

LUCYNA KAPKA<sup>1,2</sup>, LESZEK WDOVIK<sup>2,3</sup>

NEGATYWNE SKUTKI ZDROWOTNE WYWOŁYWANE PRZEZ  
PYŁOWE ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA

*NEGATIVE HEALTH EFFECTS INDUCED BY AIRBORNE PARTICLES*

*НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ВЫЗВАННЫЕ  
ПЫЛЕВЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ВОЗДУХА*

*НЕСПРИЯТЛИВІ НАСЛІДКИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ВИКЛИКАНІ ПИЛОВИМ  
ЗАБРУДНЕННЯМ ПОВІТРЯ*

<sup>1</sup> Z Samodzielnej Pracowni Biologii Molekularnej  
Instytutu Medycyny Wsi im. W. Chodźki w Lublinie  
Kierownik Pracowni: dr n. med. L. K a p k a

<sup>2</sup> Z Katedry Zdrowia Publicznego  
Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie  
Kierownik Katedry: prof. zw. dr hab. n. med. L. W d o w i a k

<sup>3</sup> Z Krajowego Obserwatorium Zdrowia i Bezpieczeństwa Pracowników Rolnictwa  
Instytutu Medycyny Wsi im. W. Chodźki w Lublinie  
Kierownik Obserwatorium i Dyrektor Instytutu: prof. dr hab. n. med. L. W d o w i a k

W pracy omówiono negatywne skutki zdrowotne wywoływane przez pyłowe zanieczyszczenia powietrza oraz znaczenie monitoringu narażenia środowiskowego.

**SŁOWA KLUCZOWE:** pył zawieszony, zanieczyszczenia powietrza, skutki zdrowotne.  
**KEY WORDS:** *airborne particles, air pollutions, health effects.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *взвешенные частицы, загрязнение воздуха, последствия для здоровья.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *зважені частинки, забруднення повітря, наслідки для здоров'я.*

Do szkodliwych zanieczyszczeń powietrza (ang. *Hazardous Air Pollutants*; HAP) zaliczane są związki chemiczne, które mogą wywoływać poważne skutki zdrowotne oraz zmiany w środowisku. Zanieczyszczenia powietrza dzieli się na gazowe (gazy i pary) oraz stałe, występujące najczęściej w postaci aerozolu jako tzw. pył zawieszony, złożony z cząstek pochodzenia naturalnego lub antropogenicznego na powierzchni których adsorbują się związki o właściwościach cytotoksycznych i genotoksycznych. Badanie ich wpływu na zdrowie ludzi jest skomplikowanym procesem, gdyż wiele z nich jest trudno analitycznie (ilościowo i jakościowo) scharakteryzować, a szereg z nich wchodząc między sobą w reakcje, może działać antagonistyczne

lub synergistyczne. Wiele związków chemicznych stanowiących zanieczyszczenia powietrza może ponadto działać zgodnie z różnorodnymi mechanizmami toksokinetycznymi oraz posiadać wiele komórkowych systemów docelowych [8].

#### CHARAKTERYSTYKA PYŁOWYCH ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA

Pyłowe zanieczyszczenia powietrza powstają w trakcie spalania paliw, zwłaszcza w silnikach wysokoprężnych, przy budowie i naprawie dróg, mieszania i rozrzucania nawozów i środków ochrony roślin oraz w czasie niektórych procesów technologicznych np.: produkcji stali, wydobywania węgla i wytwarzania energii elektrycznej oraz spalania związanego z używaniem pieców węglowych i kominków [10].

Pyłowe zanieczyszczenia powietrza pochodzące ze źródeł przemysłowych stanowią zróżnicowaną mieszaninę związków z różnych grup i podgrup zanieczyszczeń reprezentowanych przez wiele różnorodnych związków chemicznych. Ze względu na masę i skład dzieli się je na dwie grupy główne: cząstki gruboziarniste o średnicy aerodynamicznej od 2,5 do 10 $\mu\text{m}$  (ang. *Particulate Matter*; PM<sub>10</sub>) i drobne – poniżej 2,5 $\mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>). Cząstki duże są emitowane przede wszystkim przez pojazdy jeżdżące po nieutwardzonej nawierzchni, podczas przewozu różnych materiałów, ich rozdrabniania i kruszenia, a także w wyniku tzw. pylenia wtórnego. Drobne cząsteczki pochodzą głównie ze spalania paliw w silnikach, elektrociepłowniach, zakładach przemysłowych oraz paleniskach domowych. Niektóre cząstki są emitowane bezpośrednio ze źródeł, natomiast w pozostałych przypadkach gazy wchodzi w interakcje z innymi związkami obecnymi w atmosferze i tworzą pył, którego skład warunkują: źródło, pora roku oraz warunki meteorologiczne [10,13].

Większość zanieczyszczeń w atmosferze, które posiadają właściwości genotoksyczne jest zaadsorbowana na pyłe zawieszonym. Za szkodliwy wpływ organicznych związków zanieczyszczających powietrze na zdrowie człowieka oraz środowisko przyrodnicze są głównie odpowiedzialne: wielopierścieniowy materiał organiczny (ang. *Polycyclic Organic Matter*; POM) oraz specyficzne emisje przemysłowe. W powietrzu atmosferycznym znajdują się szczególnie niebezpieczne dla zdrowia substancje wykazujące właściwości mutagenne i kancerogenne. Należą do nich m.in. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne oraz ich nitrowe- i aminowe pochodne [9].

#### DEPOZYCJA CZĄSTEK PYŁU

Część wchłanianego aerozolu jest deponowana w drogach oddechowych a pozostała wydychana. Miejsce depozycji wchłoniętych cząstek w układzie oddechowym warunkuje mechanizm oddychania oraz rozmiary cząstek.

Podczas oddychania nosem duże cząstki ( $10\mu\text{m}$  i powyżej) osadzają się głównie w górnych odcinkach układu oddechowego (powyżej nagłośni), natomiast cząstki o rozmiarze  $5\text{-}10\mu\text{m}$  deponowane są w dolnym odcinku układu oddechowego. W pęcherzykach płucnych cząsteczki pyłów pozostają przez pewnie okres czasu, a związki zaadsorbowane na ich powierzchni ulegają rozpuszczeniu i przenikają do krwi. Trudno rozpuszczalne związki są wchłaniane na drodze fagocytozy, a zanieczyszczenia pochłonięte przez makrofagi wędrują i osadzają się w przywnekowych węzłach chłonnych. Podczas oddychania ustami cząsteczki o średnicy aerodynamicznej poniżej  $2,5\mu\text{m}$  odkładają się głównie w płucach; większe ( $3\text{-}5\mu\text{m}$ ) w płucach oraz tchawiczno-oskrzelowej części układu oddechowego, a cząsteczki o rozmiarach  $7\text{-}15\mu\text{m}$  osadzają się głównie w części tchawiczno-oskrzelowej [1,6,10].

Cząstki respirabilne posiadają duże znaczenie biologiczne, ponieważ ich stosunkowo długie czasy półtrwania w atmosferze, warunkują większe prawdopodobieństwo przedostania się do układu oddechowego człowieka, dłuższe zaleganie w płucach oraz wolniejsze usuwanie z pozbawionych nabłonka migawkowego części układu oddechowego. W zależności od miejsca depozycji oraz rozpuszczalności substancji zaadsorbowanych na cząstkach respirabilnych, komórki układu oddechowego mogą być m.in. długotrwale narażone na związki mutagenne. Budowa pęcherzyków płucnych, czyli duża powierzchnia wymiany oraz dobre ukrwienie sprzyja absorpcji rozpuszczalnych związków mutagennych, które po przedostaniu się do układu krwionośnego mogą wpływać na inne, czasem bardziej wrażliwe tkanki. Nie można także pominąć potencjalnego ryzyka związanego z narażeniem na duże cząsteczki. Z układu oddechowego migrują one do układu pokarmowego, gdzie związki mutagenne mogą zostać rozpuszczone i zaadsorbowane w jelicie. Następnie po przedostaniu się do układu krwionośnego powodują dalszą ekspozycję [8,10,13].

#### SKUTKI ZDROWOTNE

Istotny wpływ stopnia zanieczyszczenia powietrza na zdrowie człowieka zauważono po serii wydarzeń, które miały miejsce na początku i w połowie XX wieku. Jednym z nich było stwierdzenie 4000 przypadków zgonu jako konsekwencji smogu w 1952 roku w Londynie, który składał się głównie z  $\text{SO}_2$  oraz pyłu zawieszonego [3]. Jedną z pierwszych baz danych epidemiologicznych dotyczących analizy wpływu zanieczyszczeń atmosfery powstała w późnych latach 80 i 90-tych, w XX w. najpierw w USA, a później w Europie. Jako jednostkę analizy przyjęto wówczas 1 dzień, a następnie próbowano znaleźć korelację pomiędzy występowaniem przypadków zgonu lub przyjęć do szpitala a średnimi dziennymi stężeniami zanieczyszczeń takich jak pył zawieszony,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  i  $\text{O}_3$ , przy uwzględnieniu tzw. czynników zakłócających [13].

Zanieczyszczone powietrze wywołuje u narażonych ludzi różnorodne dolegliwości oraz negatywne skutki zdrowotne. Ludzie starsi, dzieci i chorujący na przewlekłe choroby układu oddechowego czy np. grypę, mają szczególną podatność na wpływ pyłowych zanieczyszczeń. Ostre skutki zdrowotne to np. pogorszenie istniejącej choroby (np. wzrost częstości i ostrzejszy przebieg ataków astmy), ostre infekcje dróg oddechowych (np. wzrost częstości chorób układu oddechowego u dzieci), przejściowe zaburzenia funkcji płuc i reakcje alergiczne. Bardzo prawdopodobne jest, że długotrwałe narażenie na zanieczyszczone powietrze powoduje również chroniczne skutki zdrowotne [6,10,13]. Obejmują one długotrwałe upośledzenie funkcji płuc, przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (np. zapalenie oskrzelików), zmiany neurobehavioralne, choroby serca, wady wrodzone i nowotwory. Przykładowo populacja ludzi urodzonych pod koniec dziewiętnastego wieku w Anglii, którzy przez całe życie byli narażeni na zanieczyszczenia obecne w powietrzu, charakteryzowała się podwyższonym ryzykiem rozwoju przewlekłego zapalenia oskrzeli i wcześniejszego zgonu, jako konsekwencji tej choroby [4]. Badania populacyjne przeprowadzone wśród mieszkańców amerykańskich miast wykazały istotną zależność pomiędzy długotrwałym narażeniem na drobne cząstki, a standaryzowanym wskaźnikiem umieralności [12].

Układ oddechowy stanowi wrota, przez które wnikają do organizmu cząstki respirabilne - pyły i substancje lotne. Skrajnym przykładem szkodliwego działania pyłów z jednej strony są trwale zmiany pod postacią pylicy u osób narażonych np. na krzemionkę, jak również pierwotnie odwracalne zmiany w astmie. Pyły przenikają przez błonę pęcherzyków płucnych do tkanki śródmiąższowej, gdzie zostają sfagocytowane przez makrofagi, prowadząc do ich aktywacji. Makrofagi odgrywają kluczową rolę zarówno w ostrym jak i przewlekłym stanie zapalnym. Aktywowane makrofagi wydzielają szereg cytokin m.in. indukujących odpowiedź zapalną, reakcje alergiczne oraz pobudzających fibroblasty tkanki śródmiąższowej do wydzielania włókien retikuliny i kolagenu.

Makrofagi pęcherzyków płucnych, obok komórek migawkowych nabłonka oskrzeli, stanowią obronę organizmu przed wnikającymi zanieczyszczeniami, ze względu na zachodzącą fagocytozę cząstek respirabilnych, które następnie są w nich akumulowane i osiągają duże stężenia. Kluczową rolę makrofagów w oczyszczaniu dróg oddechowych dobrze ilustruje fakt częstszego zapadania na schorzenia infekcyjne dolnych dróg oddechowych u palaczy papierosów, u których przewlekła ekspozycja na dym tytoniowy upośledza funkcje komórek żernych [6,8].

Skutki zdrowotne, jakie pył zawieszony może wywołać u ludzi są związane z wahaniami poziomu frakcji  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$ . Udowodniono, że długotrwałe narażenie na niskie stężenia PM w powietrzu atmosferycznym wpływa na

wzrost wskaźnika umieralności oraz podnosi zapadalność na zapalenie oskrzeli lub powoduje zmniejszenie się wydolności płuc. Przeprowadzone w USA badania kohortowe ujawniły, że oczekiwana długość życia może być o 2-3 lat krótsza w regionach o podwyższonych stężeniach pyłu zawieszonego w powietrzu. Potwierdziły one wyniki wcześniejszych badań przekrojowych, w których porównywano standaryzowane wiekiem współczynniki umieralności z zakresem długotrwałych średnich stężeń pyłu zawieszonego [10].

Wielkość cząstek jest także ważnym czynnikiem wpływającym na efekt biologiczny, w tym mutageny, ponieważ mniejsze cząstki, ze względu na większą powierzchnię, adsorbują więcej zanieczyszczeń organicznych w przeliczeniu na masę pyłu. Zaobserwowano wyraźny związek między wzrostem efektu mutagennego, a zmniejszaniem się średnicy aerodynamicznej zarówno w przypadku lotnych pyłów jak i pyłów zawieszonych w powietrzu. Zaadsorbowane na powierzchni cząstek PM<sub>10</sub> związki, indukują wyższy efekt mutageny niż ekstrakty z prób całkowitego pyłu zawieszonego [10]. Efekt mutageny jest najczęściej skorelowany z potencjałem rakotwórczym, dlatego czynniki środowiskowe odgrywają istotną rolę w etiologii raka płuc. O związku pomiędzy małą średnicą cząstek pyłu a indukcją procesu nowotworowego w płucach świadczą również dane epidemiologiczne [11].

#### ZNACZENIE MONITORINGU NARAŻENIA ŚRODOWISKOWEGO

W ostatnich latach można zaobserwować wzrost zainteresowania szkodliwymi skutkami zdrowotnymi spowodowanymi narażeniem na zanieczyszczenia występujące w złożonych mieszaninach. To zjawisko zostało poparte badaniami laboratoryjnymi na zwierzętach, które wykazały aktywność rakotwórczą pyłów zawieszonych w powietrzu oraz badaniami epidemiologicznymi, które potwierdziły związek pomiędzy zapadalnością na nowotwory płuc, a wielkością efektu mutagennego ekstraktów pyłowych zanieczyszczeń powietrza. Wiele badań potwierdziło, że substancje genotoksyczne, w tym mutagenne zawarte w powietrzu atmosferycznym pochodzą ze spalania substancji organicznych, różnych procesów przemysłowych oraz powstają w wyniku reakcji fotochemicznych. Bardzo ważnym problemem jest więc określenie źródeł substancji genotoksycznych w powietrzu atmosferycznym na obszarach zanieczyszczonych oraz określenie ich poziomu.

Podstawowym zjawiskiem w procesie kancerogenezy jest uszkodzenie lub mutacja DNA. Wykazano, że istnieje zależność między aktywnością genotoksyczną związków chemicznych w krótkoterminowych testach, a ich aktywnością rakotwórczą w odniesieniu do ludzi. Występowanie tego związku jest podstawą stosowania krótkoterminowych testów z zakresu toksykologii genetycznej, jako wskaźnika właściwości rakotwórczych badanych związków lub mieszanin. Krótkoterminowe testy *in vitro* oraz *in vivo*

wykrywające uszkodzenie DNA, mutacje genowe, aneuploidie (rodzaj mutacji polegający na wystąpieniu w komórkach organizmu nietypowej dla jego gatunku liczby chromosomów, nie będącej jednak wielokrotnością jednego garnituru chromosomowego), aberracje chromosomowe oraz transformacje nowotworowe zarówno w komórkach prokariotycznych jak i eukariotycznych, są obecnie powszechnie stosowane do wykrywania oraz oceny toksyczności genetycznej pojedynczych związków chemicznych lub ich mieszanin [2,5,6]. Jeżeli więc złożona mieszanina o nieznanym potencjale rakotwórczym (np. powietrze atmosferyczne) wykazuje aktywność w metodach monitoringu narażenia środowiskowego, jest wysoce prawdopodobne, że stanowi ona również ryzyko nowotworowe dla ludzi. Dlatego też istotne jest określanie poziomu oraz składu substancji genotoksycznych w powietrzu atmosferycznym oraz badanie ich wczesnych skutków biologicznych wśród narażonych populacji.

Oznaczanie w atmosferze zawartości wszystkich zanieczyszczeń mutagennych metodami fizyko-chemicznymi jest bardzo kosztowne. Dlatego też w rutynowym monitoringu zanieczyszczeń atmosfery poprzestaje się na określeniu stężenia w atmosferze wybranych zanieczyszczeń wskaźnikowych, takich jak pył zawieszony, benzo[a]piren, czy suma wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Jednak znajomość stężeń wybranych zanieczyszczeń wskaźnikowych pozwala jedynie na przybliżoną ocenę zagrożenia zdrowotnego, jakie stwarza łączne działanie mieszaniny zanieczyszczeń.

Zanieczyszczenia w zawieszynie mogą wykazywać działanie synergistyczne, addytywne albo antagonistyczne. W przypadku działania synergistycznego łączny efekt mutageny powodowany przez wieloskładnikową mieszaninę jest większy od sumy działania jej składników. W przypadku działania addytywnego jest on równy sumie efektów działania poszczególnych składników. Czasem zdarza się także, że na skutek interakcji między składnikami mieszaniny łączny efekt jej działania jest niższy od sumy działania poszczególnych składników, ich wzajemne oddziaływania można wówczas nazwać antagonistycznymi. Poza tym spośród kilkuset związków obecnych w ekstraktach pyłu zawieszzonego, tylko do 40% można oznaczyć przy użyciu stosowanych obecnie technik analityki chemicznej [1,7,10].

Na pełną ocenę zagrożenia zdrowotnego, jakie stwarza łączne działanie wszystkich składników mieszaniny, jaką jest np. ekstrakt zanieczyszczeń zaadsorbowanych na pyłe zawieszonym pozwalają tylko bezpośrednie badania jej genotoksyczności.

#### PODSUMOWANIE

Złożona mieszanina o nieznanym potencjale rakotwórczym, jaką jest powietrze którym oddychamy, wykazująca aktywność w testach

genotoksycznych, stanowi prawdopodobnie ryzyko nowotworowe dla ludzi. Mieszkańcy dużych miast, są bardziej narażeni na działanie genotoksyczne zanieczyszczeń zaadsorbowanych na cząstkach pyłu zawieszonego. Warunkiem skutecznego eliminowania zagrożeń zdrowotnych wywołanych substancjami mutagennymi i kancerogennymi jest zidentyfikowanie narażenia na tego typu czynniki oraz poszukiwanie wskaźników ich wczesnych skutków biologicznych.

Wszystkie dotychczas prowadzone badania nad narażeniem populacji ludzkich na występujące w powietrzu atmosferycznym ksenobiotyki wskazują na konieczność uzupełnienia rutynowych badań jakości powietrza atmosferycznego o monitoring biologiczny. Ze względu na duży udział w ekspozycji czynników środowiskowych w monitoringu jakości powietrza dużych aglomeracji miejskich, należy zwrócić większą uwagę na badania właściwości cytotoksycznych i genotoksycznych pyłowych zanieczyszczeń powietrza, co w przyszłości może stanowić podstawę do szacowania ryzyka zachorowalności na choroby nowotworowe. Jednak należy pamiętać, iż o ryzyku zachorowania na te choroby nie decyduje wyłącznie środowisko, ani sama sylwetka genetyczna, lecz interakcja obu tych czynników, tj. genotypu i otoczenia.

Biorąc pod uwagę fakt, że dorosły człowiek wdycha codziennie od 12 do 15m<sup>3</sup> powietrza, badania aktywności genotoksycznej prób pyłowych zanieczyszczeń powietrza mogą stanowić podstawę do szacowania ryzyka zachorowalności na choroby nowotworowe oraz do wprowadzenia działań profilaktycznych [6,10]. Wydaje się, że jedyną możliwą drogą kompleksowej, szybkiej i wiarygodnej oceny zagrożenia nowotworowego ludzi wynikającego z narażenia na pyłowe zanieczyszczenia powietrza jest zastosowanie technik monitoringu narażenia środowiskowego.

L. Kapka, L. Wdowiak

## NEGATIVE HEALTH EFFECTS INDUCED BY AIRBORNE PARTICLES

### Summary

Air pollutants are usually classified into gaseous pollutants and suspended particulate matter. Airborne particles represent a complex mixture of organic and inorganic substances. With respect to mass and composition these pollutants are divided into 2 principle groups: coarse particles larger than 2.5  $\mu\text{m}$  (up to 10  $\mu\text{m}$ ;  $\text{PM}_{10}$ ) in aerodynamic diameter, and fine particles smaller than 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ).

The health effects of suspended particulate matter in humans depend on particle size and concentration, and can fluctuate with daily fluctuations in  $\text{PM}_{10}$  or  $\text{PM}_{2.5}$  levels. Chronic health effects include long-term decrements in lung growth, chronic obstructive lung disease, neurobehavioural alterations, heart disease, congenital defects, and cancer. Acute health effects encompass outcomes, such as aggravation of the existing disease, acute respiratory infections, transient deficits in lung function, and allergic reactions.

Therefore, it is important to determine levels and composition of ambient genotoxicants

and to detect early biological effects in exposed populations.

Л. Капка, Л. Вдовяк

### НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ВЫЗВАННЫЕ ПЫЛЕВЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ВОЗДУХА

#### Аннотация

Загрязнение воздуха можно разделить на газовые загрязнения и взвешенные частицы. Пылевые загрязнения воздуха состоят из разнородных органических и неорганических веществ. Учитывая массу и состав, разделяем их на две главные группы: частицы большого размера с аэродинамическим диаметром более 2,5 мкм до 10 мкм;  $PM_{10}$  и маленького – менее 2,5 мкм ( $PM_{2,5}$ ).

Последствия для здоровья населения появившиеся вследствие присутствия взвешенных частиц, зависят в равной степени как от величины частиц, так и от их концентрации, следовательно, от колебаний уровней фракций  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$ . Хронические последствия для здоровья включают в себя длительную недоразвитость легких, хроническую обструктивную болезнь лёгких (ХОБЛ), нейробихевиоральные изменения, болезни сердца, пороки развития и новообразования. Острыми последствиями для здоровья, в свою очередь могут быть: ухудшение состояния здоровья, острые инфекции дыхательных путей, временные расстройства функций легких и аллергические реакции.

Поэтому важным является определение уровня, а также состава генотоксических веществ в атмосферном воздухе и исследование ранних биологических последствий.

Л. Капка, Л. Вдовяк

### НЕСПРИЯТЛИВІ НАСЛІДКИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ВИКЛИКАНІ ПИЛОВИМ ЗАБРУДНЕННЯМ ПОВІТРЯ

#### Анотація

Забруднення повітря можна розділити на газові забруднення і зважені частинки. Пиліві забруднення повітря складаються з різнорідних органічних і неорганічних речовин. Враховуючи масу і склад, розділяємо їх на дві головні групи: частинки великого розміру з аеродинамічним діаметром більше 2,5 мкм до 10 мкм;  $PM_{10}$  і малого – менш 2,5 мкм ( $PM_{2,5}$ ).

Наслідки для здоров'я населення, які виникають внаслідок присутності зважених частинок, залежать в рівній мірі, як від величини частинок, так і від їх концентрації, отже, від коливань рівнів фракцій  $PM_{10}$  і  $PM_{2,5}$ . Хронічні наслідки для здоров'я включають тривалу недорозвиненість легенів, хронічну обструктивну хворобу легенів, нейробіхевіоральні зміни, хвороби серця, пороки розвитку і новоутворення. Гострими наслідками для здоров'я, у свою чергу можуть бути: погіршення стану здоров'я, гострі інфекції дихальних шляхів, тимчасові функціональні розлади легенів і алергічні реакції.

Тому важливим є визначення рівня, а також складу генотоксичних речовин в атмосферному повітрі і дослідження попередніх біологічних наслідків.

#### PIŚMIENNICTWO

1. Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23. Regional Office for Europe, World Health Organization WHO, 1987, Copenhagen.



2. Abou Chakra O.R., Joyeux M., Nerrière E., Strub M.P., Zmirou-Navier D.: Genotoxicity of organic extracts of urban airborne particulate matter: an assessment within a personal exposure study. *Chemosphere*, 2007, 66, 7, 1375-81.

3. Brimblecombe P.: *The Big Smoke*. 1987. Routledge, London, UK.

4. Chinn S., Florey C.D.V., Baldwin I.G., Gorgol M.: The Relation of Mortality in England and Wales 1969-73 to Measurements of Air Pollution. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 1981, 35, 174-179.

5. Claxton, L.D.: Review of fractionation and bioassay characterization techniques for the evaluation of organics associated with ambient air particle. In *Genotoxic Effects of Airborne Agents* (edited by Tice R.R., Costa D.L. and Schaich K.M.), 1982, 19-33, Plenum, New York.

6. Hodgson E.: *A Textbook of Modern Toxicology*, Third Edition, 2004; John Wiley & Sons, Inc.

7. Hughes, T.J., E. Pellizzari, L. Little, C. Sparacino and A. Kolber.: Ambient air pollutants: collection, chemical characterization and mutagenicity testing, *Mutation Res.*, 1980, 76, 51-83.

8. Kapka L., Pawlas N., Olewińska E., Kozłowska A., Górny R.L.: Analiza właściwości cytotoksycznych pyłów zawieszonych pobranych w wybranych miejscowościach województwa Śląskiego badanych z wykorzystaniem linii makrofagów mysich RAW 264.7. *Med. Środ.*, 2008, 11, 1, 19-26.

9. Kozłowska A., Kapka L., Jasiński R.: Analiza efektu mutagennego przechowywanych ekstraktów pyłowych zanieczyszczeń powietrza pobieranych w wybranych miastach województwa śląskiego. *Med. Środ.*, 2007, 10, 2, 68-75.

10. Mielżyńska D., Siwińska E., Kapka L.: Mutagenicity of airborne particles as an indicator of air quality. Part A: Mutagenicity of airborne particles in Silesia province in 1999/2000, 2002, 1-91. ISBN-83-909595-6-7, IOM&EH, Sosnowiec.

11. Motykiewicz G., Perera F.P., Santella R.M., Hemminki K., Seemayer N.H., Chorazy M.: Assessment of cancer hazard from environmental pollution in Silesia. *Toxicol Lett.*, 1996, 88, 1-3, 169-73.

12. Pope C.A. III, Thun M.J., Namboodiri M.M., Dockery D.W., Evans J.S., Speizer F.E., Heath C.W. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Am J Respir Crit Care Med.*, 1995, 151, 3 Pt 1, 669-674.

13. WHO Air Quality Guidelines, World Health Organization, 1999; Geneva ([www.who.int](http://www.who.int)).

Data otrzymania: 20.08.2009.

Adres Autorów: 20-090 Lublin, ul. Jaczewskiego 2, Samodzielna Pracownia Biologii Molekularnej, Instytut Medycyny Wsi im. W. Chodźki w Lublinie.