

BEATA BAKERA, HELENA GAWROŃSKA

*Wydział Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Nowoursynowska 159, Warszawa 02-776
E-mail: beata_bakera@sggw.pl
 helena_gawronska@sggw.pl*

ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA W POMIESZCZENIACH*

Zanieczyszczenie powietrza, zwłaszcza w terenach zurbanizowanych, stało się ważnym czynnikiem warunkującym jakość życia, samopoczucie i zdrowie człowieka (KLEEBERGER 2003). Z badań wynika, że mieszkańcy miast spędzają do 90% czasu w pomieszczeniach, i jeśli powietrze w nich jest złej jakości, to są oni stale narażeni na jego niekorzystny wpływ (WOOD i współaut. 2001, GAWROŃSKI 2003, KOBAYASHI i współaut. 2007, TARRAN i współaut. 2007, WOLVERTON 2008). Podkreślić należy, że obecnie dotyczy to ponad 50% światowej ludzkiej populacji.

Dość powszechnym jest pogląd, że izolując się od powietrza z zewnątrz, pozostawiamy wszelkie niebezpieczne związki za zamkniętymi szczelnie oknami bądź drzwiami. Paradoksalnie jednak, jak wykazano, poziom zanieczyszczenia powietrza wewnątrz pomieszczeń może być nawet 10-krotnie wyższy od środowiska zewnętrznego, a stężenie niektórych szkodliwych substancji nawet ponad 100-krotnie przekraczać dozwolone normy (WOLVERTON 2008), w tym dotyczące norm dla związków kancerogennych (od 5 do 70 razy) (BRODY 2001). Wprawdzie stężenia te są znacznie niższe w porównaniu do notowanych w pomieszczeniach zakładów przemysłowych i grzewczych oraz do powietrza w pobliżu autostrad (WOOD 2003), to jednak ze względu na czas przebywania człowieka w pomieszczeniach, zanieczyszczone

powietrze stanowić może poważne zagrożenie.

Zanieczyszczenia występujące w powietrzu w pomieszczeniach składają się na tzw. syndrom chorego budynku (ang. sick building syndrom, SBS), są przyczyną szeregu chorób układu oddechowego, krążenia, alergii, co nie tylko pogarsza jakość życia człowieka, ale także obniża wydajność pracy i zwiększa absencje. Szacowany w USA, roczny koszt chorób pochodnych SBS wynosi 57 miliardów dolarów (TUOMAINEN i współaut. 2002).

O ile jakość żywności jest obecnie stosunkowo dobrze kontrolowana i możemy w stosunku do niej dokonywać pewnych wyborów, a z części nawet rezygnować, o tyle w przypadku powietrza takiej możliwości w zasadzie nie mamy. Przy czym pamiętać należy, że w ciągu minuty przez płuca człowieka przepływa 6-10 l powietrza, czyli dziennie około 15 000 l (WOOD i współaut. 2002).

Ludzka ocena jakości powietrza jest głównie związana ze zmysłem węchu, a w mniejszym stopniu z obserwacją. Ocena ta jest często myląca, gdyż zmysły nie są w stanie wyczuć zanieczyszczeń bezwonnych lub źle diagnozują te o przyjemnym zapachu, a przecieź niektóre z nich, nawet w śladowych ilościach, mogą zagrażać zdrowiu i życiu człowieka. Ponadto, gdy ekspozycja na określony zapach trwa dłużej niż minutę, to jego rejestrowanie obniża się, ponieważ receptory za-

*Praca finansowana w ramach projektu „Phytoremediation of air pollutants as a tool of human health risk reduction”, PNRF-193-AI-1/07 w ramach Norweskiego Funduszu Finansowania Badań Naukowych

pachu szybko ulegają „zmęczeniu” (WOOD i współaut. 2002, WOLKOFF i współaut. 2006). Ludzie zawierając swoim zmysłom niejednokrotnie żyją w mylnym przekonaniu o wysokiej jakości otaczającego ich powietrza, gdyż nie wyczuwają nieprzyjemnych zapachów.

Wiele związków szkodliwych dla zdrowia i życia człowieka jest bezwonnych, jak np. tlenek węgla (CO czyli czad) i dwutlenek

węgla (CO₂), a inne charakteryzują się słodkim i przyjemnym dla niektórych zapachem, jak benzen, aceton czy ketony (WOOD 2003).

Organizm ludzki reaguje na zmiany zarówno jakości powietrza, jak i stężeń zanieczyszczeń poniżej ustalonych norm (nawet wówczas, gdy ich nie rejestruje zmysłem węchu), co skutkuje problemami zdrowotnymi (BONNEVIE i FJELD 2002).

ŹRÓDŁA ZANIECZYSZCZEŃ W POMIESZCZENIACH

Podczas podstawowej działalności człowieka do atmosfery emitowane są zanieczyszczenia gazowe: tlenki azotu (NO_x), i węgla (CO, CO₂), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) oraz powstające w wyniku reakcji fotochemicznych ozon (O₃), a także ciała stałe: mikropyły (ang. particulate matter, PM) czy metale ciężkie, które mogą być unoszone w powietrzu i wraz z nim przenoszone na znaczne odległości oraz utrzymywać się w nim przez szereg tygodni (FARMER 2002, GAWROŃSKI 2009).

Zanieczyszczenia w pomieszczeniach pochodzą ze środowiska zewnętrznego, wnikając przez niezbyt szczelne otwory okienne i systemy wentylacyjne (AFSHARI i współaut. 2005).

Źródła tych zanieczyszczeń można podzielić na kilka grup. Do pierwszej należą materiały budowlane, kleje, farby i lakiery stanowiące źródło alkoholi, benzenu, formaldehydu i toluenu. Niektóre uwalniają zanieczyszczenia już podczas ich używania, inne dopiero po upływie pewnego czasu, np. gdy wyschną (KOBAYASHI i współaut. 2007).

Wyposażenie wnętrz, takie jak materiały dekoracyjne, tapety, wykładziny podłogowe i dywany, są z kolei źródłem alkoholi (KOBAYASHI i współaut. 2007, WOLVERTON 2008) i mikropyłów. Obecnie większość dywanów jest produkowana z tworzyw sztucznych, ale i te pochodzenia naturalnego podczas odkurzenia uwalniają cząstki mogące przenikać do układu oddechowego człowieka i podrażniać go (WOLVERTON 2008). Ponadto, są one źródłem szerokiego spektrum zanieczyszczeń: nowe emitują zanieczyszczenia o działaniu drażniącym, a starsze zawierają znaczne ilości mikropyłów, mikroorganizmów czy złuszczonego się naskórka, osadzającego się na włóknach dywanu (WOOD 2003).

Meble i sprzęty coraz częściej są wytwarzane z tworzyw sztucznych łączonych klejami i żywicami, które uwalniają do atmosfery

alkohole, benzen, formaldehyd i inne związki (WOLVERTON 2008). Również meble z płyt wiórowych oraz niektóre materiały izolacyjne stanowią źródło formaldehydu (PASTUSZKA 2004).

Sprzęt elektroniczny, czyli komputery, monitory, telewizory, fotokopiarki czy drukarki, uwalniają do atmosfery amoniak, benzen, toluen, trójchloroetylen oraz mikropyły (WOLVERTON 2008). Jednak nie są one emiterami, dopóki kurz nie zostanie zakumulowany na powierzchni nagrzewającej (AFSHARI i współaut. 2005).

Kolejną grupę stanowią zanieczyszczenia biologiczne: wirusy, bakterie, roztocza, grzyby i wydzielane przez nie toksyny o działaniu drażniącym, alergennym, a nawet kancerogennym.

Inną kategorią źródeł zanieczyszczeń jest aktywność samych użytkowników pomieszczeń. Wykazano, iż rozgrzany na patelni olej jest głównym emiterem mikropyłów, natomiast po położeniu mięsa na patelni ilość mikropyłów każdej z badanych frakcji wielkości obniżała się (AFSHARI i współaut. 2005).

Korzystanie z kuchenek gazowych oraz systemów grzewczych opartych na nafcie stanowi główne źródła NO₂ w pomieszczeniach (D'AMATO i współaut. 2002), a palenie w kominkach, szczególnie w tych, w których pali się drewnem, uwalnia NO₂, SO₂, CO, niespalone węglowodory i aldehydy (BRODY 2001) oraz jest poważnym źródłem mikropyłów (GÓRNY 1995, ŚLIWIŃSKA i ŚLIWOWSKI 2000, DIEZ-ROUX i współaut. 2006). Należy pamiętać, że w wyniku każdego procesu spalania uwalniane są także metale: chrom, kobalt, magnez, nikiel, tytan, wanad, cynk i inne (D'AMATO i współaut. 2002).

Do utrzymania czystości w pomieszczeniach używane są detergenty emitujące szereg zanieczyszczeń, które często mają większy, negatywny wpływ na zdrowie człowieka niż środowisko zewnętrzne (WOOD i współaut. 2002). Są wśród nich m. in. amoniak (KOBAYASHI i

współaut. 2007, WOLVERTON 2008) czy benzen (BRODY 2001), których wtórnym źródłem są np. czyszczone detergentami dywany (WOOD 2003).

Podczas prasowania uwalniane są mikropyły, szczególnie te o średnicy 0,4–0,5 µm, czyli należące do frakcji pyłu drobnego, jednakże poziom mikropylew frakcji bardzo drobnej jest także wysoki i wynosi średnio 7 200 cząstek/cm³ (AFSHARI i współaut. 2005).

Palenie papierosów jest źródłem nie tylko nikotyny, ale także ponad 4000 związków, w tym szeregu kancerogennych, jak: benzen, formaldehyd (WOLVERTON 2008), benzo[a]piren (BRODY 2001) oraz metali ciężkich (kadm, mangan, ołów) (PASTUSZKA 2004) i mikropylew (AFSHARI i współaut. 2005).

Sama obecność człowieka w pomieszczeniach przyczynia się do zanieczyszczenia powietrza, szczególnie, gdy są one szczelnie zamknięte i/lub budowane w sposób zmniejszający straty energii (BRODY 2001, WOLVERTON 2008). Z każdym oddechem, prócz CO₂, człowiek uwalnia około 150 rodzajów lotnych substancji, w tym głównie: aceton, alkohole, amoniak, octan etylu, ale także lotne kwasy tłuszczowe, metan, CO, NO_x oraz siarkowodor (KOBAYASHI i współaut. 2007, WOLVERTON 2008). Badania dowiodły, iż nawet aktywność uznawana za zdrową, jak chodzenie czy ćwiczenia fizyczne, także przyczynia się do zwiększenia w powietrzu ilości mikropylew (AFSHARI i współaut. 2005).

ZANIECZYSZCZENIA W POMIESZCZENIACH A ZDROWIE CZŁOWIEKA

Zanieczyszczone powietrze ma niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka. Związki, które przedostają się do układu oddechowego, bądź mają kontakt ze skórą wywołują różnego rodzaju podrażnienia, choroby oraz wpływają na sferę psychiczną. Powodując obniżenie jakości powietrza narażają człowieka na toksykozy, mutageny, alergię, podnoszą ryzyko chorób układu krążenia, oddechowego i nowotworów, a w skrajnych przypadkach mogą być nawet przyczyną zgonu.

Lotne związki organiczne. Najliczniejszą grupę zanieczyszczeń wewnątrz pomieszczeń stanowią lotne związki organiczne (LZO) (ang. volatile organic compounds, VOC). LZO to grupa substancji, które w normalnych temperaturach pokojowych przechodzą w stan lotny (WOOD i współaut. 2003); są emitowane z najróżniejszych produktów wytwarzanych na bazie benzyny jak np. detergenty czy farby (WOOD 2003, WOOD i współaut. 2006, TARRAN i współaut. 2007), a których stężenie niejednokrotnie może być do 10 razy wyższe w pomieszczeniach niż na zewnątrz (WOOD i współaut. 2006). Do LZO należą: aceton, etanol, etylobenzen, ksylen, limonen, toluen (WOOD i współaut. 2006) oraz dwa najczęściej występujące w pomieszczeniach: neurotoksyna n-heksan (WOOD i współaut. 2001, 2002) i benzen (WOOD i współaut. 2001). Silnie toksycznym związkiem jest gazowy, kancerogeny benzo[a]piren, którego koncentracja w pomieszczeniach bywa tak wysoka, iż dzieci żyjące w miastach mogą przyjmować wraz z każdym oddechem równowartość benzo[a]pirenu

pobranego w wyniku palenia trzech papierosów dziennie (BRODY 2001).

LZO odpowiadają za podrażnienia oczu i układu oddechowego (WOOD i współaut. 2002, WOLKOFF i współaut. 2005). W zależności od podatności osobniczej na oddziaływanie tych związków symptomy mogą ograniczyć się do swędzenia, suchości oczu, ale także mogą wywoływać silny ból i pieczenie (WOLKOFF i współaut. 2005). Ponadto wymienia się również znużenie, podrażnienia nosa i skóry, bóle głowy (WOOD i współaut. 2003) oraz obniżoną wydajność (WOOD i współaut. 2002).

Cztery główne związki zaliczane do LZO to benzen, toluen, etylobenzen oraz ksylen (BTEX), zwane „brudną czwórka” (TARRAN i współaut. 2007). Nawet krótka ekspozycja na ich obecność może prowadzić do zawrotów głowy, mdłości, problemów z koncentracją i oddychaniem. Permanentny kontakt nawet z jednym ze wspomnianych związków może skutkować chorobą układu oddechowego i efektem teratogennym, gdyż benzen (COSTA i współaut. 1995, WOOD i współaut. 2002) i ksylen są kancerogenne (WOOD i współaut. 2006), a w środowisku są dość powszechne, ponieważ ich powstawanie jest powiązane z produkcją benzyny (DOTY i współaut. 2007).

Formaldehyd (HCHO) to wszechobecne zanieczyszczenie powietrza, które sklasyfikowano, jako mutagenne i potencjalnie kancerogenne (GIESE i współaut. 1994, SCHÄFFNER i współaut. 2002). Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi przez US Environmental Protection Agency (US EPA) w nowym biu-

rowcu stężenie formaldehydu wynosi 0,173 $\mu\text{g}/\text{l}$ powietrza, czyli w pomieszczeniu o powierzchni 9,3 m^2 i wysokości 2,4 m znajduje się 3916 μg formaldehydu (WOLVERTON i WOLVERTON 1993). Udokumentowano liczne problemy zdrowotne, których przyczynę upatruje się w kontakcie z formaldehydem, a wśród nich: podrażnienia oczu, nosa, gardła, pieczenie skóry, kaszel, chrypkę, zapalenie krtani, ból głowy, mdłości, wymioty, duszności, astmę, przewlekłe choroby układu oddechowego, nowotwory oraz problemy natury neuropsychicznej (TSENG i współaut. 2005, WOLVERTON 2008). Niska wilgotność powietrza przyczynia się do nasilenia podrażnienia oka ludzkiego przez ten związek (WOLKOFF i współaut. 2006), a także zwiększone ryzyko wrażliwości dzieci na inne alergeny.

Od 2000 r. norma stężenia formaldehydu, ze względu potencjalną kancerogenność tego związku, została w USA obniżona i wynosi 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (DAISEY i współaut. 2003). Zgodnie z dyrektywami World Health Organization (WHO), dopuszczalne stężenie formaldehydu nie powinno przekraczać 0,08 ppm/30min/osobę, jednakże w większości państw normy wahają się od 0,08-1 ppm (TSENG i współaut. 2005).

Dwutlenek azotu (NO_2) za sprawą potencjału oksydacyjnego oraz ograniczonej rozpuszczalności jest związkiem dotkliwie podrażniającym płuca, który przy wysokich stężeniach może prowadzić do poważnego ich uszkodzenia, a nawet zgonu. NO_2 wchodzi w reakcje zarówno z płynem zawartym w pęcherzykach płucnych, jak i z błoną komórkową, powodując wytwarzanie reaktywnych form tlenu (RFT) i związków azotu (wolnych rodników), uszkadzających DNA (FRAMPTON i współaut. 2001).

W USA wprowadzono normy dla NO_2 wynoszące 0,053 ppm (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), przy czym w Kalifornii dopuszcza się 0,25 ppm na godzinę przy krótkiej ekspozycji. Koncentracja NO_2 w pomieszczeniach często jest wyższa aniżeli na zewnątrz i może osiągać nawet 2 ppm (ok. 3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), przekraczając normy National Ambient Air Quality Standard aż 38-krotnie (FRAMPTON i współaut. 2001).

NO_2 przyczynia się do wzrostu liczby dzieci uskarżających się na problemy z oddychaniem, zwiększonej śmiertelności w wyniku arytmii serca u osób z zaimplantowanymi stymulatorami oraz wywołuje podwyższoną śmiertelność wewnątrzmaciczną (poronienia). Po 3 i pół godzinnej ekspozycji na stężenie 0,61 ppm i 1,5 ppm, niezależnie od

płci, rejestruje się spadek liczby erytrocytów, ilości hemoglobiny, wszystkich rodzajów leukocytów oraz zwiększoną podatność na choroby wirusowe.

Dla zdrowych osób wpływ NO_2 nie stanowi poważnego zagrożenia, ale dzieci, osoby starsze czy osoby z chorobami serca i układu oddechowego stanowią grupę ryzyka, dla których nawet nieznaczne zwiększenie poziomu NO_2 w powietrzu może powodować różnorakie problemy zdrowotne (FRAMPTON i współaut. 2001). Wysokie stężenie NO_2 jest powiązane z infekcjami układu oddechowego oraz nocnym kaszlem (JUST i współaut. 2002). Badania na zdrowych, niepalących osobach wykazały, iż NO_2 powoduje również stany zapalne (MAHESWARAN i współaut. 2005a).

W miastach, w których notuje się wysokie stężenie tlenków azotu ryzyko zgonu z powodu zawału serca wynosi 17%. Chroniczna ekspozycja na działanie NO_x skutkuje podwyższeniem ryzyka śmiertelnego zawału serca o 1,08% z każdym zwiększeniem koncentracji tych związków o 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ powietrza. Ciągły kontakt z NO_2 podnosi ilość trójglicerydów i obniża poziom „dobrego” (HDL) cholesterolu w stosunku do poziomu całkowitego cholesterolu u skłonnych do otyłości szczurów (MAHESWARAN i współaut. 2005b).

Tlenek węgla (CO) jest najbardziej toksycznym produktem spalania (TARRAN i współaut. 2007). Ze względu na większe powinowactwo do hemoglobiny przyłącza się do niej, zajmując miejsce tlenu, co prowadzi do śmierci w wyniku uduszenia. Ponieważ jest gazem bezwonny, zwany jest podstępny, cichym zabójcą (BRODY 2001).

Mikropyły to rodzaj zanieczyszczeń, do których powstania w pomieszczeniach przyczyniają się transport samochodowy, przemysł grzewczy, paleniska domowe, smażenie, używanie kominków i inne. Zanieczyszczenia te według *European Environmental Agency* (EEA 2007) w ostatnich latach uznano za jedno z najgroźniejszych dla życia i zdrowia człowieka. Według D'AMATO i współaut. (2002) mikropyły w skali całego świata, są odpowiedzialne za około 500 000 zgonów rocznie. Uważa się je za drugi, po tytoniu, czynnik odpowiedzialny za raka płuc oraz za przyczynę skracania życia średnio w Europie o 8-9 miesięcy, w tym w Finlandii o 4 miesiące, ale w bardziej uprzemysłowionych rejonach (Górnośląski Okręg Przemysłowy, Po Vale we Włoszech, pogranicze Niemiec i Belgii) aż o 3 lata (EEA 2007).

Mikropyły są mieszaniną cząstek fazy stałej i ciekłej o różnej wielkości, pochodzeniu oraz składzie, o działaniu alergennym. Według średnicy najczęściej wyróżnia się cztery frakcje: pył gruby \varnothing 10–100 μm , średni \varnothing 2,5–10 μm , drobny \varnothing 0,01–2,5 μm oraz super drobny \varnothing poniżej 0,01 μm .

W Polsce obowiązują normy unijne dopuszczające średnią roczną zawartość mikropyłów grubych frakcji PM_{10} na poziomie $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ powietrza; możliwe jest przekroczenie normy do poziomu $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, ale maksymalnie przez 35 dni w roku. Unia Europejska wystosowała dyrektywę, by od 2020 r. obniżyć dopuszczalny poziom PM_{10} do $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ (EEA 2007).

Podkreślić należy, że w niektórych miastach w Polsce dopuszczalny limit 35 dni w roku z poziomem mikropyłów $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ jest osiągnięty już w marcu/kwietniu. Nie jesteśmy w stanie sprostać obecnym normom, a więc spełnienie bardziej restrykcyjnych wymagań od 2020 r. będzie trudne do spełnienia (prof. Gawroński, informacja ustna).

Według WHO (2012), normy stężenia PM_{10} są przekraczane w 55 dużych miastach Europy. W Polsce listę tę otwiera Kraków z wartością średnią $64\mu\text{g}/\text{m}^3$ w roku.

Problemy zdrowotne wynikające z ekspozycji na działanie mikropyłów to stany zapalne dróg oddechowych, zawały serca, zaburzenia działania rozruszników serca, układu bodźco-przewodzącego serca, co zwiększa ryzyko śmierci wynikającej z chorób niedokrwienych (TORÉN i współaut. 2007). U wielu osób kontakt z mikropyłami prowadzi do nadwrażliwości na alergeny, a w konsekwencji do astmy czy chronicznego zapalenia płuc. Badania wykazały, że mikropyły indukują proces apoptozy w komórkach nabłonkowych płuc i komórkach nerwowych (AGOPYAN i współaut. 2004).

Wysokie stężenia PM_{10} bardziej przyczyniają się do wzrostu liczby przypadków zapalenia płuc i przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (COPD) w dorosłym życiu bardziej niż inne czynniki ryzyka (FUJII i współaut. 2003).

Według D'AMATO i współaut. (2002) oraz MAHESWARAN i współaut. (2005b) mikropyły frakcji drobnej odpowiadają za stan zapalny pęcherzyków płucnych. Penetrując dogłębnie drogi oddechowe przyczyniają się do koagulacji krwi oraz do uwalniania cytokin, co w konsekwencji może prowadzić do udaru. Super drobny pył może wnikać także do krwioobiegu, a wraz z krwią do różnych narządów (NEMMAR i współaut. 2002).

Mikropyły wywołują także systemiczną odpowiedź immunologiczną, która prowadzi do uwolnienia niedojrzałych granulocytów ze szpiku kostnego (GOTO i współaut. 2004).

Zanieczyszczenia biologiczne. Roztocza uwalniają alergeny, które mogą powodować alergię i astmę u osób wrażliwych. Ich koncentracja w kurzu na poziomie $2000\text{ ng}/\text{g}$ może wywołać uczulenie u osób z predyspozycjami genetycznymi do alergii, a na poziomie $10\ 000\text{ ng}/\text{g}$ wiąże się z ryzykiem wystąpienia astmy u dzieci. Ekspozycja na zarodniki grzybów w pomieszczeniach skutkuje odpowiedzią alergiczną u osób wrażliwych, z objawami ciekącego nosa, zażawionych oczu, kaszlu, kichania i gorączki (DAISEY i współaut. 2003).

Reasumując, w mieszkaniach, biurach oraz w innych pomieszczeniach publicznych człowiek jest stale narażony na działanie szkodliwych dla zdrowia związków pochodzących z różnych źródeł. W tej sytuacji nasuwa się pytanie, czy mamy szansę na zmniejszenie skutków złej jakości powietrza. O ile w usuwaniu zanieczyszczenia gleb i wód można stosować różne metody, o tyle w oczyszczaniu powietrza w przestrzeni otwartej z nielicznymi wyjątkami możliwa jest jedynie technologia fitoremediacji, tj. uprawa roślin wraz z towarzyszącymi im mikroorganizmami, które pochłaniając, rozkładając lub detoksyfikując zanieczyszczenia obniżają ich poziom. Technologię tę, oprócz rozwiązań technicznych, można również zaproponować do oczyszczania powietrza w pomieszczeniach (GAWROŃSKA i BAKERA 2014).

ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA W POMIESZCZENIACH

Streszczenie

Zanieczyszczenie powietrza pociąga za sobą koszty zarówno w wymiarze zdrowotnym jak i ekonomicznym. Chociaż większość ludzi jest świadoma zagrożeń wynikających z zanieczyszczonego

powietrza to zazwyczaj łączy je z powietrzem zewnętrznym, zaś obecne w pomieszczeniach uznają za bezpieczne. Materiały budowlane, umeblowanie, dekoracje mieszkań i biur, szereg urządzeń oraz co-

dziennych czynności uwalnia szkodliwe związki. Ich stężenia mogą być nawet 10 krotnie wyższe niż występujące na zewnątrz z wyjątkiem sąsiedztwa z trasami szybkiego ruchu, zakładów produkcyjnych

i energetycznych. Niniejszy artykuł charakteryzuje źródła i ich rodzaje zanieczyszczeń obecnych w pomieszczeniach mieszkalnych i publicznych.

INDOOR AIR POLLUTION

Summary

Air pollution entails costs both in health and economic terms. Although most people are aware of the dangers of contaminated air they usually combine pollutions with the outside air and consider indoor air as safe. Building materials, furnishings, decorations of apartments and offices, a number of facilities and daily activities release harmful com-

pounds. Their concentrations can be up to 10 times higher than those in the outside, excepting the neighborhood of fast motion routes, manufactures, energy plants etc. This article characterizes sources and types of pollutants present in residential and public buildings.

LITERATURA

- AFSHARI A., EKBERG L. E., MATSON U., 2005. *Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles a study conducted in a full-scale chamber*. Indoor Air 15, 141-150.
- AGOPYAN N., HEAD J., YU S., SIMON S. A., 2004. *TRPV1 receptors mediate particulate matter induced apoptosis*. Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol. 286, 563-572.
- BONNEVIE CH., FJELD T., 2002. *The effect of plants and artificial day-light on the well-being and health of office workers, school children and health care personnel*. The Plants for People Symposium, Floriada, 1-10.
- BRODY J. E., 2001. *Another source of air pollution: The Home*. The New York Times, January.
- COSTA P., ENG C., JAMES R. W., 1995. *Constructive use of vegetation in office buildings*. Proceedings the Plants for People Symposium, 23 XI 1995, Haga, Holandia, 1-23.
- DAISEY J. M., ANGELL W. J., APTE M. G., 2003. *Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information*. Indoor Air 13, 53-64.
- D'AMATO G., LICCARDI G., D'AMATO M., CAZZOLA M., 2002. *Outdoor air pollution, climatic changes and allergic bronchial asthma*. Eur. Respirat. J. 20, 763-776.
- DIEZ-ROUX A. V., AUCHINCLOSS A. H., ASTOR B., BARR R. G., CUSHMAN M., DVONCH T., JACOBS JR. D. R., KAUFMAN J., LIN X., SAMSON P., 2006. *Recent exposure to particulate matter and C-reactive protein concentration in the multi-ethnic study of atherosclerosis*. Am. J. Epidemiol. 164, 437-448.
- DOTY S. L., JAMES C. A., MOORE A. L., VAJZOVIC A., SINGLETON G. L., MA C., KHAN Z., XIN G., KANG J. W., PARK J. Y., MEILAN R., STRAUSS S. H., WILKERSON J., FARIN F., STRAND S.E., 2007. *Enhanced phytoremediation of volatile environmental pollutants with transgenic trees*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 104, 16816-16821.
- EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY), 2007. *Air pollution in Europe 1990-2004*. Report No 2.
- FARMER A., 2002. *Effects of particulates*. [W:] *Air pollution and plant life*. BELL J. N. B., TRESHOW M. (red.). Hoboken, John Wiley & Sons, Inc., 187-199.
- FRAMPTON M. W., FRASIER L. M., TORRES A., TSAI Y., 2001. *Nitrogen dioxide exposure: effects on airway and blood cells*. Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol. 282, 155-165.
- FUJII T., HOGG J. C., KEICHO N., VINCENT R., VAN EEDEN S. F., HAYASHI S., 2003. *Adenoviral E1A modulates inflammatory mediator expression by lung epithelial cells exposed to PM10*. Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol. 284, 290-297.
- GAWROŃSKA H., BAKERA B., 2014. *Phytoremediation of particulate matter from indoor air by Chlorophytum comosum L. plants*. Air Qual. Atmos. Health DOI 10.1007/s11869-014-0285-4.
- GAWROŃSKI S. W., 2003. *Nowa rola roślin ogrodniczych – fitoremedianci*. Folia Hortic. 1, 441-443.
- GAWROŃSKI S. W., 2009. *Fitoremediacja - rośliny jako narzędzia w oczyszczaniu powietrza na terenach zurbanizowanych*. Materiały z seminarium II Wiosennej Wystawy Szkółkarskiej. 26-27 II 2009, Pęczcin k. Ciechanowa, Polska, 5-12.
- GIESE M., BAUER-DORANTH U., LANGEBAEDEL C., SANDERMANN H., 1994. *Detoxification of formaldehyde by the spider plant (Chlorophytum comosum) and by soybean (Glycine max L.) cell-suspension culture*. Plant Physiol. 104, 1301-1309.
- GOTO Y., ISHII H., HOGG J. C., SHIH C.-H., YATERA K., VINCENT R., VAN EEDEN S. F., 2004. *Particulate matter air pollution stimulates monocyte release from the bone marrow*. Am. J. Respirat. Crit. Care Med. 170, 891-897.
- GÓRNY R., JĘDRZEJCZAK A., PASTUSZKA J., 1995. *Cząstki pyłu i metale w powietrzu zewnętrznym i w pomieszczeniach na Górnym Śląsku*. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny 46, 151-161.
- JUST J., SEGALA C., SAHRAOUI F., PRIOL G., GRIMFELD A., NEUKIRCH F., 2002. *Short-term health effects of particulate and photochemical air pollution in asthmatic children*. Eur. Respirat. J. 20, 899-906.
- KLEEBERGER S. R., 2003. *Genetic aspects of susceptibility to air pollution*. Eur. Respirat. J. 21, 52-56.
- KOBAYASHI K. D., KAUFMAN A. J., GRIFFIS J., MCCONNELL J., 2007. *Using houseplants to clean indoor air*. Ornament. Flowers, OF-39.
- MAHESWARAN R., HAINING R. P., BRINDLEY P., LAW J., PEARSON T., FRYERS P. R., WISE S., CAMPBELL M. J., 2005a. *Outdoor air pollution, mortality, and hospital admissions from coronary heart disease in Sheffield, UK: a small-area level ecological study*. Eur. Heart J. 26, 2543-2549.
- MAHESWARAN R., HAINING R. P., BRINDLEY P., LAW J., PEARSON T., FRYERS P. R., WISE S., CAMPBELL M. J., 2005b. *Outdoor air pollution and stroke in*

- Sheffield, United Kingdom: A small-area level geographical study. *Stroke* 36, 239-243.
- NEMMAR A., HOET P. H. M., VANQUICKENBORNE B., DINDALE D., THOMEER M., HOYLAERTS M. F., VANBILLOEN H., MORTELMANS L., NEMERY B., 2002. *Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans*. *Circulation* 105, 411-414.
- PASTUSZKA J., 2004. *Zanieczyszczenie powietrza pomieszczeń*. http://www.ietu.katowice.pl/wpr/Dokumenty/e-biuletyn/e-biuletyn_numer4.pdf.
- SCHÄFFNER A., MESSNER B., LANGEBARTELS C., SANDERMANN H., 2002. *Genes and enzymes for in-plant, phytoremediation of air, water and soil*. *Acta Biotechnol.* 22, 141-152.
- ŚLIWIŃSKA E., ŚLIWOWSKI L., 2000. *Zdrowotne aspekty opalania drewnem*. *Info. Instal* 3, 30-31.
- TARRAN J., TORPY F., BURCHETT M., 2007. *Use of pot-plants to cleanse indoor air-research review*. Proceedings of 6th International Conference on Indoor Air Quality Ventilation & Energy, Conservation in Buildings Sustainable Built Environment, 28-31 X 2007, Sendai, Japan 3, 249-256.
- TORÉN K., BERGDAHL I., NILSSON A. T., JARVHOLM B., 2007. *Occupational exposure to particulate air pollution and mortality due to ischaemic heart disease and cerebrovascular disease*. *Occup. Environ. Med.* 64, 515-519.
- TSENG C.-H., HSIEH C.-D., CHEN S.-S., 2005. *The removal of indoor formaldehyde by various air cleaners*. Proceedings of the Air and Waste Management Association's 98th Annual Conference, Minneapolis, 457.
- TUOMAINEN M., SMOLANDER J., KURTNITSKI J., PALONEN J., SEPPANEN O., 2002. *Modelling the cost of effects of the indoor environment*. *Indoor Air* 2002 Monterey, California, 814-819.
- WHO, 2012. *Public Health and Environment (PHE)*. Database: outdoor air pollution in cities. www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases.
- WOLKOFF P., WILKINS C. K., CLAUSEN P. A., NIELSEN G. D., 2006. *Organic compounds in office environments – sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry*. *Indoor Air* 16, 7-19.
- WOLVERTON B. C., 2008. *How to grow fresh air: 50 Houseplants that purify your home or office*. Penguin Books.
- WOLVERTON B. C., WOLVERTON J. D., 1993. *Plants and soil microorganisms: removal of formaldehyde, xylene and ammonia from the indoor environment*. *J. Mississippi Acad. Sci.* 38, 11-15.
- WOOD R. A., 2003. *Improving the indoor environment for health, well-being and productivity*. [W:] *Greening Cities: a new urban ecology*. 30 IV 2003, Australian Technology Park, Sydney.
- WOOD R., BURCHETT M., ORWELL R., TARRAN J., TORPY F., ALQUEZAR R., 2001. *Pot-plants really do clean indoor air*. *Nurs. Papers* 1, 1-4.
- WOOD R. A., BURCHETT M. D., ORWELL R. A., TARRAN J., TORPY F., 2002. *Plant/soil capacities to remove harmful substances from polluted indoor air*. *J. Horticult. Sci. Biotechnol.* 71, 120-129.
- WOOD R., BURCHETT M. D., ORWELL R., TARRAN J., TORPY F., ALQUEZAR R., 2006. *The potted – plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: I. Office Field-Study*. *Water Air Soil Pollut.* 175, 163-180.