

Artykuł pochodzi z archiwalnych zasobów firmy EKO-KONSULT sp. z o.o. 80-557 Gdańsk,
ul. Narwicka 6.

Wszystkie prawa zastrzeżone.

Korzystanie za zgodą firmy EKO-KONSULT biuro@ekokonsult.pl



Kwartalnik „Problemy Ocen Środowiskowych” wydawany cyklicznie w latach 1998 – 2012, przez EKO-KONSULT był jedynym wydawnictwem w Polsce, poświęconym wyłącznie ocenom środowiskowym planowanych inwestycji oraz strategicznym ocenom oddziaływania na środowisko. Dla praktyków OOŚ, ale również dla osób początkujących może nadal stanowić wartościowe źródło wiedzy np. w zakresie prezentowanych case study i przeglądu stosowanych metodyk - w tym kontekście znaczna część artykułów zachowuje sporo aktualności.

Andrzej Kulig

Krystyna Ossowska-Cypriak

Problematyka badań mikrobiologicznych w ocenach oddziaływania na środowisko obiektów komunalnych - zagadnienia metodyczne

Wstęp

W powietrzu występują niekorzystne warunki dla rozwoju mikroorganizmów. Przyczyną jest brak w nim przyswajalnych składników pokarmowych oraz wpływ

niesprzyjających czynników fizycznych na przeżywalność tych mikroorganizmów (Handley i Webster 1995). Powietrze jest głównie środowiskiem przenoszenia mikroorganizmów w postaci bioaerozoli (cząstek utworzonych z kropli cieczy, ciał stałych i mikroorganizmów), nieraz na dalekie odległości (Bovalius i in. 1978). Po dostaniu się do powietrza część bioaerozoli (o wielkości 10-100 μm) opada prawie natychmiast na powierzchnię ziemi w pobliżu źródeł emisji, część komórek zawartych w kroplach średniej wielkości zamiera pod wpływem czynników naturalnych (parowanie, wpływ warunków meteorologicznych), pozostałe około 2 - 10% (na ogół bioaerozole o wielkości 0,5 - 10 μm) jest biernie przenoszone z wiatrem pogarszając stan aerosanitarny otoczenia (Scheff i in. 1981).

Obiekty komunalne, takie jak: oczyszczalnie ścieków, stawy ściekowe, laguny i poletka osadowe, wysypiska i kompostownie odpadów, poza właściwą pozytywną rolą - ochrony zasobów wodnych i gleb - mogą także oddziaływać niekorzystnie na jakość otaczającego je powietrza, a pośrednio ludzi i glebę (Kenline i Scarpino 1972). Napowietrzanie ścieków (przy użyciu aeratora, dyfuzora, zraszaczy, kół czerpakowych) zwiększa prawdopodobieństwo wynoszenia do powietrza mikroorganizmów normalnie w nim nie występujących (Blanchard i Syzdek 1982, Bezdek i Carlucci 1974). Również składowiska odpadów działają degradująco na otaczające gleby, rośliny, wody powierzchniowe i podziemne, zanieczyszczając powietrze, a za jego pośrednictwem tereny rolnicze, miejskie i rekreacyjne. Emitowane zanieczyszczenia mikrobiologiczne, toksyczne gazy, pyły i odory mogą stanowić uciążliwość oraz potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego. Największe ilości drobnoustrojów i ich zróżnicowanie gatunkowe występuje w powietrzu bezpośrednio nad terenem wysypisk. Zazwyczaj ilości drobnoustrojów w powietrzu atmosferycznym kształtują się różnie w zależności od pory roku oraz odległości od aktualnie czynnego sektora składowania odpadów (Drogosz 1980, Krzysztofik i in. 1976, Kulig 1980, Lembke i Kinseley 1986). Ścieki mogą być także drogą przenoszenia się dla wirusów (Jopkiewicz i in. 1968), a odpady - promieniowców (Lloyd 1966).

Na emisję bioaerozoli z obiektów komunalnych do powietrza mają wpływ m.in.:

- wielkość i wysokość źródła emisji (Kulig 1986),
- odległość od źródła emisji (Lighthart i Frish 1976),
- warunki technologiczne: typ i ilość urządzeń napowietrzających, rodzaj systemu napowietrzającego, skład ścieków (Kulig 1986),
- koncentracja mikroorganizmów, faza wzrostu komórek (Teltsch i in. 1980, Blanchard i Syzdek 1982),

- warunki mikroklimatyczne: prędkość wiatru (Handley i Webster 1995), temperatura (Ehrlich i Miller 1973), wilgotność względna (Cox i Goldberg 1972), promieniowanie słoneczne (Harm 1969), opady atmosferyczne (Gregory 1973).

Niekorzystne oddziaływanie obiektów komunalnych na otoczenie można wyznaczyć w oparciu o następujące kryteria: wielkość i przepustowość (Q) obiektu, rozkład substancji chemicznych, w tym zapachowo czynnych i stopień zapylenia powietrza oraz natężenie hałasu przy równoczesnym charakteryzowaniu warunków meteorologicznych tj. temperatury i wilgotności powietrza, promieniowania słonecznego, ruchu powietrza (Kulig 1986, Kulig i Skorupski 1992). Dodatkowym, niemniej ważnym kryterium okazała się informacja o zwiększonej liczebności mikroorganizmów oraz obecności pewnych grup bakterii nietypowych dla powietrza niezanieczyszczonego - tak zwanych mikroorganizmów wskaźnikowych, w otoczeniu tych obiektów (Ossowska-Cypryk 1987a). Zasięg ich występowania wyznacza granicę potencjalnego ryzyka przedostawania się do powietrza mikroorganizmów chorobotwórczych oraz potencjalnie groźnych dla zdrowia ludzi (Cronholm 1980, Clark i in. 1984, Hickey i Reist 1975, Kulig i in. 1990, Ledbetter i Randal 1965, Teltsch i Katzenelson 1978, Wiley 1962).

Według danych Kenline i Scarpino (1972) bakterie patogenne występujące w ściekach mogą przeżywać określony czas po dostaniu się do powietrza. Przykładowo, dla bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, czas połowicznej śmiertelności $t_{1/2}$ wynosi 8,4 sekundy.

Ogólnie można stwierdzić, że wśród mikroorganizmów pochodzących z obiektów komunalnych występują również grupy bakterii o chorobotwórczości mniej wyspecjalizowanej, zdolne do wywoływania zmian zapalnych w różnych narządach, tak zwane fakultatywne patogeny. Do drobnoustrojów warunkowo chorobotwórczych zalicza się: w przypadku oczyszczalni ścieków m.in. *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus vulgaris*, *Streptococcus sanguinis*, a dla wysypisk odpadów: *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus* i grzyby, głównie drożdże (Ossowska-Cypryk 1987b). Ponadto zarodniki „grzyba wodnego” (*Mucor racemosus* i *Fusarium aquaeductum*), jak również rodzajów grzybów - *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Alternaria* i *Aspergillus*, obecnych w otoczeniu obiektów komunalnych, mogą wywoływać u ludzi alergie (Herzheimer i in. 1966, Romański 1963, Solomon 1970).

Określenie rodzaju i zasięgu potencjalnego uciążliwego oddziaływania na środowisko wymaga kontroli poprawności funkcjonowania obiektów emitujących zanieczyszczenia oraz pomiarów stężenia zanieczyszczeń w ich otoczeniu, odnoszonych do norm metodycznych i

ilościowych (PN-89/Z-04111.02 i 03). Zakres mikrobiologicznych oznaczeń ilościowych i jakościowych ustala się odpowiednio do charakterystyki źródeł zanieczyszczeń.

Metodyka badań mikrobiologicznych

Pod pojęciem emisji mikrobiologicznej należy rozumieć obliczoną liczbę mikroorganizmów unoszonych do atmosfery w jednostce czasu, która powoduje określony pomiarami stopień zanieczyszczenia powietrza. Występowanie w powietrzu dużych ilości mikroorganizmów typowych dla badanego obiektu emitującego świadczy o zasięgu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń mikrobiologicznych w ich otoczeniu. W celu określenia tego zasięgu należy porównać stężenia mikroorganizmów występujące w różnych odległościach od źródła emisji po stronie zawietrznej ze stężeniami dotyczącymi liczby mikroorganizmów w tle (na stronie nawietrznej).

Próbki powietrza do badań mikrobiologicznych pobiera się metodą sedymentacji (wg PN-89/Z-04008.08) lub metodą zderzeniową przy wykorzystaniu aparatu szczelinowego (Ossowska-Cypryk 1985). Poboru próbek dokonuje się metodą „w smudze” zgodnie z kierunkiem wiatru, u źródła i w odległościach 10 - 1 000 m od emitora. Próbę kontrolną, która stanowi tło, pobiera się na stronie nawietrznej w odległości wykluczającej wpływ badanych obiektów na jakość powietrza.

Przy oznaczeniach zawartości mikroorganizmów metodą sedymentacji podaje się jako wynik nie ilość mikroorganizmów w jednostce objętości powietrza, a opad mikroorganizmów na jednostkę powierzchni w jednostce czasu. Ponieważ do obliczeń emisji konieczna jest znajomość wartości wyrażonej ilością mikroorganizmów w jednostce objętości badanego powietrza, należy zastosować wzór przeliczeniowy:

$$X = \frac{a \cdot 10^4}{\Pi r^2 \cdot 0.2t}$$

gdzie:

X - liczba mikroorganizmów w 1 m³ (CFU/m³ - Colony Forming Units/m³),

a - średnia liczba kolonii na płytce Petriego (szt.),

r - promień płytki Petriego stosowanej do metody sedymentacji (cm),

t - czas poboru próby (min).

Pobieranie próbek i badania mikrobiologiczne należy wykonać wg norm PN-89/Z-04111.01, 02, 03.

Schemat postępowania w badaniach mikrobiologicznych przy wyznaczaniu uciążliwości obiektów komunalnych

- Dla scharakteryzowania źródła emisji oznacza się ilościowo i jakościowo mikroflorę ścieków z poszczególnych obiektów oczyszczalni względnie materiału z odpadów, gotowych kompostów czy osadów z lagun.
- Wyznacza się kierunek i prędkość wiatru oraz temperaturę i wilgotność względną powietrza.
- Ustala się położenie punktów pomiarowych (poboru prób powietrza): jeden ze strony nawietrznej wykluczającej wpływ emitora (tło) oraz kilka po stronie zawietrznej w kolejno wzrastających odległościach od źródła zanieczyszczeń z kierunkiem wiatru.
- Dokonuje się poboru prób powietrza na wysokości 1,3 metra do badań mikrobiologicznych metodą sedymentacji (eksponując płytki z podłożami) lub zderzeniową - równolegle we wszystkich punktach pomiarowych.
- Do badań mikrobiologicznych, oprócz podłoża agarowego dla oznaczania ogólnej liczby mikroorganizmów w 1 m³ powietrza, należy stosować serię podłoży selektywnych uwzględniających grupy mikroorganizmów występujące w źródle emisji oraz prowadzić identyfikację izolowanych szczepów (zgodnie z ogólnie przyjętą procedurą badań mikrobiologicznych).
- Pomiar mikrobiologiczny wykonuje się kilkakrotnie w różnych warunkach meteorologicznych w celu uchwycenia ich ewentualnego wpływu na uzyskiwane wyniki.
- Wyznacza się zasięg oddziaływania źródła emisji na podstawie spadku ogólnej liczebności mikroorganizmów do poziomu tła i całkowitego zaniku mikroorganizmów wskaźnikowych.
- Wyniki badań ilościowych interpretowane są na podstawie wartości średnich i porównywane z normami (PN-89/Z-0411.02 i 03).
- Na podstawie pomierzonych wartości stężeń zanieczyszczeń mikrobiologicznych, ubytku mikroorganizmów w wyniku naturalnej śmiertelności oraz warunków rozprzestrzeniania się ich w atmosferze można oznaczać wartość emisji tych zanieczyszczeń (Kulig 1980, 1983, 1990).

Interpretacja wyników badań

W latach 1980 - 1998, w ramach prac prowadzonych w Instytucie Systemów Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, wykonywano badania mikrobiologiczne powietrza w otoczeniu oczyszczalni komunalnych (ok. 20 różnych obiektów), w otoczeniu wysypisk odpadów (7 obiektów) i kompostowni odpadów (4 obiekty). Prowadzono także badania oddziaływania oczyszczalni ścieków przemysłowych (7 obiektów).

Przy każdym obiekcie badania były prowadzone w okresie rocznym (6 - 10 wyjazdów w teren). Celem ich było wyznaczenie imisji i emisji zanieczyszczeń w oparciu o pomiary chemiczne, uciążliwości zapachowej, natężenia hałasu oraz badania mikrobiologiczne, to znaczy określenie liczebności i rodzaju mikroorganizmów w badanym powietrzu. Mikroorganizmy wskaźnikowe dla każdego źródła emisji typowano w oparciu o badania ścieków lub odpadów. Stosowane oprócz podłoży ogólnych (podłoże agarowe) podłoża selektywne (np. podłoże *Endo lub Mc Conkey'a, Chapmana, Kinga B, Pochona, Slanetza, Wilson Blair'a i Sabouraud'a*) pozwalały na intensywniejszy wzrost konkretnych grup mikroorganizmów przez stworzenie optymalnych warunków dla ich rozwoju (Tablica 1).

Poniżej zostały przedstawione wyniki badań mikrobiologicznych powietrza w otoczeniu następujących obiektów komunalnych:

- oczyszczalnia ścieków A - o przepustowości $Q = 6\,500\text{ m}^3/\text{d}$,
 - oczyszczalnia ścieków B - o przepustowości $Q = 72\,000\text{ m}^3/\text{d}$,
 - oczyszczalnia ścieków C - o przepustowości $Q = 3\,000\text{ m}^3/\text{d}$,
 - oczyszczalnia ścieków D - o przepustowości $Q = 15\,000\text{ m}^3/\text{d}$,
 - oczyszczalnia ścieków E - o przepustowości $Q = 150\text{ m}^3/\text{d}$
- oraz wysypiska odpadów.

1. *Stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza przy urządzeniach oczyszczalni.*
Na osi pionowej rys. 1, 2 i 3 podano liczbę mikroorganizmów w 1 m^3 powietrza (CFU/ m^3) lub R - krotność liczby mikroorganizmów w badanym punkcie pomiarowym w stosunku do ich liczby w tle.

Rys. 1, 2, 3.

- Najwyższe ilości mikroorganizmów, znacznie przekraczające normę, występują przy komorach napowietrzanych i piaskowniku (rys.1, 2 i 3). Na rys.3 zostały dodatkowo zamieszczone wyniki otrzymane w punkcie przy pompowni ścieków i drodze dojazdowej na oczyszczalnię C ($Q = 3\,000\text{ m}^3/\text{d}$).
- W okresie badawczym zaobserwowano zmiany w stopniu zanieczyszczenia powietrza w otoczeniu urządzeń oczyszczalni A ($Q = 6\,500\text{ m}^3/\text{d}$), to znaczy niższą liczbę mikroorganizmów w badaniach z 1997 r. niż z 1993 r. (rys.1). Wynika to ze zmian procesu technologicznego, unowocześnienia urządzeń oczyszczalni oraz wpływu zmiennych warunków meteorologicznych.
- Zazwyczaj liczba bakterii psychrofilnych (hodowla w temp. 20°C) przewyższa wartości liczby bakterii mezofilnych (hodowla w temp. 37°C), wskazujących na możliwość wystąpienia bakterii chorobotwórczych w badanym powietrzu (rys.2).

- Przepustowość ścieków (Q) poszczególnych oczyszczalni ma wpływ na stopień zanieczyszczenia powietrza w ich otoczeniu i wielkość emisji bakterii pochodzenia ściekowego do powietrza (rys. 1, 2 i 4).

2. Występowanie bakterii pochodzenia ściekowego w powietrzu w otoczeniu oczyszczalni ścieków.

Niezależnie od oznaczania ogólnej liczby bakterii w 1 m³ powietrza w otoczeniu urządzeń oczyszczalni ścieków określa się na podłożach selektywnych występowanie bakterii wskaźnikowych obecnych w ściekach i jednocześnie w powietrzu otaczającym badane obiekty. Należy zaznaczyć, że skład jakościowy mikroflory powietrza w otoczeniu obiektów jest ściśle powiązany z rodzajem i liczebnością mikroorganizmów obecnych w równoległe badanych ściekach czy materiale z wysypisk odpadów.

Przykładowe wyniki dla oczyszczalni ścieków A (Q = 6 500 m³/d) podaje rys.4. Dotyczą one liczby bakterii wskaźnikowych z rodziny *Enterobacteriaceae* i *Pseudomonadaceae* w otaczającym obiekty oczyszczalni powietrzu. Stwierdzono znacznie mniejsze wydostawanie się do powietrza mikroorganizmów pochodzenia ściekowego w 1997 r. niż w 1993 r. Niejednokrotnie uzyskiwane liczebności poszczególnych grup bakterii wskaźnikowych na podłożach selektywnych są wyższe niż ogólnej liczby bakterii oznaczanej na podłożu agarowym (rys.1 i 4).

Rys. 4, 5.

Rys.5 obrazuje średnie wyniki badań z 9 oczyszczalni komunalnych. Procentowy udział mikroorganizmów pochodzenia ściekowego w mikroflorze powietrza w otoczeniu urządzeń oczyszczalni ścieków komunalnych wynosił średnio: przy komorach napowietrzania 59,8%, przy osadniku wstępnym 76,0%, a przy piaskowniku 46,7%. Wartości te są nieco wyższe niż sugerowane przez Kenline i Scarpino (1972).

3. Wahania liczebności mikroorganizmów w różnych odległościach od urządzeń komunalnych.

Zmiany stężeń zanieczyszczeń mikrobiologicznych są zobrazowane na rys.6-9 dla oczyszczalni i rys.10-12 dla wysypisk odpadów.

Rys. 6, 7, 8 i 9.

- Początkowo znaczne stężenie mikroorganizmów w otoczeniu komory napowietrzania oczyszczalni komunalnej B (rys.6) jest zredukowane w 50 - 85% w odległości 50 m od źródła emisji. Jednak w przypadku oczyszczalni o dużej przepustowości (Q = 72 000 m³/d) wartość wyższa niż w tle utrzymuje się do odległości ponad 150 m.
- Rys.7 i 8 obrazują liczebność mikroorganizmów w powietrzu przy komorach napowietrzania i zlewni ścieków na oczyszczalni D (Q = 15 000 m³/d). Widoczne są różnice w stopniu zanieczyszczenia powietrza w poszczególnych badaniach prowadzonych w różnych terminach i to zarówno przy komorze napowietrzania, jak i

zlewni. Wyraźny spadek zanieczyszczenia można zaobserwować w odległości ponad 50 m od źródeł emisji.

- Rysunek 9 obrazuje zachowanie się mikroorganizmów pochodzenia ściekowego w różnych odległościach od komory napowietrzania w przypadku małej mechaniczno-biologicznej oczyszczalni E ($Q = 150 \text{ m}^3/\text{d}$).

Rys. 10, 11, 12

- W przypadku wysypisk odpadów komunalnych zasięg przenoszenia mikroorganizmów przez powietrze może być znacznie większy (rys.10-12). Zależy to bezpośrednio od sposobu eksploatacji składowiska.
- Jak wykazują dane zobrazowane na rys.11, liczba grzybów - jednego z mikroorganizmów wskaźnikowych dla wysypisk odpadów, nie przekracza wartości normatywnej $10\,000 \text{ kom}/\text{m}^3$ dla powietrza średnio zanieczyszczonego (PN-89/Z-04111.03).
- Wielkość i spadek stopnia zanieczyszczenia powietrza z odległością kształtuje się bardzo różnie w zależności od pory roku (rys.12).

Podsumowanie

Długookresowe badania mikrobiologiczne powietrza prowadzone w otoczeniu obiektów komunalnych wykazały, że:

- Oczyszczalnie ścieków oraz obiekty gospodarki odpadami są istotnymi źródłami emisji mikroorganizmów do otaczającego powietrza.
- Aby ocenić wpływ obiektów komunalnych na otoczenie, należy uwzględnić wielkość i specyfikę obiektu zanieczyszczającego (np. sposób napowietrzania), rodzaj i ilość mikroorganizmów występujących w źródle, oznaczyć ich liczebność i zasięg przenoszenia przy oddalaniu się od obiektów będących źródłem emisji.
- Stężenia mikroorganizmów bezpośrednio przy pracujących urządzeniach oczyszczalni ścieków i przy czynnych sektorach składowiska odpadów są znaczne. Z danych ilościowych przedstawionych na wykresach 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10 i 12 wynika, że normy ilościowe dopuszczalne dla liczby bakterii w powietrzu średnio zanieczyszczonym są wielokrotnie przekraczane.
- W miarę zwiększania odległości od urządzeń i obiektów komunalnych stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza maleje, dochodząc do poziomu zbliżonego do tła. Zasięg przenoszenia mikroorganizmów zależy od szeregu parametrów, m.in.: liczebności mikroorganizmów w źródle emisji, prędkości wiatru oraz pory roku.
- Równocześnie z obniżaniem stężenia mikroorganizmów z odległością od źródła emisji obserwuje się zanik bakterii specyficznych (wskaźnikowych), znajdujących w źródle

emisji, a nie spotykanych w powietrzu niezanieczyszczonym (Tablica 1). Liczba i typ mikroorganizmów emitowanych do otaczającego badane objekty powietrza może stanowić dodatkową podstawę do wyznaczania strefy uciążliwego oddziaływania lub obszaru ograniczonego użytkowania.

- Istnieje konieczność włączania na stałe badań mikrobiologicznych prowadzonych w otoczeniu obiektów komunalnych jako dodatkowego kryterium do oceny oddziaływania tych obiektów na środowisko.

Dr inż. Andrzej Kulig,

Dr Krystyna Ossowska-Cypryk,

Instytut Systemów Inżynierii Środowiska

Politechnika Warszawska

Literatura

1. Bezdek H.F., Carlucci A.F. (1974): Concentration and removal of liquid microlayers from a seawater surface by bursting bubbles. *Limnol. Oceanogr.* 19,126-132.
2. Blanchard D.C., Syzdek L.D. (1982): Water to air transfer and enrichment of bacteria in drops from bursting bubbles. *Appl. Env. Microbiol.* 43, 5,1001-1005.
3. Bovalius A., Bucht B., Roffey R., Anas P.(1978): Long-range air transmission of bacteria. *Appl. Env. Microbiol.* 35, 6, 1231-1232.
4. Clark C.S. i in. (1984): Biological health risks associated with the composting of wastewater treatment plant sludge. *J. Water Pollut. Control Fed.* 56,12,1269 -1276.
5. Cox C.S., Goldberg L.J. (1972): Aerosol survival of *Pasteurella tularensis* and the influence of relative humidity. *Appl. Microbiol.* 23,1-3.
6. Cronholm L.S. (1980): Potential health hazards from microbial aerosols in densely populated urban regions. *Appl. Env. Microbiol.* 39, 1, 6-12.
7. Drogosz K. (1980): Ochrona powietrza w aspekcie wielkości stref ochronnych wysypisk sanitarnych. *Ochrona Powietrza* 3, 60.
8. Ehrlich R., Miller S. (1973): Survival of airborne *Pasteurella tularensis* at different atmospheric temperatures. *Appl. Env. Microbiol.* 25, 3, 369-372.
9. Gregory P.H. (1973): *The microbiology of the atmosphere.* John Wiley and Sons. New York.
10. Handley B. A., Webster A. J. F. (1995): Some factors affecting the airborne survival of bacteria outdoors. *J. Appl. Bacteriol.* 79, 368-378.
11. Harm W. (1969): Biological determination of germicidal activity of sunlight. *Radiation Res.* 40, 63.
12. Herzheimer H., Hyde H., Williams D. (1966): Allergic asthma caused by fungal spores. *Lancet* 3, 572-573.
13. Hickey J. L. S., Reist P. C. (1975): Health significance of airborne microorganisms from wastewater treatment processes. Cz. I i II. *J. Water Pollution Control Fed.* 47, 2741-2773.
14. Jopkiewicz T., Krzemińska K., Stachowska Z. (1968): Przegląd wirusologiczny ścieków z terenu miasta Bydgoszczy. *Przegląd epidemiologiczny* 32, 4, 521-527.
15. Kenline D.A., Scarpino P.T. (1972): Bacterial air pollution from sewage treatment plants. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. J.* 5, 346-352.
16. Krzysztofik B., Ossowska-Cypryk K., Kotowski J. (1976): Badanie zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza emitowanych do atmosfery w obrębie wysypisk śmieci. *Metodyka kontroli czystości powietrza atmosferycznego. Materiały Naukowe VIII Konferencji Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych.* Warszawa.
17. Krzysztofik B., Ossowska-Cypryk K. (1979): Mikroflora powietrza w obrębie wysypiska odpadów miejskich w Lublinie-Jawidzu. *Materiały Seminaryjne PZITS nr 242,* Warszawa (str 151-199).
18. Kulig A. (1980): Wpływ wysypisk odpadów stałych na stan zanieczyszczenia atmosfery. *Materiały konferencyjne Sympozjum "Ochrona i kształtowanie środowiska naturalnego",* Płock.

19. Kulig A.(1983): Emisja zanieczyszczeń mikrobiologicznych w obiektach gospodarki komunalnej. Materiały z XII Zjazdu Balneoklimatycznego w Kamieniu Pomorskim.
20. Kulig A. (1986): Metoda określania wartości emisji zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych powietrza z wybranych obiektów gospodarki komunalnej. Rozprawa doktorska. Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
21. Kulig A., Ossowska-Cypryk K., Skorupski W. (1990): Rodzaje i zasięg niekorzystnych oddziaływań obiektów związanych z oczyszczaniem ścieków. Poznań-Warszawa. Praca zbiorowa pod redakcją A. Kuliga.
22. Kulig A., Skorupski W. (1992): Dobór kryteriów oceny zasięgu oddziaływania oczyszczalni ścieków na otoczenie. Biuletyn Komisji d/s Ocen Oddziaływania na Środowisko 6, 18 - 26.
23. Ledbetter J.O., Randall C.W. (1965): Bacterial emissions from activated sludge units. *Ind. Medicine Surgery* 34,130.
24. Lembke L.L., Kinseley R.N. (1986): Airborne microorganisms in a municipal solid waste recovery system. *Can J. Microbiol.* 31,198-205.
25. Lighthart B., Frish A.S.(1976): Estimation of viable airborne microbes downwind from a point source. *Appl. Env. Microbiol.* 31, 700-704.
26. Lloyd A. B. (1966): Dispersal of Streptomycets in air. *J. Gen. Microbiol.* 57, 35-40.
27. Ossowska-Cypryk K. (1985): Metody oznaczania zawartości mikroorganizmów w powietrzu. Zeszyt Problemowy PZITS Ochrona Atmosfery nr 452 str 70-104.
28. Ossowska-Cypryk K. (1987a): Zanieczyszczenie mikrobiologiczne powietrza jako jedno z kryteriów oddziaływania obiektów komunalnych na otoczenie. Materiały PZITS, Warszawa.
29. Ossowska-Cypryk K. (1987b): Rola wybranych grup mikroorganizmów w ocenie oddziaływania obiektów komunalnych na otoczenie. Materiały konferencji naukowo-technicznej PZITS, 82 -100.
30. Polska Norma PN-89/Z-04008 Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Pobieranie próbek powietrza atmosferycznego (imisja) do badań mikrobiologicznych metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
31. Polska Norma PN-89/Z-04111.01 Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Postanowienia ogólne i zakres normy.
32. Polska Norma PN-89/Z-04111.02 Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
33. Polska Norma PN-89/Z-04111.03 Ochrona czystości powietrza. Badanie mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
34. Romański B. (1963): Przypadki dychawicy oskrzelowej wywołane uczuleniem na zarodniki grzybów. *Polski Tygodnik Lekarski.* 622-627.
35. Scheff P.A., Holden J.A., Wadden R.A. (1981): Characterization of air pollutants from an activated sludge process. *J. Water Pollut. Control Fed.* 51, 2, 1223 -1231.
36. Solomon V. R. (1970): Aeroallergens and Public Health. *Advances in Environmental Sciences* 1, 197-236.

37. Teltsch B., Katzenelson E. (1978): Airborne enteric bacteria and viruses from spray irrigation with wastewater. *Appl. Env. Microbiol.* 35, 2, 290-296.
38. Teltsch B., Kedmi S., Bonnet J., Borenstajn-Rotem Y., Katzenelson E. (1980): Isolation and identification of pathogenic microorganisms of wastewater-irrigated fields; ratios in air and wastewater. *Appl. Environmental Microbiol.* 39, 6, 1183-1190.
39. Wiley J.S. (1962): Pathogen survival in composting municipal wastes. *J. Water Pollut. Control Fed.* 80-90.

Tablica 1. Zestawienie wyników badań mikrobiologicznych powietrza na terenie i w otoczeniu zlewni (pkt. 1-5) oraz oczyszczalni ścieków (pkt. 6-15) w Piasecznie. Data pomiaru: 15.04.1998 r. Seria I

Liczba mikroorganizmów w 1m³ powietrza [metoda sedymentacyjna]

Numer punktu/ Rodzaj oznaczenia		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ogólna liczba bakterii	37°C	314	1100	707	157	470	79	157	470	236	1415	393	707	470	2750	393
	20°C	707	1807	1965	864	1257	314	786	1022	470	1965	707	1022	629	4716	2043
Bakterie wytwarzające pigmenty		369	470	157	393	157	157	157	157	157	470	314	393	236	314	157
<i>Bacillus sp.</i>		157	157	794	236	470	157	157	79	79	393	157	236	314	393	393
<i>Staphylococcus sp.</i>		0	79	0	79	0	0	79	79	0	0	79	0	0	0	0
Bakterie gr. coli		0	79	0	0	0	0	0	79	0	0	79	0	0	629	0
<i>Escherichia coli</i>		0	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	314	0
<i>Proteus sp.</i>		0	0	0	0	0	0	0	79	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudomonas sp.</i>		0	157	79	0	157	0	0	314	0	0	0	0	236	393	236
<i>Actinomyces sp.</i> [promieniowce]		79	79	314	79	79	0	0	0	79	0	0	236	79	0	157
Grzyby	Pleśnie	79	157	79	79	157	157	79	0	236	1572	157	314	314	393	236
	Drożdże	79	0	236	236	79	0	0	79	79	0	0	79	79	157	79
	RAZEM	158	157	315	315	236	157	79	79	315	1572	157	393	393	550	315

OPIS PUNKTÓW:

- | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Tło (50 m od punktu zlewnego) | 6. Tło, nawietrzna oczyszczalni | 11. Poletko osadowe |
| 2. Stanowisko zrzutu ścieków - punkt zlewny | 7. Osadnik wtórny | 12. Zagęszczacz osadu |
| 3. Zawietrzna pomieszczenia kraty | 8. Komora napowietrzania | 13. Osadnik wtórny ścieków dowożonych |
| 4. Zbiornik uśredniający - pod pokrywą | 9. Stacja odwadniania osadów | 14. Osadnik wstępny ścieków miejskich |
| 5. Biofiltr - pod kopułą | 10. Laguna osadowa | 15. Piaskownik napowietrzany |

Załącznik: Wykaz podpisów pod wykresami znajdującymi się w plikach *Wykresy XLS*

Rys.1. Stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza przy obiektach mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków A ($Q = 6\,500\text{ m}^3/\text{d}$). Bakterie mezofilne - porównanie dwóch okresów badawczych

Rys.2. Stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza przy obiektach mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków B ($Q = 72\,000\text{ m}^3/\text{d}$) - bakterie mezofilne (37°C) i psychrofilne (20°C)

Rys.3. Stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza przy obiektach mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków C ($Q = 3\,000\text{ m}^3/\text{d}$) - bakterie mezofilne (37°C) i psychrofilne (20°C)

Rys.4. Liczba bakterii pochodzenia ściekowego (grupy *Coli* i *Pseudomonas*) przy obiektach mechaniczno-biologicznej oczyszczalni A ($Q = 6\,500\text{ m}^3/\text{d}$)

Rys.5. Procentowy udział mikroorganizmów pochodzenia ściekowego w mikroflorze powietrza w otoczeniu obiektów oczyszczalni ścieków komunalnych

Rys.6. Wahania liczebności bakterii w powietrzu w funkcji odległości od komory napowietrzania mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków B ($Q = 72\,000\text{ m}^3/\text{d}$) - bakterie mezofilne (37°C) i psychrofilne (20°C)

Rys.7. Liczba bakterii mezofilnych w powietrzu w funkcji odległości od komory napowietrzania oczyszczalni ścieków komunalnych D ($Q = 15\,000\text{ m}^3/\text{d}$)

Rys.8. Liczba bakterii mezofilnych w powietrzu w funkcji odległości od punktu zlewnego oczyszczalni ścieków komunalnych D ($Q = 15\,000\text{ m}^3/\text{d}$)

Rys.9. Procentowy udział mikroorganizmów pochodzenia ściekowego w różnych odległościach od oczyszczalni E ($Q = 150\text{ m}^3/\text{d}$)

Rys.10. Wahania liczby mikroorganizmów w powietrzu w różnych odległościach od wysypisk odpadów

Rys.11. Wahania liczby grzybów w powietrzu w funkcji odległości od wysypiska odpadów w *Jawidzu* (Krzysztofik i Ossowska-Cypryk 1979)

Rys.12. Liczba bakterii w 1 m^3 powietrza w funkcji odległości od komór zasypowych kompostowni w *Zielonej Górze*