkami którym poświęcono wówczas najwięcej uwagi były: ditlenek siarki SO_2 , tlenek azotu NO , ozon O_3 oraz pył zawieszony PM_{10} (Weschler, 2009, Biersteker, et al., 1965, Andersen, 1972, Sabersky, et al., 1973). W dalszych latach, badając jakość powietrza wewnętrznego uwagę skierowano w stronę zanieczyszczeń, których pochodzenie związane było z budynkiem. Dotyczyło to głównie zanieczyszczeń takich jak: formaldehyd, radon, azbest, środowiskowy dym tytoniowy (ETS) oraz niepolarne związki organiczne. Jednakże postęp cywilizacyjny oraz rozwój technologii spowodował znaczne unowocześnienie istniejących metod i narzędzi badawczych (np. poprzez wzrost czułości stosowanych narzędzi analitycznych) oraz konstrukcję (wynalezienie)

nowych urządzeń (detektorów), które umożliwiły wykrycie i oznaczenie innych jeszcze zanieczyszczeń obecnych w powietrzu wewnętrznym, głównie zanieczyszczeń organicznych należących do grup: lotnych i średniolotnych związków organicznych (Weschler, 2009).

Lotne związki organiczne (LZO)

Na zanieczyszczenie powietrza wewnętrznego, w szerokim tego słowa znaczeniu, szczególnie istotny wpływ mają anality z grupy lotnych związków organicznych (*Volatile Organic Compounds* -VOC) (Otson R., et al., 1992, Cohen, 1996, Ilgen, et al., 2001). Bez wątpienia jest to grupa związków, której poświęcono najwięcej uwagi w ocenie jakości powietrza wewnętrznego. Zgodnie z definicją Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) za lotne związki organiczne (LZO) uznaje się te związki, których prężność par w temperaturze 25 °C jest większa niż 10⁻¹ Tr. Zarówno powszechność ich występowania jak i właściwości lotnych związków organicznych powodują, iż człowiek jest w większym stopniu narażony na negatywne działanie właśnie tych zanieczyszczeń. Zagrożenie, jakie stanowią lotne związki organiczne dla środowiska, a tym samym dla samego człowieka, ilustruje fakt, iż stanowią one aż 60 % wszystkich substancji zanieczyszczających atmosferę, zaś wśród

związków rakotwórczych, zawartych w spisie emitowanych związków toksycznych (ang. *Toxic Release Inventory* – TRI), stanowią one aż 73 % wszystkich związków znajdujących się na tej liście (Cohen, 1996).

Według doniesień światowej literatury w powietrzu wewnętrznym zidentyfikowano około 500 związków należących do grupy lotnych związków organicznych (Cohen, 1996). Tylko niektórym z tych związków przypisuje się, bądź też udowodniono działanie chorobotwórcze (zwłaszcza mutagenne czy też cancerogenne) (Wanner, 1993) ale wiele z nich podejrzewanych jest o wywoływanie tzw. niespecyficznych objawów takich jak letarg, bóle głowy, wysuszenie oczu, gardła i skóry, czasami łzawienie i tzw. „mokry” nos, niemożliwość koncentracji, które określane są mianem Syndromu Chorych Budynków (*Sick Building Syndrom* – SBS). Ludzie, u których występuje Syndrom Chorych Budynków skarżą się także na ogólny dyskomfort środowiskowy (*Environmental Discomfort*). Klasyfikację organicznych zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego zaproponowaną przez Światową Organizację Zdrowia (WHO, 1989) przedstawiono w Tabeli 1 natomiast w Tabeli 2 przedstawiono informację o stwierdzonych poziomach stężeń związków organicznych w powietrzu wewnętrznym i ich potencjalna szkodliwość dla zdrowia użytkowników.

Tabela 1. Klasyfikacja organicznych zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego zaproponowana przez Światową Organizację Zdrowia (WHO).

Grupa związków	Zakres temperatur wrzenia [°C]		
Bardzo lotne związki organiczne (VVOC)	0	÷	50-100
Lotne związki organiczne (VOC)	50-100	÷	240-260
Średniolotne związki organiczne (VVOC)	240-260	÷	340-400
Pyły i aerozole organiczne (POM)			> 380

Tabela 2. Zależność pomiędzy stężeniem związków organicznych w powietrzu wewnętrznym (wyrażoną jako całkowita zawartość związków organicznych TVOC), a ich potencjalną szkodliwością dla zdrowia.

Poziom zanieczyszczeń	Stopień szkodliwości
< 100 µg/m ³	Nieszkodliwe dla zdrowia
200-300 µg/m ³	Potencjalnie szkodliwe
300-5000 µg/m ³	Szkodliwe dla zdrowia, powodują pojawianie się nieprzyjemnego zapachu

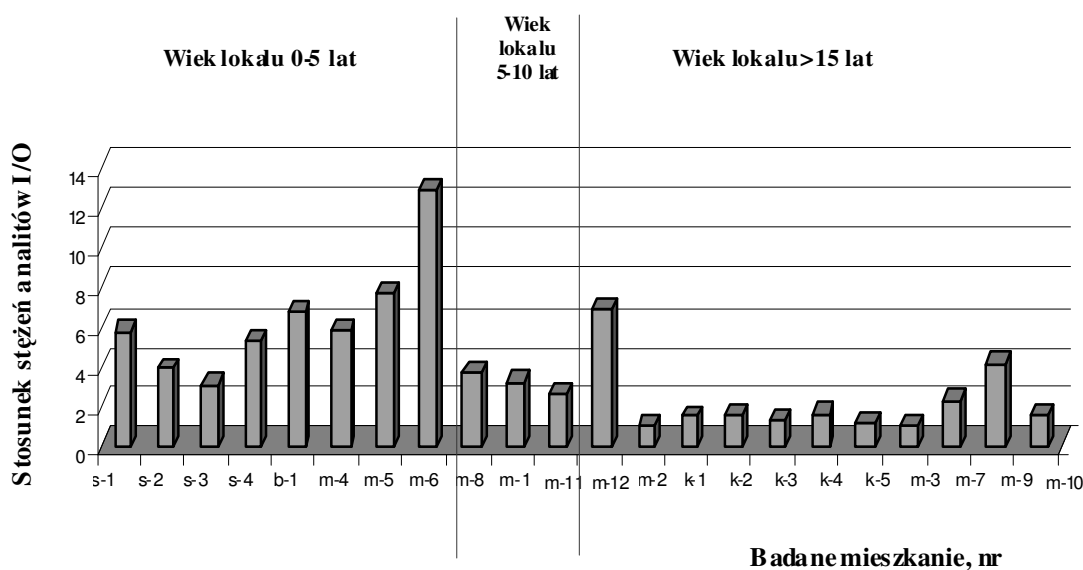
Lotne związki organiczne (*Volatile Organic Compounds* -VOC) obecne w powietrzu wewnętrznym uznane zostały za jedne z istotniejszych zanieczyszczeń tego

odpowiadające im stężenia w powietrzu atmosferycznym (O), oznaczone w bezpośrednim otoczeniu monitorowanego pomieszczenia. Ten niekorzystny stosunek

stężeń (I/O) ewidentnie wskazuje na obecność endogennych źródeł emisji (usytuowanych bezpośrednio wewnątrz budynków) odpowiedzialnych za wysokie stężenia tych związków w powietrzu wewnętrznym (Zabiegała, 2006).

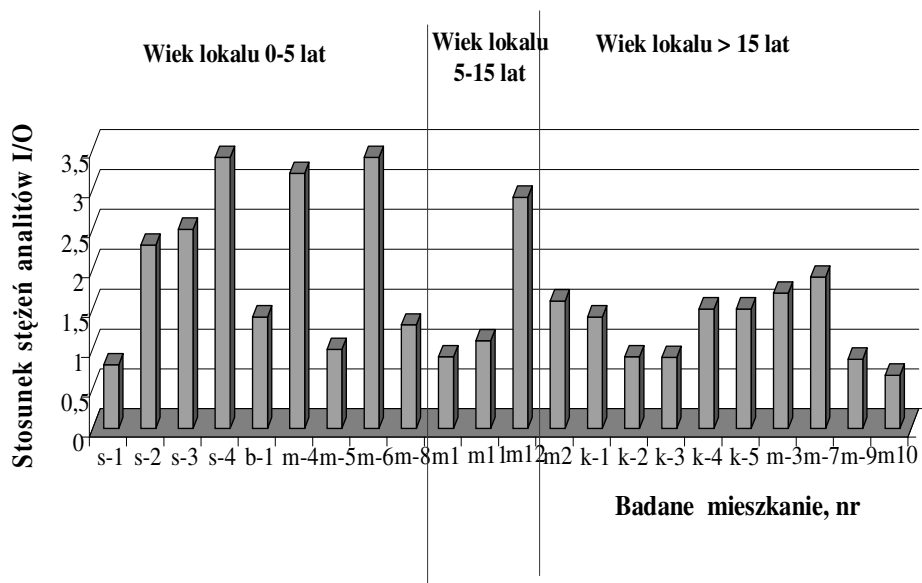
Problem obecności endogennych źródeł emisji lotnych związków organicznych (VOC), odpowiedzialnych za podwyższony poziom stężeń tych związków w powietrzu wewnętrznym, został zobrazowany na rysunku 2, na przykładzie badań oceny jakości powietrza wewnętrznego przeprowadzonych na terenie aglomeracji trójmiejskiej (Zabiegała et al., 2007, Zabiegała, 2008). Grupę badanych pomieszczeń mieszkalnych podzielono na grupy, w zależności od wieku lokalu (na

mieszkania od 0 - 5 latnie, mieszkania 5-15 latnie i mieszkania co najmniej 15 latnie), a następnie dla każdej grupy i dla każdego lokalu indywidualnie wyznaczono stosunek (I/O) sumarycznej zawartości lotnych związków organicznych obecnych w powietrzu wewnętrznym w stosunku do sumarycznej zawartości lotnych związków organicznych obecnych w powietrzu atmosferycznym, w oparciu o równoległe przeprowadzone pomiary z wykorzystaniem rurek sorpcyjnych wypełnionych sorbentem typu Tenax TA. W podobny sposób przedstawiono wyniki otrzymane dla wybranych lotnych związków organicznych, (octanu n-butyłu i toluenu) będących typowymi zanieczyszczeniami powietrza wewnętrznego (rysunek 3).

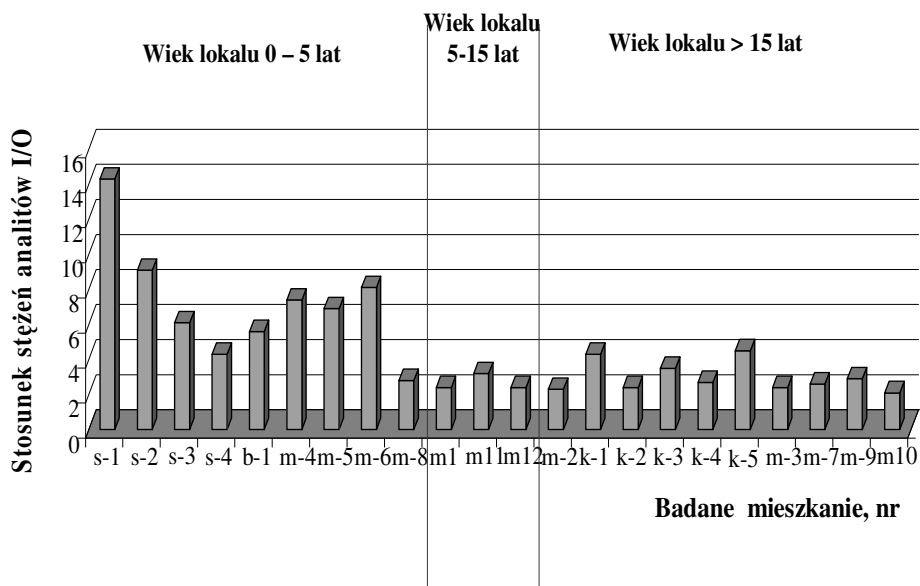


Rys. 2. Wpływ endogennych źródeł emisji na jakość powietrza wewnętrznego na przykładzie sumarycznej zawartości lotnych związków organicznych

Toluen



Octan n-butylu



Rys. 3. Wpływ endogennych źródeł emisji na jakość powietrza wewnętrznego na przykładzie toluenu i octanu n-butylu

Otrzymane wyniki jasno obrazują wpływ endogennych źródeł emisji na jakość powietrza wewnętrznego (wysokie wartości liczbowe stosunku stężeń I/O, w granicach od 3 do 14, podkreślają wagę i udział endogennych źródeł

emisji w kształtowaniu jakości powietrza wewnętrznego).

Z drugiej jednak strony wskazują one również iż wielkość tego wpływu maleje istotnie wraz z wiekiem budynku.

Źródła lotnych związków organicznych w powietrzu wewnętrznym; Emisja lotnych związków organicznych z materiałów wewnętrznych

Lotne związki organiczne uwalniane są do powietrza wewnętrznego z wielu źródeł; Jednak ponad połowa tych związków pochodzi z emisji z materiałów budowlanych i wykończeniowych takich jak wykładziny, farby, kleje, pokrycia ścian (tapety) i podłóg (PCW). Materiały te są odpowiedzialne za wysoką i długotrwałą emisję.

Z drugiej jednak strony materiały wewnętrzne mogą stanowić również dokonały „pochłaniacz” lotnych związków organicznych emitowanych z innych źródeł endogennych, przyczyniając się tym samym do obniżenia stężenia związków organicznych obecnych w powietrzu wewnętrznym. Przykłady endogennych źródeł emisji związków z grupy lotnych związków organicznych VOC wraz z wykazem typowych związków przez nie emitowanych (zebranych na podstawie badań zaprezentowanych przez różnych autorów) przedstawiono w Tabeli 3 (Zabiegała, 2006).

Tabela 3. Endogenne źródła emisji lotnych związków organicznych oraz przykłady związków emitowanych z tych źródeł

Źródło emisji	Emitowane związki organiczne	
farby i emalie	węglowodory alifatyczne	pentan, heptan, oktan, nonan, dekan, undekan, metylocykloheksan
	węglowodory aromatyczne	etylobenzen, toluen, o,m,p,-ksylen
	alkohole	i-butanol
	estry	octan metylu, octan dimetylu, octan butylu
	aldehydy i ketony	formaldehyd, aceton, metylobutanon,
	terpeny	pinen, karen
lakiery	węglowodory alifatyczne	heptan, oktan, tetrametylooktan, nonan, dekan, undekan, dimetyloheptan, trimetyloheptan, etylocykloheksan
	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
	estry	octan etylu, octan butylu, ftalan dibutyli, ftalan dioktyli
	aldehydy i ketony	formaldehyd, cykloheksanon
płyty styropianowe	węglowodory alifatyczne	pentan, metylobutan, 1-penten
	węglowodory aromatyczne	toluen, etylobenzen, styren
	estry	octan etylu
	aldehydy i ketony	formaldehyd, 2-butanon, aceton
tapety	węglowodory aromatyczne	toluen
	aldehydy i ketony	formaldehyd, aceton, 2-butanon
	estry	ftalan dibutyli, ftalan dioktyli
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
	aldehydy i ketony	formaldehyd, aceton, 2-butanon
	terpeny	pinen, karen, limonen, kamfen

Ustalenie oraz kontrolowanie wielkości emisji lotnych związków organicznych z różnego typu źródeł, poznanie procesów kształtujących wielość emisji tych związków (rodzaj emitowanego związku, ilość emitowana do powietrza wewnętrznego oraz trwałość emitowanego związku) jak również ocena zagrożenia dla użytkowników pomieszczeń powodowana obecnością lotnych związków organicznych w powietrzu wewnętrznym jest kluczowym elementem w procesie kształtowania, oceny i poprawy jakości powietrza wewnętrznego.

Szerokie spektrum związków organicznych zawartych i emitowanych z materiałów wewnętrznych, związane m.in. ze zmianą technologii procesu ich wytwarzania, wymusza ciągłą modyfikację istniejących już metod badawczych oceny jakości materiałów wewnętrznych. Próba identyfikacji i ilościowego oznaczenia coraz większej liczby związków organicznych, zawartych w materiałach wewnętrznych, istotnie różniących się własnościami fizykochemicznymi jest niewątpliwym wyzwaniem analitycznym. W chwili obecnej w trakcie badań jakości materiałów wykorzystywanych do budowy i zabudowy pomieszczeń wewnętrznych (materiałów wewnętrznych) najczęściej wykorzystywane są dwa komplementarne podejścia analityczne pozwalające na określenie wpływu obecności analitów z grupy lotnych związków organicznych na jakość powietrza wewnętrznego (European Concerted Action (ECA), 1991.):

- Określenie sumarycznej zawartości lotnych związków organicznych obecnych w materiałach wewnętrznych, pozwalający na wstępny ranking i ocenę przesiewową materiałów wewnętrznych;
- Wyznaczenie wielkości strumienia (profilu) emisji poszczególnych analitów z grupy lotnych związków organicznych z materiałów wewnętrznych.

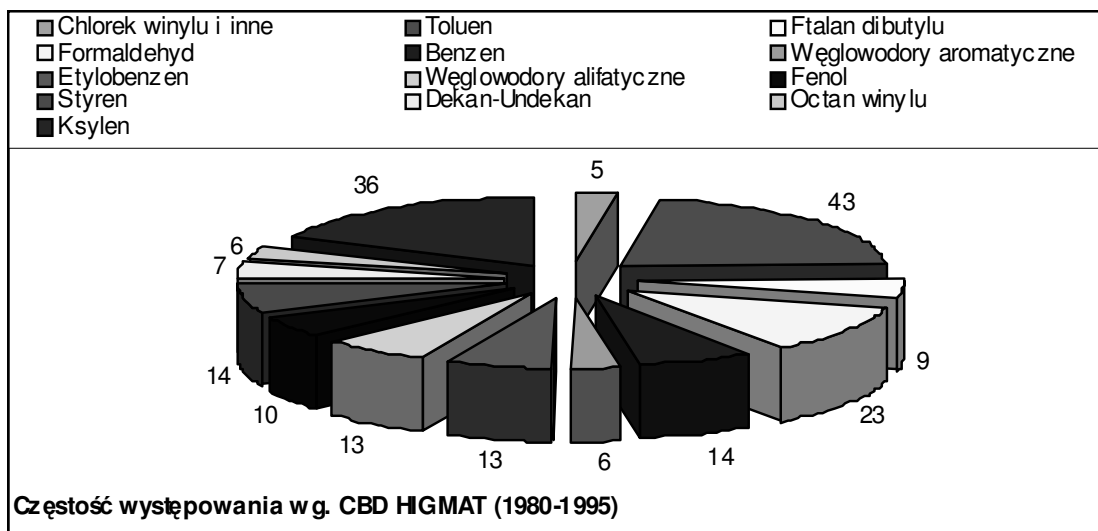
Znajomość tych parametrów pozwala na oszacowanie wielkości wpływu materiałów wewnętrznych na jakość powietrza wewnętrznego (pod względem zawartości lotnych związków organicznych wyemitowanych z tych materiałów).

Problemy związane zarówno z bezpośrednim pomiarem wielkości emisji z materiałów budowlanych czy też z przewidywaniem wielkości emisji jest tematem intensywnych badań prowadzonych w wielu renomowanych ośrodkach naukowych zajmujących się szeroko pojętą jakością powietrza wewnętrznego. Swoje miejsce w ocenie jakości materiałów wewnętrznych zarówno pod względem zawartości sumarycznej

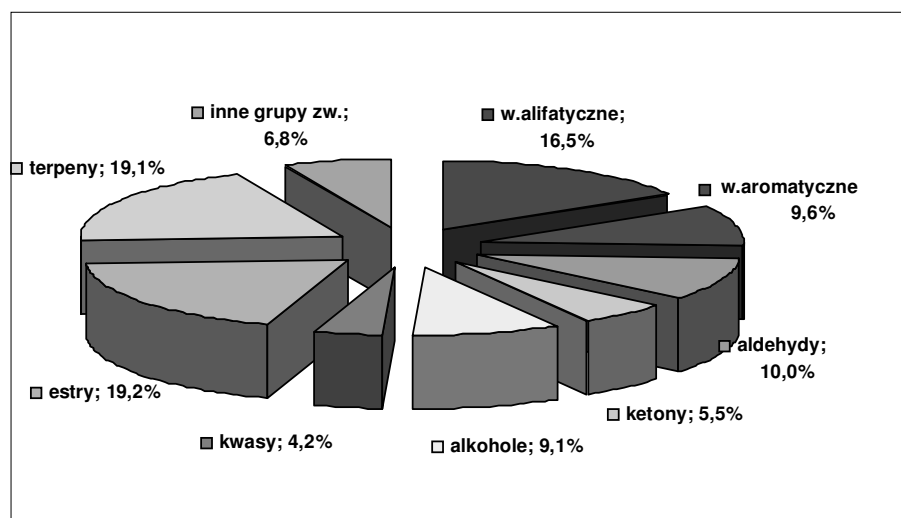
lotnych związków organicznych jak i w badaniu wielkości strumienia emisji znalazła technika desorpcji termicznej połączona z chromatografią gazową (GC-FID lub GC-MSD). Technika ta pozwala na bezpośrednie wprowadzanie do układu chromatograficznego analitów uwolnionych zarówno ze złoża sorbentu rurki sorpcyjnej (w przypadku badań wielkości strumienia emisji związków z grupy lotnych związków organicznych VOC do powietrza) jak i bezpośrednio z materiału wewnętrznego. Połączenie desorpcji termicznej z chromatografią gazową (TD-GC-FID i TD-GC MSD) umożliwia sprawne przeprowadzenie badań przesiewowych dla dużej populacji próbek materiałów wewnętrznych. Analiza przesiewowa ma na celu ustalenie jakiego typu związki z grupy lotnych związków organicznych VOC i w jakich ilościach są emitowane z danych materiałów oraz wytypowanie materiałów charakteryzujących się najwyższą zawartością analitów z grupy lotnych związków organicznych VOC.

Na początku lat 90 XX wieku w Zakładzie Ochrony Środowiska Instytutu Techniki Budowlanych, (ITB) podjęto prace nad oceną rzeczywistego stanu higienicznego powietrza w budynkach mieszkalnych, w wyniku których utworzono Centralna Baza Danych (CBD HIGMAT). Baza ta powstała w wyniku współpracy Instytutu Techniki Budowlanej (ITB) z jednostkami nadzoru sanitarnego kraju, podległymi Departamentowi Zdrowia Publicznego Ministerstwa Zdrowia i Opieki Społecznej (MZiOS). Analiza danych zebranych w bazie HIGMAT wykazała, iż do związków najczęściej i w największych ilościach emitowanych do powietrza wewnętrznego należą węglowodory aromatyczne, głównie toluen (Łubkowska, Raciborska, 1994, Łubkowska, 2002). Szczegółowy wykaz lotnych związków organicznych najczęściej emitowanych z materiałów wewnętrznych oraz częstość występowania ich emisji wyrażoną procentowo w stosunku do całej populacji próbek zawarty w Centralnej Bazie Danych HIGMAT przedstawiono na rysunku 4 (Łubkowska, Raciborska, 1994, Łubkowska, 2002).

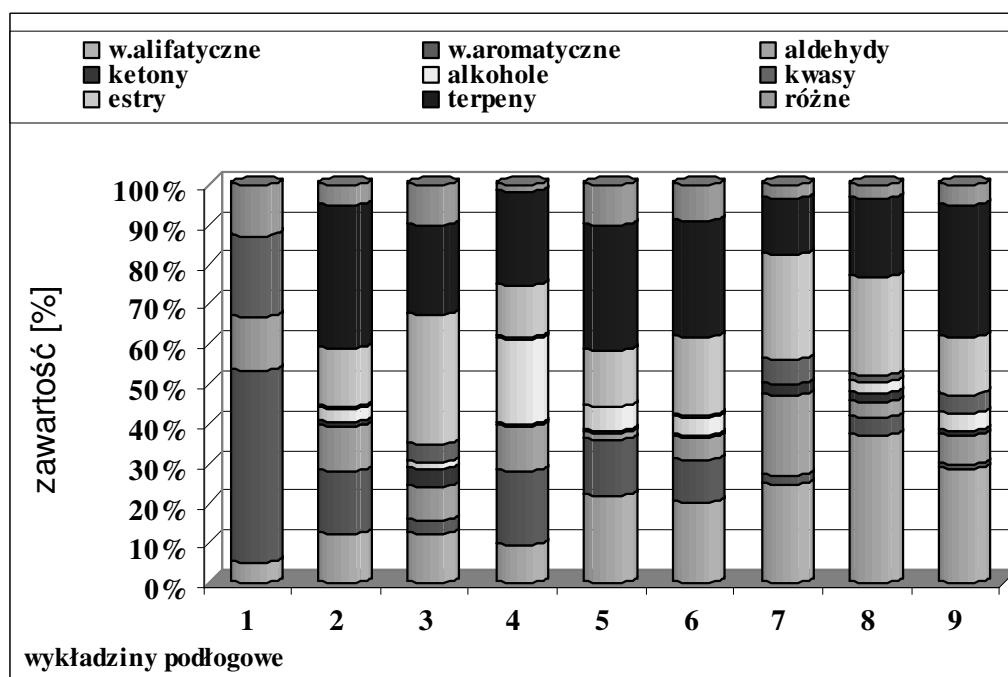
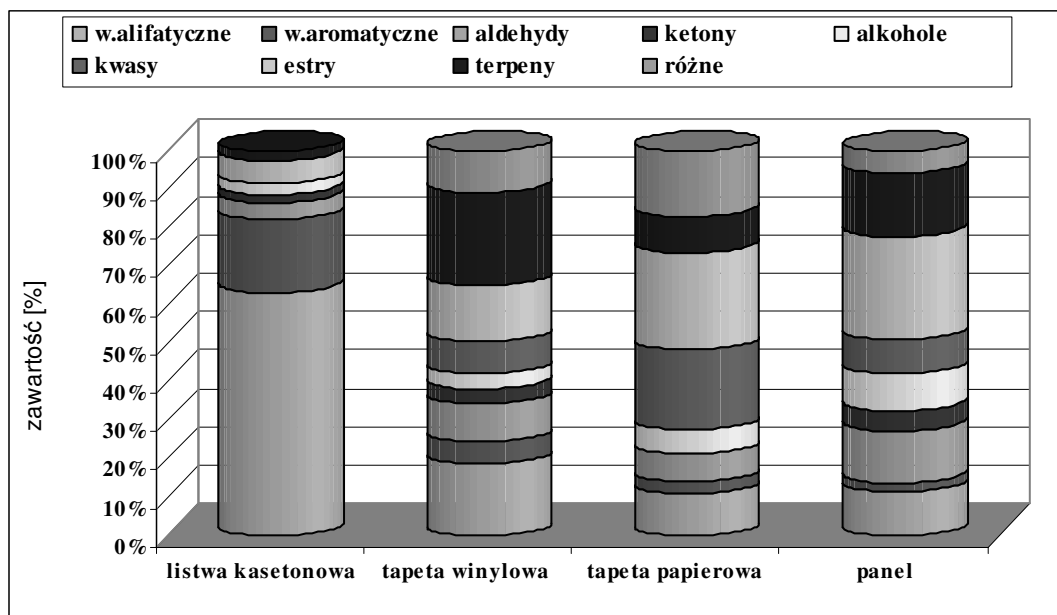
Dane zawarte w bazie CBD HIGMAT potwierdzają również wyniki badań prowadzonych w latach 2004–2008 w Katedrze Chemii Analitycznej Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej dotyczące zarówno oceny materiałów wewnętrznych pod względem zawartości lotnych związków organicznych jak również oceny jakości powietrza wewnętrznego.



Rys. 4. Wykaz lotnych związków organicznych najczęściej emitowanych z badanych materiałów wewnętrznych oraz częstości występowania ich emisji – wyrażona procentowo w stosunku do wszystkich zbadanych próbek – na podstawie wyników analizy komputerowej danych zawartych w BAZIE A CBD „HIGMAT” – z lat 1980-1995



Rys.5. Udziały poszczególnych grup związków organicznych emitowanych z materiałów wewnętrznych w stosunku do sumarycznej (całkowitej) zawartości związków organicznych w badanym materiale wewnętrznym dla wszystkich grup badanych materiałów wewnętrznych



Rys .6. Udziały poszczególnych grup związków organicznych emitowanych z materiałów wewnętrznych dla wybranych przedstawicieli badanych materiałów wewnętrznych (materiały ścienne i materiały podłogowe).

Wyniki badań przesiewowych przedstawiające wzajemne udziały poszczególnych grup związków organicznych emitowanych z materiałów wewnętrznych w stosunku do sumarycznej (całkowitej) zawartości związków organicznych w badanym materiale wewnętrznym, dla wszystkich grup badanych materiałów wewnętrznych oraz dla wybranych przedstawicieli badanych materiałów indywidualnie, przedstawiono odpowiednio na rysunkach 5 i 6. Wynika z nich ich w dalszym ciągu węglowodory alifatyczne i aromatyczne należą do dominujących grup związków organicznych emitowanych z materiałów wewnętrznych, ale znaczący jest udział związków należących do grupy estrów kwasów organicznych jak i terpenów. Badane materiały należały do różnych grup materiałów wewnętrznych i były to: materiały: drewniane i drewnopochodne, materiały podłogowe, materiały stosowane do produkcji mebli, drzwi, framugi, skóry i tkaniny obiciowe, wyroby termoizolacyjne, wyroby z tworzyw sztucznych, wyroby dźwiękochłonne, wyroby włókiennicze, w tym wykładziny podłogowe, materiały wyposażeniowe.

Monitoring i kontrola poziomu stężeń zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego

Dbałość o jakość powietrza wewnętrznego w tzw. budynkach nieprzemysłowych w obecnych czasach 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. Dbałość ta przejawia się w stosowaniu nowoczesnych technologii ograniczających stosowanie rozpuszczalników organicznych na etapie produkcji, a w efekcie końcowym minimalizującą ilość związków organicznych emitowanych do powietrza wewnętrznego na etapie użytkowania wytworzonych produktów. Całkowite wyeliminowanie związków organicznych jest jednak niemożliwe, dlatego też niezbędne jest również nieustanne kontrolowanie jakości powietrza, w którym dorosły człowiek spędza około 80 % swojego życia.

Powody, dla których bada się jakość powietrza wewnętrznego mogą być różne, generalnie jednak badania oceny jakości powietrza wewnętrznego podejmuje się (Crump, 2001):

1. 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.
2. jako część (uzupełnienie) badań epidemiologicznych w celu oceny skuteczności działań podjętych aby poprawić jakości powietrza wewnętrznego;
3. jako konieczność sprawdzenia czy określone parametry powietrza wewnętrznego (np. poziom stężenia lotnych związków organicznych) są zgodne z obowiązującymi przepisami prawnymi.

Jednym z elementów monitoringu zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego jest kontrola poziomu zanieczyszczeń obecnych w powietrzu wewnętrznym. Strategia wyboru konkretnego sposobu postępowania uzależniona jest od:

- typu emisji zanieczyszczeń (emisja ciągła lub krótkoterminowa);
- rodzaju zanieczyszczeń i ich potencjalnej szkodliwości zdrowotnej;
- charakteru pomiarów analitycznych (określenie celu prowadzonych badań):
 - oszacowanie ekspozycji indywidualnej,
 - określenie stężenia chwilowego lub średniego ważonego w czasie,
- wyboru miejsca pomiarów;
- kosztów badań monitoringowych;
- ograniczeń logistycznych;

Analityka i monitoring zanieczyszczeń organicznych powietrza wewnętrznego stanowi duże wyzwanie analityczne między innymi ze względu na dużą różnorodność związków organicznych obecnych w powietrzu wewnętrznym oraz zróżnicowany poziom stężeń na którym związki te występują, jak również ze względu na zmienność w czasie i przestrzeni, nawet w obrębie tego samego pomieszczenia, poziomu stężenia danego zanieczyszczenia. Niezależnie od sposobu podejścia do problemu monitoringu i analityki zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego zawsze niezmiernie ważnym zagadnieniem jest wybór odpowiedniej techniki pobierania próbek powietrza, zapewniającej pobranie próbki reprezentatywnej, co w efekcie końcowym, rzutuje na reprezentatywność i wiarygodność wyników pomiarów analitycznych.

W praktyce analitycznej najczęściej zastosowanie znajdują dwie grupy technik pobierania próbek powietrza z powietrza:

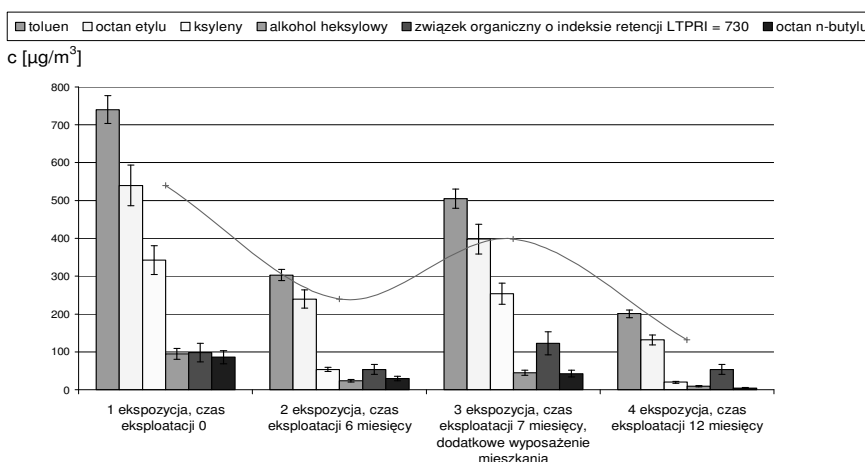
- techniki dynamiczne oparte na przepuszczaniu określonej objętości powietrza przez odpowiednią pułapkę, w której zatrzymywane są anality; dzięki którym, poprzez oznaczenie np. jedno- i 12-godzinnych, ważonych stężeń analitów można obserwować fluktuację stężeń oznaczanych związków w monitorowanym powietrzu;
- techniki pasywne wykorzystujące samorzutny ruch cząsteczek analitów w kierunku do powierzchni medium zatrzymującego, umieszczonego w dozymetrze, zgodnie z pierwszym prawem dyfuzji Ficka, która jest techniką, zalecaną do długoterminowego monitorowania powietrza i pozwala wyznaczać średnie ważne w czasie stężenia analitów (Time Weighted Average-TWA) w okresie ekspozycji dozymetrów.

Konieczność systematycznej kontroli jakości powietrza powoduje, iż metody dynamiczne pobierania próbek powietrza, rutynowo wykorzystywane w monitoringu zanieczyszczeń powietrza nie zawsze mogą być zastosowane. Olbrzymia różnorodność zanieczyszczeń występujących na różnych poziomach stężeń, powoduje, że monitorowanie powietrza z wykorzystaniem metod dynamicznych na etapie pobierania próbek powietrza, w sposób ciągły lub długoterminowy jest przedsięwzięciem nie tylko kosztownym ale również bardzo czasochłonnym. Dlatego też w chwili obecnej tak duże zainteresowanie, we wszystkich przedsięwzięciach związanych z tematyką jakości powietrza w tym również powietrza wewnętrznego wzbudzają pasywne techniki

pobierania próbek. Podejmując jednak próbę wykorzystania techniki dozymetrii pasywnej do monitorowania powietrza wewnętrznego analityk staje przed trudnym zadaniem dokonania oceny jakości badanego powietrza na podstawie niewielkiej ilości pobranych próbek (Zabiegała, Namiesnik, 2007). Dlatego też w przypadku technik pasywnych określenie właściwej strategii pobierania próbek analitów z powietrza będzie miało bardzo istotny wpływ nie tylko na poprawność otrzymanych wyników ale i na poprawność wyciąganych przez analityka wniosków.

Poziom stężeń, na których związki organiczne występują w powietrzu wewnętrznym, w istotny sposób uwarunkowany jest przez wiek budynku, czy czas jego eksploatacji, ale nie ma wpływu na jakość powietrza wewnętrznego, wyrażoną poprzez poziom stężenia zanieczyszczeń, ma również sposób użytkowania budynku czyli wpływ tak zwanego „czynnika ludzkiego” (związanego bezpośrednio z obecnością człowieka w budynku). Poziomy stężeń wybranych lotnych związków organicznych oznaczone w powietrzu wewnętrznym nowooddanego do eksploatacji pomieszczenia oraz w czasie jego użytkowania i kolejnych miesięcy eksploatacji przedstawiono na rysunku 7.

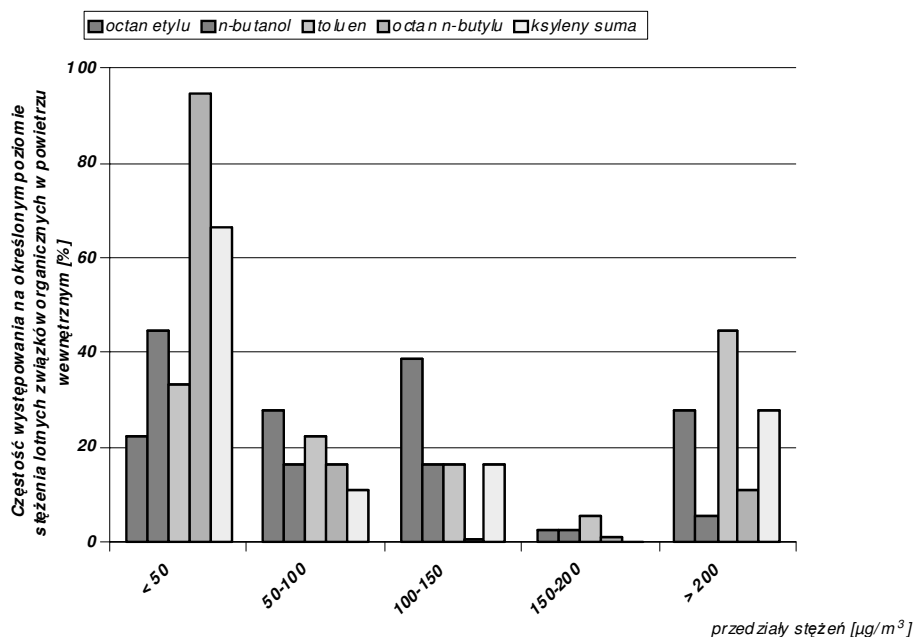
Zaobserwowane zmiany stężenia analitów w powietrzu wewnętrznym potwierdzają tezę, iż profil jakości powietrza wewnętrznego zmienia się w trakcie użytkowania pomieszczenia, a każda zmiana w pomieszczeniu (np. doposażenie mieszkania) powoduje okresowy wzrost stężenia analitów z grupy lotnych związków organicznych w powietrzu wewnętrznym.



Rys.7. Stężenia wybranych lotnych związków organicznych oznaczone w powietrzu wewnętrznym nowooddanego do eksploatacji pomieszczenia oraz oznaczone w czasie jego użytkowania (w kolejnych miesiącach eksploatacji)

Porównanie poziomów stężeń, na którym występują wybrane lotne związki organiczne w powietrzu wewnętrznym pomieszczeń zlokalizowanych na terenie aglomeracji trójmiejskiej, wyrażonej jako częstość występowania określonego przedziału stężeń przedstawiono na rysunku 8. Prezentowane wyniki pozwalają stwierdzić, iż jakość powietrza wewnętrznego w badanych pomieszczeniach jest zadawalająca.

Zdecydowanie największą częstością, na której występują w powietrzu wewnętrznym lotne związki organiczne jest poziom stężenia niższy niż $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, co dla większości lotnych związków organicznych zawartych w Zarządzeniu Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 12 marca 1996 r. (Monitor Polski nr 19 z 1996 poz. 231.) jest poziomem znacznie niższym niż wartość dopuszczalna.



Rys. 8. Porównanie poziomów stężeń wybranych lotnych związków organicznych występujących w powietrzu wewnętrznym, wyrażone jako częstość występowania określonego przedziału stężeń

Podsumowanie

Pomieszczenia zamknięte z jednej strony są barierą chroniącą przed negatywnymi czynnikami środowiska, 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. Problemy zdrowotne wynikać mogą zarówno z niedociągnięć podczas projektowania domu (niewłaściwy dobór materiałów i technologii), podczas realizacji projektu (zmiany w doborze wykorzystywanych materiałów) i na etapie eksploatacji (sposób życia użytkowników obiektu, stosowane środki konserwacyjne i czystościowe, zużycie materiałów). Warto być

świadomym zagrożeń, jakie mogą czyhać w bezpiecznej przystani, jaką jest dom i unikać świadomego narażania się na wysokie stężenia czynników szkodliwych. Najlepszym środkiem zapobiegającym zagrożeniom zdrowotnym, związanym z zanieczyszczeniami powietrza wewnętrznego, jest – oprócz niwelowania możliwych do usunięcia bezpośrednich źródeł zagrożenia – odpowiednia wentylacja i częste wietrzenie pomieszczeń użytkowych.

LITERATURA

- ANDERSEN I., 1972. Relationships between outdoor and indoor air pollution. *Atmos. Environ.* 6, pp. 275–278.
- BIERSTEKER K., DE GRAAF H., NASS, C.A.G., 1965, Indoor air pollution in Rotterdam homes. *International Journal of Air and Water Pollution* 9, pp. 343–350.

- COHEN Y., 1996, Volatile Organic Compounds in the Environment: A Multimedia Perspective. Volatile Organic Compounds in the Environment, *ASTM STP* 1261, pp. 7-32.
- CRUMP D., 2001, Strategies and protocols for indoor air monitoring of pollutants. *Indoor Built Environ.*, 10, pp. 125-136.
- ILGEN E., KARFICH N., LEVSEN K., ANGERER J., SCHNEIDER P., HEIRICH J., WICHMANN H.E., DUNEMANN L., BEGEROW J., 2001, Aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment: Part I. Indoor versus outdoor sources, the influence of traffic, *Atmos Environ*, 35, pp.1235- 1265.
- EUROPEAN CONCERTED ACTION (ECA), 1991, Indoor Air Quality & Its Impact On Man, Guide for the Characterization of Volatile Organic Compounds Emitted from Indoor Materials and Products Using Small Test Chambers, Report No. 8, EUR 13593 EN.
- Łubkowska J., 2002, Zanieczyszczenia chemiczne powietrza w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej, *Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej*, Warszawa.
- ŁUBKOWSKA J., RACIBORSKA R., 1994, Opracowanie katalogu bezpiecznych pod względem chemicznym materiałów wykończeniowych dla budownictwa – w oparciu o dane zgromadzone w Centralnej Bazie Danych HIGMAT w latach 1992-1993, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- OTSON R., FELLIN Ph., 1992, Volatile organics in the indoor environment: sources and occurrence. in: Nriagu JO (Ed). Gaseous pollutants: Characterization and cycling. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- PLUSCHKE P., 1999, Indoor Air Quality Guidelines, in: Salthammer, T. (ed). Organic Indoor Air Pollutants. Occurrence – Measurement – Evaluation, WILEY-VCH, Germany.
- Raport Głównego Urzędu Statystycznego GUS 1997 - www.stat.gov.pl
- Raport Głównego Urzędu Statystycznego GUS 2004 - www.stat.gov.pl
- SABERSKY R., SINEMA D., SHAIR, F., 1973, Concentrations, decay rates, and removal of ozone and their relation to establishing clean indoor air. *Environ. Sci. Technol.* 7, pp. 347–353.
- WANNER H.,U., 1993, Sources of pollutants in indoor air. *IARC Sci Publ.*,109, pp.19-30.
- WESCHLER CH. J., 2009, Changes In indoor pollutants since 1950s, in: *Atmos. Environ.* 43 pp: 153-169.
- WHO 1989, Indoor air quality: organic pollutants. Euro Reports and Studies No 111. World Health Organization.
- ZABIEGAŁA B., 2006, Organic compounds in indoor environment, *Polish J. of Environ. Stud.* 15, no 3, 383-393.
- ZABIEGAŁA B., 2008, Związki organiczne, ich źródła emisji i wpływ na jakość powietrza wewnętrznego. Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Warszawska, w: Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2007, red. J. Sowa, M. Mijakowski. - Warszawa, pp. 233-254.
- ZABIEGAŁA B., NAMIEŚNIK J., 2007. Use of permeation passive samplers in air monitoring; w: Comprehensive analytical chemistry. Chapter 4./ ed. D. Barcelo. - Amsterdam : Elsevier., - Passive Sampling Techniques in Environmental Monitoring /eds Greenwood, G. Mills, B. Vrana.; Vol. 48, pp. 85-106.
- ZABIEGAŁA B., PARTYKA M., GAWROŃSKA A., WASILEWSKA A., NAMIEŚNIK J., 2007, Screening of volatile organic compounds as a source for indoor pollution, *Int. J. Environment. Health.* - Vol. 1, No 1 pp. 13-28.