

**Barbara Breza-Boruta, Magdalena Kroplewska,
Agata Pastewska, Beata Szala**

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy
e-mails: breza@utp.edu.pl; magdalenakroplewska@wp.pl; pastewska@onet.pl;
szabea@utp.edu.pl

ŹRÓDŁA SKAŻENIA POWIETRZA I ZAGROŻENIE SZKODLIWYM BIOAEROZOLEM W ZAKŁADACH PRZETWÓRSTWA ROLNO-SPOŻYWCZEGO

SOURCES OF INDOOR AIR CONTAMINATION AND HARMFUL EFFECTS OF BIOAEROSOL IN AGRI-FOOD PROCESSING PLANTS

DOI: 10.15611/pn.2017.494.03

JEL Classification: Q18

Streszczenie: W pracy opisano źródła zanieczyszczenia biologicznego powietrza w zakładach przetwórstwa rolno-spożywczego. Drobnoustroje mogą przenikać do powietrza najczęściej z przetwarzanego surowca i maszyn używanych na liniach produkcyjnych, systemów wentylacyjno-klimatyzacyjnych oraz od pracowników. Scharakteryzowano skład bioaerozolu i sposób jego rozprzestrzeniania się w zakładzie przetwórczym oraz potencjalne ryzyko skażenia powierzchni produkcyjnych i wytwarzanych produktów przez zawarte w nim drobnoustroje. W powietrzu, oprócz mikroorganizmów saprofitycznych niezagrażających bezpośrednio zdrowiu człowieka, ale wpływających na psucie się żywności, mogą występować bakterie chorobotwórcze, takie jak: pałeczki *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* oraz gronkowce. W pracy zwrócono uwagę na zagrożenia wynikające z mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza hal technologicznych, a także na narażenie zdrowia pracowników na czynniki biologiczne w środowisku pracy.

Słowa kluczowe: skażenie mikrobiologiczne, bioaerozol, powietrze wewnętrzne, przetwórstwo żywności.

Summary: In this paper we described biological contamination sources of the indoor air in the agri-food industry. Predominantly, microorganisms can spread into the air during the processing (i.e. from the raw material or the equipment), through the ventilation and air conditioning systems, and also from the employees. The composition of bioaerosol and possible health effects of its transfer onto working surfaces of the food processing plant were discussed. Pathogenic bacteria such as *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* or staphylococci can be present in the air in addition to saprophytic microorganisms, which are not directly harmful to human health, but can inflict food spoilage. In this paper

we highlighted the risks of microbial aerosol and its influence on the health of the employees exposed to it.

Keywords: microbiological contamination, bioaerosol, indoor air, food processing.

1. Wstęp

Stan sanitarno-higieniczny zakładów przetwórstwa spożywczego jest czynnikiem niezbędnym do zapewnienia nieszkodliwych dla zdrowia oraz życia człowieka produktów. Bezpieczeństwo żywności stanowi najwyższe kryterium oceny jakościowej produktów spożywczych, a za główne źródło współczesnych zagrożeń uważa się czynniki pochodzenia mikrobiologicznego [Fortuna 2004].

Ważnym elementem środowiska produkcyjnego zakładów rolno-spożywczych jest czystość mikrobiologiczna powietrza. Bakterie i inne cząstki biologiczne (tj. wirusy, zarodniki grzybów, toksyny) zawieszane są w powietrzu w postaci kompleksów z materią nieożywioną, tworząc bioaerosol. Jest on w stanie przenosić się na duże odległości za pomocą systemów wentylacyjno-klimatyzacyjnych lub z prądami powietrza powstającymi w wyniku przemieszczania się personelu. W ten sposób mikroorganizmy mogą się rozprzestrzeniać i migrować po całym zakładzie przetwórczym, stwarzając ryzyko skażenia powierzchni produkcyjnych, surowca i gotowego produktu [Chmiel, Frączek, Grzyb 2015; Kummer, Thiel 2008].

Ze względu na specyfikę produkcji sektora żywnościowego w każdym zakładzie może być inny skład bioaerosolu. Jest to w dużej mierze zależne od rodzaju przerabianego surowca i jego stopnia zanieczyszczenia, liczby pracowników oraz warunków panujących w hali produkcyjnej (wilgotności, temperatury). Wysoki poziom koncentracji drobnoustrojów w powietrzu, a zwłaszcza obecność gatunków chorobotwórczych odpowiedzialnych za infekcje i zatrucia pokarmowe człowieka, stanowi bezpośrednie zagrożenie dla wytwarzanych produktów na każdym etapie produkcji, jak i dla pracowników narażonych na ich codzienną ekspozycję [Breza-Boruta 2015; Douwes i in. 2003]. A zatem mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza wewnątrz zakładów jest bardzo ważnym problemem, który w polskim prawodawstwie wciąż nie został rozwiązany. Brakuje regulacji prawnych i dyrektyw państwowych określających wartości dopuszczalnego poziomu stężenia bioaerosolu w pomieszczeniach zamkniętych [Górny 2010; Krogulski 2006]. Producenci żywności powinni jednak dołożyć wszelkich starań, aby zminimalizować lub całkowicie wyeliminować zanieczyszczenia przenoszone przez powietrze wewnątrz hal technologicznych, ponieważ wysoka koncentracja bioaerosolu bakteryjnego i grzybowego jest skutkiem niestaranie lub niewłaściwie przestrzeganych zasad higieny w przedsiębiorstwie.

Celem pracy było przedstawienie najważniejszych źródeł skażenia powietrza i zagrożeń mikrobiologicznych wynikających z obecności bioaerosolu na liniach produkcyjnych zakładów rolno-spożywczych. W artykule wskazano, że powietrze

wewnątrz stanowi istotny element środowiska produkcyjnego i stwarza niebezpieczeństwo przenoszenia mikroorganizmów, które z kolei wpływają na jakość wytwarzanych produktów żywnościowych, a także na zdrowie pracowników na poszczególnych stanowiskach pracy.

2. Powietrze hal produkcyjnych jako miejsce występowania bioaerozolu

Powietrze, w odróżnieniu od wody i gleby, jest środowiskiem niesprzyjającym życiu mikroorganizmów, lecz stanowi doskonały ośrodek ich przemieszczania się, co sprawia, że obecność mikrobiomu w atmosferze jest nieunikniona. Jest ono miejscem tymczasowego przebywania drobnoustrojów, w którym zachowują one jednak swój potencjał infekcyjny [Szostak-Kot 2010].

W skład aerozolu biologicznego mogą wchodzić: pyłki roślin i alergenów, żywe lub martwe komórki bakterii, wirusów, pierwotniaki, wtórne produkty ich metabolizmu, fragmenty grzybnicy, zarodniki, pojedyncze spory lub ich fragmenty, materiał biologiczny unoszony na niebiologicznym nośniku [Gąska-Jędruch, Dudzińska 2009; Górny 2010].

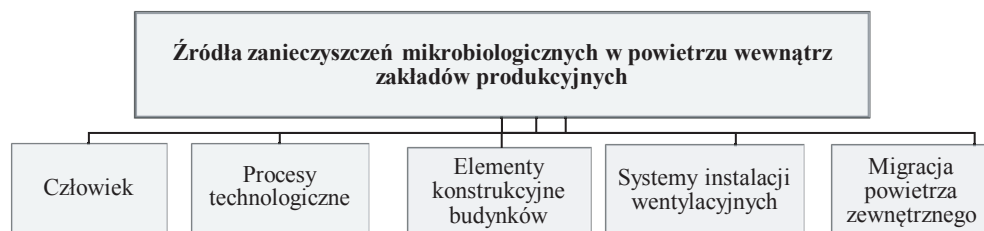
Sporadycznie komórki mikroorganizmów w powietrzu występują pojedynczo. Zazwyczaj łączą się one z kropelkami cieczy lub cząstkami pyłu, tworząc fazę rozproszoną. Bioaerozole występują w dwóch frakcjach, tj. pyłowej i kropelkowej. Cząstki pyłu są zdolne do szybkiego osadzania się i zazwyczaj po przedostaniu się do organizmu ludzkiego zatrzymują się w górnym odcinku dróg oddechowych. Natomiast faza kropelkowa jest mniejsza, w związku z czym te cząsteczki bioaerozolu są w stanie przedostać się do pęcherzyków płucnych. Stanowi ona zarazem najtrwalszy układ koloidalny w powietrzu. Najbardziej szkodliwe są cząsteczki biologiczne poniżej 7 μm , nazywane fazą respirabilną, które z łatwością przenikają wraz z wdychanym powietrzem do górnych i dolnych dróg oddechowych [Kim, Jahan, Kabir 2013]. Przykładowo komórki bakterii z rodzaju *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Arthrobacter* mają rozmiary 0,5-2,0 μm , natomiast liczne zarodniki grzybów pleśniowych są większe niż 2,5 μm . Cząsteczki bioaerozolu o rozmiarach powyżej 5,0 μm ulegają sedymentacji i najszybciej opadają na powierzchnie, te mniejsze zaś pozostają zawieszony w powietrzu [Cabral 2010]. Czas utrzymywania się bioaerozolu w powietrzu zależy przede wszystkim od: średnicy cząstek aerozolu, prędkości ruchu powietrza, wilgotności, stopnia zapylenia, rodzaju drobnoustroju i jego oporności na niesprzyjające warunki. Ponadto okres przeżywalności mikroorganizmów w powietrzu wewnętrznym pomieszczeń jest dłuższy niż w warunkach zewnętrznych, a ich liczebność w niewielkim stopniu zależy od pory roku. Jest to związane z mniejszym narażeniem na warunki atmosferyczne (wahania temperatury, opady) oraz promieniowanie UV. Wpływa to też na trudność w eliminowaniu ich obecności w powietrzu wewnętrznym hal zakładowych [Chmiel, Frączek, Grzyb 2015; Kummer, Thiel 2008].

Szacuje się, że aerozole biologiczne stanowią od 5 do 34% zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego. W powietrzu pomieszczeń produkcyjnych najczęściej występują saprofityczne mikroorganizmy (bakterie, grzyby strzępkowe i drożdże). Wśród bakterii dominują rodzaje: *Bacillus*, *Micrococcus* i *Achromobacter*, a wśród grzybów gatunki z rodzaju *Penicillium*, *Cladosporium* i *Aspergillus*. Ponadto, w zależności od przetwarzanego surowca i panujących warunków higienicznych, mogą występować specyficzne rodzaje drobnoustrojów, w tym patogenne, jak: pałeczki *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* oraz gronkowce. Należy zwrócić uwagę, że w aerozolu biologicznym nie tylko obecność żywych mikroorganizmów stanowi niebezpieczeństwo, ale również wydzielane przez nie groźne metabolity, jak: egzotoksyny, endotoksyny, alergeny, enzymy, peptydoglikany, (1-3)-beta-D-glukany, mykotoksyny [Bonetta i in. 2010; Breza-Boruta 2015; Szostak-Kot 2010].

Najdłużej zachowują żywotność komórki o największej odporności i najwyższym stopniu przystosowania do niekorzystnych warunków bytowania. Należą do nich przede wszystkim bakterie wytwarzające formy przetrwalne z rodzaju *Bacillus* i *Clostridium*, ponadto komórki wytwarzające barwniki karotenoidowe chroniące przed światłem i promieniowaniem UV, jak np. bakterie z rodzaju *Staphylococcus*. Również liczne rodzaje grzybów, a w szczególności ich lotne zarodniki, mają zdolność do długotrwałej obecności i przemieszczania się z ruchem powietrza [Cabral 2010; Górny 2004].

3. Źródła skażenia powietrza drobnoustrojami

Zanieczyszczenie powietrza drobnoustrojami w zakładach przetwórstwa może pochodzić z różnych źródeł. Najczęściej wynika z nieprzestrzegania zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, niedostatecznie częstego kontrolowania stanu technicznego urządzeń oraz przedostawania się mikroorganizmów z powietrza zewnętrznego. Potencjalne źródła skażenia powietrza w zakładach produkcyjnych obrazuje zamieszczony schemat (rys. 1).



Rys. 1. Źródła zanieczyszczeń mikrobiologicznych w powietrzu wewnątrz zakładów produkcyjnych

Źródło: opracowanie na podstawie [Gołofit-Szymczak, Ławniczek-Wałczyk, Górny 2013a].

3.1. Personel

Jednym z głównych źródeł skażenia powietrza w halach produkcyjnych są pracownicy zakładu. Szacuje się, że organizm ludzki zasiedlony jest łącznie przez 10^{14} różnych drobnoustrojów bytujących na jego skórze, włosach, w błonach śluzowych oraz przewodzie pokarmowym [Gawęcki, Libudzisz 2006]. Do mikroflory występującej na skórze, a w głównej mierze na rękach, należą bakterie z grupy coli, gronkowce koagulazo-ujemne i kaogulazo-dodatnie, enterokoki i inne ziarniaki, natomiast w fałdach skóry dominują drożdżaki. Ilość i skład gatunkowy drobnoustrojów obecnych na dłoniach pracowników produkcji zależy od rodzaju przerabianego surowca, specyfiki linii produkcyjnej, na której pracują, czystości obsługiwanych maszyn, a przede wszystkim od higieny osobistej [Fortuna 2004].

Wytwarzanie bioaerozolu następuje głównie na skutek kichania, kasłania, mówienia lub zwiększonego wysiłku. Wydzielane krople śliny w stanie mokrym osadzają się na powierzchniach podłóg oraz ścian lub bezpośrednio infekują wytwarzany produkt żywnościowy, natomiast mniejsze kropelki natychmiast odparowują, a zawarte w nich drobnoustroje zostają zawieszane w powietrzu, stając się składnikiem bioaerozolu. Największe zagrożenie stanowią osoby chore lub z objawami chorobowymi, które nie powinny zostać dopuszczone do pracy. Nosicielstwo chorobotwórczych drobnoustrojów i ich wydzielanie na stanowiskach pracy może się okazać przyczyną skażenia powietrza w halach technologicznych, co z kolei sprzyja dalszemu ich rozprzestrzenianiu po całym zakładzie. Takie sytuacje powodują obniżenie jakości wytwarzanego produktu, zagrożenie zdrowotne dla konsumenta oraz straty materialne i wizerunkowe dla producenta żywności [Piepiórka, Wojtasik-Kalinowska 2010; Shale, Leus 2007]. Dlatego należy kontrolować higienę pracowników na każdym etapie produkcji, dbać o dezynfekcję ich rąk specjalnymi preparatami bakteriobójczymi, zapewnić im odpowiednie maseczki ochronne oraz nie dopuszczać do sytuacji, w której pracownik w stanie chorobowym wykonuje czynności zawodowe w cyklu produkcyjnym produktów żywnościowych.

Duże zagęszczenie pracowników na liniach technologicznych oraz ich ciągłe przemieszczanie również ma istotny wpływ na jakość mikrobiologiczną powietrza. Według danych literaturowych człowiek, jest źródłem ponad 25% wszystkich mikroorganizmów obecnych w powietrzu w środowisku produkcyjnym. Personel jako nośnik drobnoustrojów może się okazać źródłem skażenia powietrza nie tylko poprzez zanieczyszczone dłonie czy wydychane przez niego powietrze, ale także poprzez odzież, rękawice czy buty [Gutarowska 2011].

Pracownicy na działach produkcji są najsłabszym punktem procesu produkcyjnego, gdyż nieprawidłowe postępowanie z żywnością i niewłaściwa higiena osobista przyczyniają się do rozprzestrzeniania drobnoustrojów i tym samym do zanieczyszczeń produktów. Poza poprawnym przeprowadzaniem mycia i dezynfekcji rąk ważnym elementem jest prawidłowe stosowanie ubrań ochronnych, dopasowanych do profilu zakładu i przerabianego surowca [Piepiórka i Wojtasik-Kalinowska 2010].

3.2. System wentylacyjny

Istotnym źródłem patogenego bioaerozolu w powietrzu zakładów przetwórczych mogą być systemy wentylacyjno-klimatyzacyjne, obecne kanały nawiewne i wywiewne, szyby oraz windy. Charakterystyczna budowa urządzeń wentylacyjnych stwarza korzystne warunki do bytowania wielu rodzajów bakterii i grzybów oraz dodatkowo jest sposobem transportowania ich po całym obiekcie. Bakterie chorobotwórcze mogą być przeniesione ze stref brudnych zakładu do stref wysokiego ryzyka (tzw. czystych), w których stopień zakażenia powinien być na zerowym poziomie [Gołofit-Szymczak, Ławniczek-Wałczyk, Górny 2013b]. Jako przykład nieprawidłowo działającego układu wentylacyjnego i jego skutków może posłużyć wydarzenie z 1976 roku w Filadelfii, gdzie miała miejsce niebezpieczna epidemia wywołana przez nieznane wówczas bakterie *Legionella pneumophila*, które rozprzestrzeniając się systemem wentylacyjno-klimatyzacyjnym, przyczyniły się do kilkuset zachorowań wśród amerykańskich legionistów, z czego 30 przypadków zakończyło się zgonem [Douwes i in. 2003].

Sprawnie działające systemy wentylacyjne są w stanie usunąć do 80% aerozoli z powietrza doprowadzonego z zewnątrz. Wadliwie działające wentylacje uważa się za czynnik powodujący powstawanie zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego. W takim wypadku kanały wentylacyjne mogą być siedliskiem bytowania zarówno bakterii, jak i grzybów. Do najczęściej izolowanych grzybów z systemów wentylacyjnych należą rodzaje: *Alternaria*, *Aspergillus* oraz *Chaetomium* [Gąska-Jędruch, Dudzińska 2009].

Producenci żywności muszą być zobowiązani do regularnego kontrolowania urządzeń wentylacyjno-klimatyzacyjnych. W przeciwnym razie produkty, które proponują konsumentom, nie będą gwarantowały najwyższego poziomu bezpieczeństwa [Małecki, Małecka 2010].

3.3. Pomieszczenia produkcyjne i sprzęt

Mikroorganizmy mogą przenikać do powietrza z materiałów konstrukcyjnych budynków, hal przetwórczych lub bezpośrednio z powierzchni ścian, drzwi, podłóg na których bytują i się rozwijają [Gołofit-Szymczak, Ławniczek-Wałczyk, Górny 2013a].

Liczba mikroorganizmów w powietrzu w poszczególnych pomieszczeniach produkcyjnych jest zróżnicowana i zależy od intensywności oraz rodzaju produkcji, a także od występowania przeciągów. Wpływ na stopień skażenia mają również pomieszczenia magazynowe, jakość przechowywanych surowców głównych i dodatkowych oraz czystość ramp czy używanych wózków transportowych. W 25% przypadków surowce są przyczyną nadmiernej ilości drobnoustrojów w powietrzu, a dotyczy to zarówno materiału roślinnego, jak i zwierzęcego dostarczanego na teren zakładu. Ponadto rodzaj i ilość mikroflory zależy od właściwych metod pracy i wa-

runków higienicznych, a także takich parametrów mikroklimatycznych, jak: temperatura, wilgotność, stężenie gazów, pyłów, oświetlenie [Karwowska 2005; Palka 2007].

Istotnym elementem pomieszczeń produkcyjnych jest stan higieniczny wykorzystywanych maszyn i urządzeń, w trakcie eksploatacji bowiem może dochodzić do zanieczyszczenia wybranych elementów i kumulowania się drobnoustrojów zwłaszcza w miejscach mało dostępnych i nieuszczelnionych. W trakcie pracy i działania maszyn różne drobiny wraz z mikroorganizmami mogą być unoszone do powietrza oraz transportowane na kolejne hale produkcyjne. Wszystkie te elementy, wraz z narzędziami używanymi na liniach produkcyjnych, wpływają na czystość mikrobiologiczną powietrza, a efekcie na bezpieczeństwo wytwarzanych produktów [Gąska-Jędruch, Dudzińska 2009].

Należy wspomnieć, że jednym z elementów decydującym o czystości mikrobiologicznej powietrza wewnątrz zakładu jest też jego położenie. W trakcie różnych czynności, m.in. otwierania drzwi, transportu surowca, opróżniania magazynów czy też zmiany załogi pracowników, dociera powietrze atmosferyczne z zewnątrz, co może mieć istotny wpływ na jakość powietrza na liniach produkcyjnych. Aby uniknąć przedostania się zanieczyszczeń z zewnątrz do strefy czystej, należy zastosować metodę różnicy ciśnień między strefą czystą a otoczeniem [Chmiel, Frączek, Grzyb 2015].

4. Zagrożenia stwarzane przez bioaerozol

Obecna w powietrzu hal przemysłu spożywczego potencjalnie chorobotwórcza mikroflora może wyrządzić wiele strat producentom wyrobów żywnościowych, a także stwarza duże niebezpieczeństwo dla pracowników przedsiębiorstwa.

Nawet zakłady przetwórcze o najwyższych standardach jakościowych i higienicznych z wdrożonymi systemami, takimi jak: Dobra Praktyka Produkcyjna (GMP), Dobra Praktyka Higieniczna (GHP) oraz Analiza Zagrożeń i Krytyczne Punkty Kontroli (HACCP), kontrolujące stan surowca, higienę personelu i każdy aspekt stwarzający potencjalne ryzyko dla wytwarzanego wyrobu, mogą się spotkać z problemem mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza. Dlatego niezwykle istotne jest to, aby być świadomym, jakie zagrożenie za sobą niesie występowanie chorobotwórczego bioaerozolu i jak skutecznie zminimalizować jego poziom.

Mikroorganizmy będące składnikami bioaerozolu oraz ich metabolity mogą na skutek opadania na powierzchnie przerobowe (np. stoły rozbiorowe lub maszyny pakowalnicze i krajalnicze) powodować szereg niekorzystnych zmian w wytwarzanym produkcie. Występowanie w gotowych wyrobach drobnoustrojów przenikających z powietrza prowadzi do pogorszenia ich jakości i trwałości. Ogół zachodzących zmian nazywa się mikrobiologicznym psuciem żywności. W zależności od warunków panujących w zakładzie oraz bytujących gatunków bakterii wyróżnia się kilka rodzajów mikrobiologicznego psucia żywności, przede wszystkim: śluzowacenie,

zmiana barwy i zapachu, fermentacje, gnicie (rozkład białek). Wymienione procesy obniżają jakość wyrobu, zmniejszają jego trwałość i atrakcyjność sensoryczną. Niektóre sprawiają, że produkt staje się dla konsumenta toksyczny i stwarza zagrożenie dla jego zdrowia [Gawęcki, Libudzisz 2006; Szostak-Kot 2010].

Potencjalnie chorobotwórcze bakterie, takie jak: *Salmonella* spp., *Listeria* spp., *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp. oraz gronkowce, mogą wywołać ostre zatrucia pokarmowe i inne stany chorobowe zagrażające zdrowiu i życiu człowieka [Sobie-rzaj-Grabiak, Drożdżyńska 2015]. Ich obecność w powietrzu hal zakładowych jest niebezpieczna dla wytwarzanego produktu, a co za tym idzie – także dla konsumenta. Bakterie chorobotwórcze *Salmonella* spp. i *Escherichia coli* to główne czynniki wywołujące zakażenia i zatrucia pokarmowe w Polsce. Według danych Głównego Inspektoratu Sanitarnego (GIS) z 2014 r. odpowiedzialne były odpowiednio za 81% i 10% zatruc pokarmowych (tab. 1).

Tabela 1. Dane epidemiologiczne dotyczące przypadków chorób zakaźnych w Polsce w latach 2005-2014

Jednostka chorobowa	Rok									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Zatrucia pokarmowe ogółem	20 065	17 264	15 241	12 215	10 817	11 464	10 847	10 231	9 053	9 740
Salmonelloza	15 621	13 216	11 566	9 473	8 847	9 549	8 652	8 444	7 407	8 206
Zatrucia gronkowcowe	658	417	407	202	146	217	283	147	128	68
Zatrucia jadem kielbasianym	28	50	48	46	31	32	35	22	24	29

Źródło: [Główny Inspektorat Sanitarny 2014].

Z przedstawionych danych wynika, że bakteryjne zatrucia pokarmowe w 2005 roku wystąpiły u 20 065 osób w kraju. Analizując wartości z każdego kolejnego roku, można zaobserwować, że tendencja zachorowań miała charakter spadkowy, aż do 2014 r., w którym liczba zatruc zmniejszyła się o połowę w porównaniu z rokiem 2005 [Główny Inspektorat Sanitarny 2014]. Jest to prawdopodobnie zasługą wzmocnionej kontroli higieny pracy i zaostrożonych wymogów sanitarno-epidemiologicznych w zakładach przetwarzających żywność, które zostały nałożone na Polskę przez Unię Europejską. Postęp technologii i medycyny oraz zwiększona świadomość konsumenta również mają tu istotne znaczenie.

Stany chorobowe wywołane przez bakterie *Salmonella* spp. z roku na rok maleją i w ciągu 9 lat spadły o połowę, odnotowując w 2014 r. 8206 przypadków. Zatrucia toksynami gronkowcowymi w 2005 roku zdiagnozowano u ponad 658 osób. W 2014 roku zgłoszono zaledwie 68 zatruc, co stanowi przeszło dziesięciokrotny spadek liczby zarejestrowanych zachorowań, wywołanych gronkowcami. Analizując dane

epidemiologiczne odnośnie do zatrucia jadem kiełbasianym, można stwierdzić, że są one dość zróżnicowane na przestrzeni lat, lecz nie przekraczają 50 zgłoszonych zachorowań w roku (tab. 1).

Producenci żywności powinni sprawnie kontrolować środowisko produkcyjne i stan jakościowy swoich wyrobów na każdym etapie produkcji i pod każdym aspektem, aby zminimalizować liczbę zatruc pokarmowych wywołanych spożyciem skażonej żywności. Biomonitoring i odpowiednia jakość mikrobiologiczna powietrza są do osiągnięcia tego celu bardzo istotnym i niezbędnym ogniwem.

4.1. Negatywny wpływ bioaerozolu na zdrowie pracowników

Nieodpowiedni stan higieniczny powietrza to nie tylko ryzyko skażenia produktu, to także niebezpieczeństwo zdrowotne dla personelu. Jakość powietrza na terenie hal produkcyjnych może mieć istotny wpływ na samopoczucie i zdrowie pracowników. Wdychając zanieczyszczone powietrze, są narażeni na bóle i zawroty głowy, uczucie przemęczenia, drażliwości, zaburzenia koncentracji i pamięci, zapalenia błon śluzowych oczu, podrażnienie górnych dróg oddechowych, a nawet na wystąpienie zmian skórnych [Gołofit-Szymczak, Ławniczek-Wałczyk, Górny 2013a].

Wyróżnia się trzy podstawowe grupy chorób związanych z ekspozycją na bioaerozol: choroby zakaźne (wirusowe, bakteryjne, grzybowe), choroby układu oddechowego i nowotwory [Douwes i in. 2003].

Składniki bioaerozolu przedostają się do organizmu człowieka przede wszystkim przez skórę oraz błony śluzowe, układ oddechowy, a rzadziej przez układ pokarmowy [Shale, Lues 2017]. O tym, jak głęboko wnikają do układu oddechowego oraz jak długo tam przetrwają, decyduje ich rozmiar, kształt, skład chemiczny, a także gęstość. Największe zagrożenie stanowi opisana już wcześniej frakcja respirabilna, której cząsteczki mają możliwość bezpośredniego wnikania i penetracji drzewa oskrzelowego. Ta część bioaerozolu ma ogromne znaczenie epidemiologiczne i jest najbardziej niebezpiecznym materiałem infekcyjnym dla osób narażonych na jego oddziaływanie [Górny 2010]. Dane literaturowe wskazują, że składniki bioaerozolu są bezpośrednią przyczyną alergii i astmy, ale także czynnikami etiologicznymi wielu innych chorób, a do najczęściej występujących należą m.in.: grypa, zapalenie oskrzeli i płuc, nieżyty nosa, gruźlica płuc, aspergiloza płuc czy też grzybica oskrzeli [Kim, Jahan, Kabir 2013].

Należy wspomnieć również o niebezpieczeństwie zawartych w bioaerozolu metabolitów wtórnych wydzielanych przez bakterie i grzyby. Szkodliwe działanie bakterii Gram-ujemnych (m.in. z rodziny *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonadaceae*) w środowisku pracy potęguje obecność endotoksyn, które wytwarzane są w ich błonie zewnętrznej. Endotoksyny zawarte w powietrzu wykazują działanie antyfagocytozowe, zapalne i pirogenne, mogą wywołać także szok endotoksyczny [Jarząb i in. 2011; Ławniczek-Wałczyk, Górny 2010]. Z kolei mykotoksyny wydzielane są bezpośrednio przez grzyby do powietrza lub też mogą być obecne we fragmentach

unoszących się strzępek, które bezpośrednio umożliwiają dostęp do pęcherzyków płucnych. Mogą one również wnikać drogą pokarmową, przez błony śluzowe oraz skórę. Niekorzystne działanie mykotoksyn zostało szeroko przedstawione w licznych opracowaniach naukowych, mogą one być przyczyną m.in. marskości wątroby, porażenia układu nerwowego, uszkodzenia nerek, nowotworów [Cabral 2010; Do-uwes i in. 2003].

Warto podkreślić, że szkodliwe działanie bioaerozolu wynika nie tylko z obecności w nim patogenów czy toksyn pochodzenia mikrobiologicznego, ale również ze zwiększonej ilości mikroorganizmów saprofitycznych, tym bardziej, jeśli wśród nich dominuje tylko jeden gatunek [Chmiel, Frączek, Grzyb 2015; Kummer, Thiel 2008]. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [2005] w sprawie szkodliwych czynników biologicznych (SCB) dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki, mikroorganizmy sklasyfikowano w cztery grupy zagrożenia SCB, w zależności od: wywoływanych chorób, możliwości rozprzestrzeniania się ich w populacji ludzkiej oraz skuteczności metod profilaktyki i/lub leczenia.

Określenie zagrożenia czynnikami biologicznymi stanowi podstawę ochrony ryzyka zawodowego i umożliwia zapoznanie pracownika z potencjalnymi zagrożeniami oraz ich skutkami zdrowotnymi. Najczęściej jednak, przy zachowaniu bezpieczeństwa osób pracujących, zasad higieny oraz stosowania odpowiednich środków ochronnych (odzieży, rękawic, maseczek, okrycia głowy i in.), bioaerozol staje się czynnikiem niezagrażającym utratą zdrowia lub wywołującym lżejsze objawy chorobowe. Według badań przeprowadzonych przez Europejską Agencję Bezpieczeństwa i Zdrowia w środowisku pracy, każdego roku w krajach Unii Europejskiej na choroby zakaźne umiera prawie 5 tys. pracowników, a ogółem na świecie około 320 tys. [Gołofit-Szymczak i in. 2013b].

5. Kontrola i ograniczenie ilości mikroorganizmów w powietrzu hal zakładów spożywczych

Polskie ustawodawstwo w kwestii uregulowań prawnych mikrobiologicznego stanu higieny powietrza nie wprowadziło żadnych obowiązujących norm. Istnieją zalecenia dotyczące dopuszczalnych liczebności drobnoustrojów w powietrzu wewnętrznym, zaproponowane przez niezależnych specjalistów i grupy badawcze, jednakże nie mają one charakteru obligatoryjnego, a zakłady produkujące żywność nie mają obowiązku się do nich stosować [Górny 2004].

Przedsiębiorstwa, którym zależy na wytworzeniu produktu wysokiej jakości, bezpiecznego dla konsumentów, powinny określać własne standardy dotyczące stanu mikrobiologicznego powietrza. Kryteria te powinny być dostosowane do prowadzonych procesów technologicznych w danym zakładzie, charakterystyki wykorzystywanych surowców, ich mikroflory itp. Tworząc takie zakresy, zaleca się bazować na wartościach opracowanych m.in. przez Krzysztofika [1992] lub nowszych, stworzonych przez Górnego [2004; 2010] i innych naukowców. Bardzo istot-

nie jest przeprowadzanie regularnych badań czystości powietrza i dokumentowanie ich z uwzględnieniem: częstotliwości analiz, ilości i charakterystyki punktów poboru próbek, zastosowanej metody oraz aparatury. W razie uzyskania wyników niedopuszczalnych przez normy należy natychmiastowo wprowadzić niezbędne działania korygująco-naprawcze w celu zminimalizowania potencjalnego zagrożenia.

Zakłady przetwórcze, aby ograniczyć bądź wyeliminować mikrobiologiczne zanieczyszczenia przenoszone drogą aerogenną, powinny stosować i dobierać odpowiednie zabiegi dezynfekcji powietrza, do których należą metody: fizyczne (promieniowanie UV i γ , ultradźwięki), mechaniczne (filtrowanie), chemiczne (rozpylanie środków dezynfekcyjnych na bazie kwasu nadoctowego, podchlorynu sodu, nadtlenku wodoru) [Palka 2007].

6. Podsumowanie

Stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na liniach technologicznych zależy od dużej liczby parametrów mających bezpośredni lub pośredni wpływ na skład bioaerozolu. Specyfika produkcji zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego stwarza dogodne warunki do rozwoju mikroorganizmów. Wynika to głównie z prowadzenia produkcji otwartej, na którą składają się bezpośrednie działanie człowieka na surowiec, a także oddziaływanie środowiska wewnątrzzakładowego. Kontrola i ocena higieny powietrza w zakładach jest bardzo istotnym elementem pozwalającym zmniejszyć ryzyko skażenia żywności chorobotwórczym bioaerozolem. Mimo braku restrykcyjnych norm nakładanych przez polskie ustawodawstwo, producenci powinni dołożyć wszelkich starań, aby w ich placówkach czystość mikrobiologiczna powietrza była kwestią priorytetową. Pełna świadomość personelu, nowoczesne systemy dezynfekcji oraz regularne pomiary stężeń bioaerozolu i ścisła kontrola zapewniają nie tylko wzrost bezpieczeństwa produkowanych wyrobów, lecz także zwiększenie ich jakości i trwałości.

Literatura

- Bonetta S.A., Bonetta S.I., Mosso S., Sampo S., Carraro E., 2010, *Assessment of microbiological indoor air quality in an Italian office building equipped with an HVAC system*, Environmental Monitoring and Assessment, vol. 161, s. 473-474.
- Breza-Boruta B., 2015, *Zanieczyszczenie mikrobiologiczne powietrza hal produkcyjnych zakładu przetwórstwa mięsnego jako potencjalne zagrożenie pracowników*, Medycyna Środowiskowa, vol. 4, no. 18, s. 37-42.
- Cabral J.P., 2010, *Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions*, Science of the Total Environment, vol. 408, s. 4285-4295.
- Chmiel M.J., Frączek K., Grzyb J., 2015, *Problemy monitoringu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza*, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 1, nr 34, s. 17-27.
- Douwes J., Thorne P., Pearce N., Heedrik D., 2003, *Bioaerosol health effects and exposure assessment: Progress and prospects*, The Annals of Occupational Hygiene, vol. 47, no. 3, s. 187-200.

- Fortuna T., 2004, *Jakość zdrowotna żywności i praktyczne aspekty jej kontroli*, Laboratorium, nr 6, s. 27-30.
- Gawęcki J., Libudzisz Z., 2006, *Mikroorganizmy w żywności i żywieniu*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, Poznań.
- Gąska-Jędruch U., Dudzińska M., 2009, *Zanieczyszczenia mikrobiologiczne w powietrzu wewnętrznym*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska, t. 59, s. 31-40.
- Główny Inspektorat Sanitarny, 2014, *Stan sanitarny kraju w roku 2014*, Warszawa.
- Gołofit-Szymczak M., Ławniczek-Wałczyk A., Górny R., 2013a, *Bioaerozole w pomieszczeniach pracy – źródła i zagrożenia*, Bezpieczeństwo Pracy: Nauka i Praktyka, nr 3, s. 9-11.
- Gołofit-Szymczak M., Ławniczek-Wałczyk A., Górny R., 2013b, *Ilościowa i jakościowa kontrola szkodliwych czynników biologicznych w środowisku pracy*, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, t. 2, nr 76, s. 5-17.
- Górny R., 2004, *Biologiczne czynniki szkodliwe: normy, zalecenia i propozycje wartości dopuszczalnych*, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, t. 3, nr 41, s. 17-39.
- Górny R., 2010, *Aerozole biologiczne – rola normatywów higienicznych w ochronie środowiska i zdrowia*, Medycyna Środowiskowa, vol. 13, nr 1, s. 41-51.
- Gutarowska B., 2011, *Zanieczyszczenie mikrobiologiczne powietrza w zakładach mleczarskich*, Przegląd Mleczarski, vol. 4, s. 10-16.
- Jarząb A., Górska-Frączek S., Rybka J., Witkowska D., 2011, *Zakażenia pałeczkami jelitowymi – diagnostyka, odporność na antybiotyki i profilaktyka*, Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej, vol. 65, s. 55-72.
- Karwowska E., 2005, *Microbiological air contamination in farming environment*, Polish Journal of Environmental Studies, vol. 14, no. 4, s. 445-449.
- Kim K.H., Jahan S.A., Kabir E., 2013, *A review on human health perspective of air pollution with respect to allergies and asthma*, Environment International, vol. 59, s. 41-52.
- Krogulski A., 2006, *Metody oznaczania ogólnej liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym i wewnątrz pomieszczeń*, Roczniki Państwowego Zakładu Higieny, t. 57, nr 1, s. 1-7.
- Krzysztofik B., 1992, *Mikrobiologia powietrza*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 199.
- Kummer V., Thiel W.R., 2008, *Bioaerosol – sources and control measures*, International Journal of Hygiene and Environmental Health, vol. 211, s. 299-307.
- Ławniczek-Wałczyk A., Górny R.L., 2010, *Endotoxins and β -glucans as markers of microbiological contamination – characteristics, detection, and environmental exposure*, Annals of Agricultural and Environmental Medicine, vol. 17, s. 193-208.
- Małecki Z.J., Małecka I., 2010, *Poprawa stanu mikrobiologicznego powietrza w przemyśle spożywczym*, Zeszyty naukowe – Inżynieria Lądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska, nr 2, s. 24-32.
- Palka R., 2007, *Czystość mikrobiologiczna powietrza w zakładach mięsnych*, Gospodarka Mięsna, nr 4, s. 34-37.
- Piepiórka J., Wojtasik-Kalinowska I., 2010, *Higiena personelu w produkcji żywności*, Przemysł Spożywczy, t. 64, nr 2, s. 37-40.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki, DzU 2005, nr 81, poz. 716, z późn. zm., DzU 2008, nr 48, poz. 288.
- Shale K., Lues J.F.R. 2007, *The etiology of bioaerosols in food environments*, Food Reviews International, vol. 23, s. 73-90.
- Sobieraj-Grabiak I.A., Drożdżyńska M., 2015, *Wybrane zakażenia bakteryjne – nieuniknione zagrożenia zdrowia i życia człowieka*, Pomeranian Journal of Life Sciences, t. 61, nr 1, s. 99-107.
- Szostak-Kot J., 2010, *Mikrobiologia produktów*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków.