



Charakterystyka zagrożeń biologicznych występujących przy przetwarzaniu biomasy do celów energetycznych

*Małgorzata Gołofit-Szymczak, Anna Ławniczek-Walczyk,
Rafał L. Górny, Marcin Cyprowski, Agata Stobnicka
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*

1. Wstęp

Zarówno w Polsce, jak i w innych krajach Unii Europejskiej biomasa uznana jest za odnawialne źródło energii o największych zasobach. W polskim przemyśle energetycznym w 2015 r. działało 36 elektrowni o mocy 1008 MW zasilanych wyłącznie biomasą oraz 44 elektrownie wykorzystujące biomasę jako źródło energii w procesie współspalania z miazem węglowym. Według prognozy zawartej w dokumencie „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku” (Polityka energetyczna Polski, 2009) w 2020 roku decydujące znaczenie w strukturze produkcji energii ze źródeł odnawialnych będzie miała biomasa, zaś na przestrzeni lat 2015-2030 moc wytwórcza energii pozyskiwanej z biomasy stałej wzrośnie z 196 MW do 1218 MW.

Charakter prac związanych z przetwarzaniem biomasy do celów energetycznych często wiąże się z przebywaniem pracowników w środowisku zanieczyszczonym przez pył organiczny. Pył organiczny zawiera czynniki szkodliwe pochodzenia roślinnego oraz mikroorganizmy bakteryjne i grzybowe, które mogą wywierać ujemny wpływ na organizm człowieka poprzez działanie toksyczne, drażniące i alergizujące (Dutkiewicz 1997).

Celem niniejszego projektu było określenie wielkości narażenia na szkodliwe czynniki mikrobiologiczne na stanowiskach pracy związanych z przetwórstwem biomasy.

2. Materiały i metody

2.1. Pomiar i analiza bioaerozoli

Badania zostały przeprowadzone na terenie Polski w czasie trwania umownie przyjętego sezonu „letniego” (od czerwca do września) na terenie 2 elektrowni i 3 elektrociepłowni, w których biomasa leśna i rolna jest współspalana z miałem węglowym. Do przeprowadzenia badań wyznaczono 13 punktów pomiarowych (Tabela 1).

Tabela 1. Stanowiska pomiarowe w elektrowniach i elektrociepłowniach
Table 1. Sampling points at power plants and combined heat and power plants

<i>Nr stan. pomiar.</i>	<i>Nazwa stanowiska pomiarowego</i>
Pion technologiczny	
1	Rozładunek biosurowców
2	Składowanie biosurowców – biomasa leśna
3	Składowanie biosurowców – biomasa rolna (Agro)
4	Sortowanie biosurowców – separatory (przesiewacz) do biomasy
5	Taśmociąg transportujący nierozdrobnioną biomasę
6	Młynownia (rębak)
7	Taśmociąg transportujący rozdrobnioną biomasę
8	Magazynowanie biosurowców – silos na biomasę
9	Taśmociąg transportujący biomasę do nawęglania
10	Nawęglanie miałem węglowym
11	Taśmociąg transportujący nawęgloną biomasę do kotłowni
Laboratoria	
12	Laboratorium analizy biosurowców – pomieszczenie analizatorów
13	Laboratorium analizy biosurowców – rozdrabnianie próbek biomasy
14	Tłó zewnętrzne

Pobieranie próbek powietrza przeprowadzono stacjonarnie metodą wolumetryczną (zderzeniową) za pomocą impaktora typu MAS (model 100 Eco, Merck, Darmstadt, Niemcy). Dla wyznaczenia „tła zewnętrznego” badano bioaerozol pobrany w środowisku atmosferycznym w odległości ok. 100 m od badanych stanowisk pracy. Czasy pobierania próbek i prędkości przepływu strugi powietrza wynosiły odpowiednio: 1,5 min i 100 l/min.

W celu pobrania próbek aerozoli bakteryjnego i grzybowego zastosowano, odpowiednio agar tryptozowo-sojowy (Tryptcase Soy Agar –

TSA, bioMérieux SA, Marcy l'Etoile, Francja) z 5% dodatkiem odwłóknionej krwi baraniej oraz agar słodowy (Malt Extract Agar – MEA, Merck KGaA, Darmstadt, Niemcy). Po inkubacji mikrobiologicznych próbek powietrza, obliczano stężenie żywych mikroorganizmów, wyrażane jako liczba jednostek tworzących kolonie (jtk), obecnych w 1 m³ pobranego powietrza (jtk/m³).

Analizę aerozolu bakteryjnego oparto na obserwacji makro- i mikroskopowej oraz charakterystyce cech fizjologicznych i biochemicznych wyizolowanych szczepów. Do identyfikacji bakterii zastosowano zestawy mikrotestów API (bioMérieux SA). Identyfikacji grzybów dokonano w oparciu o klucze taksonomiczne (Samson i in. 2004). Do identyfikacji drożdży zastosowano szereg biochemiczny API AUX (bioMérieux SA).

Równoległe z pomiarami bioaerozolu rejestrowano wartości wilgotności względnej i temperatury powietrza przy użyciu termohigrometru (Conrad Electronic GmbH, Niemcy).

2.2. Analiza zanieczyszczeń mikrobiologicznych w próbkach biomasy

Analizie mikrobiologicznej poddano 14 przemysłowych próbek różnych rodzajów biomasy: zrębki z drzew iglastych, zrębki z drewna olchy, kora, trociny, pelet z łusek słonecznika, pelet z oliwki, pelet ze słomy, pelet – łuska owsiana, pelet – mieszanka biopaliw, wyciągi z oliwki, wyciąg ze słomy, wyciągi z kukurydzy, susz owocowy, słoma z węglem. Zawieszono NaCl (o stężeniu 0,85%) próbki biomasy wysiewano na wypełnione podłożem płytki Petriego. Po posiewie, inkubacja i identyfikacja mikroorganizmów przebiegła analogicznie, jak w przypadku analizy bioaerozolu. Uzyskane wyniki zostały przeliczone na 1 g badanej próbki biomasy [jtk/g].

2.4. Analiza statystyczna

W analizie statystycznej danych wykorzystano komputerowy program *Statistica data analysis software system*, wersja 7.1 – 2006.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Analiza ilościowa aerozoli bakteryjnych i grzybowych

Wartości stężeń aerozoli bakteryjnych i grzybowych w powietrzu na stanowiskach pracy oraz w tle zewnętrznym zmierzone za pomocą impaktora MAS przedstawiono w tabeli 2.

Badania wykazały występowanie istotnych statystycznie różnic w poziomach stężeń mikroorganizmów bakteryjnych i grzybowych między poszczególnymi stanowiskami pomiarowymi (ANOVA: $p < 0,01$). Stwierdzono istotnie wyższe stężenia bakterii w powietrzu na stanowiskach pracy linii technologicznej w porównaniu do pomieszczeń laboratorium (test Scheffego: $p < 0,05$). Najwyższe stężenia bakterii odnotowano na stanowisku 6 (test Scheffego: $p < 0,05$). Najniższe stężenia aerozolu bakteryjnego zmierzono na stanowisku 3.

Zanieczyszczenie aerozolem grzybowym powietrza na badanych stanowiskach pracy osiągnęło najwyższy poziom na stanowisku 9 (test Scheffego: $p < 0,05$). Najniższe stężenie grzybów w powietrzu wykazano na stanowisku 2.

Jak pokazały wyniki pomiarów, najwyższe stężenia bioaerozolu (przekraczające 1×10^6 jtk/m³) odnotowano na stanowiskach związanych z rozdrabnianiem, przesiewaniem i transportem biomasy na taśmociągach z silosów, w których surowiec był przechowywany.

Z danych piśmiennictwa przedmiotu wynika, że średnie wartości stężeń aerozoli bakteryjnego i grzybowego w elektrociepłowniach spalających biomasę, kształtowały się na poziomie odpowiednio $2,3 \times 10^4$ jtk/m³ i $1,7 \times 10^5$ jtk/m³ (Madsen i in. 2006). Na zbliżonym poziomie wartości stężeń odnotowała również Ławniczek-Wałczyk i in. (2012) badając bioaerozole w polskich elektrociepłowniach.

Interpretując wyniki pomiarów na stanowiskach pracy pionu technologicznego badanych zakładów, posłużono się wartościami referencyjnymi dla stężeń mikroorganizmów w „pomieszczeniach roboczych zanieczyszczonych pyłem organicznym” zalecanymi przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy (Górny i in. 2011). Analiza ilościowa bioaerozolu wykazała, że na stanowiskach numer 6 i 9 zostały przekroczone wartości dopuszczalnych stężeń dla bakterii mezofilnych (1×10^5 jtk/m³). Natomiast na stanowiskach numer 9 i 11 zostały przekroczone wartości dopuszczalnych stężeń grzybów (5×10^4 jtk/m³). Na pozostałych stanowiskach pracy „pionu technologicznego” uzyskane wartości stężeń bakterii i grzybów, to nie przekraczały zalecanych wartości referencyjnych.

Tabela 2. Stężenia bakterii i grzybów (średnia i zakres) na badanych stanowiskach pracy oraz w tle zewnętrznym

Table 2. The concentration of bacteria and fungi (mean and range) at sampling points and in the background

Numer stanowiska pomiarowego	Bakterie [$\times 10^3$ jtk/m ³]		Grzyby [$\times 10^3$ jtk/m ³]	
	M	zakres	M	zakres
1	10,8	1,590-19,9	5,2	1,5-18,6
2	1	0,2-1,9	0,2	0,1-0,3
3	0,9	0,5-1,9	4,7	0,1-18,9
4	14,7	4,8-23,5	13,2	1,7-19
5	5,9	0,3-18,9	4,9	0,3-19
6	2322,4	2320,0-2324,8	40,5	40,0-41,1
7	17,1	6,410-19,7	16	10,1-19
8	3,4	2-4,4	14,6	9,0-18,8
9	122,4	47,2-196	148,4	3,9-436
10	20,3	8,0-47,2	16,6	3-68
11	41,1	10,1-124	81,5	1,1-436
12	2,3	1,4-3,3	6,4	4,9-8
13	1,1	0,6-1,9	10,8	2,7-26, 1
14	0,3	0,2-0,5	0,4	0,1-0,9

M – średnia / mean

Pomieszczenia „laboratoryjne” trudno zaliczyć do miejsc zanieczyszczonych pyłem organicznym *sensu stricto*, jednak nie są to też klasyczne pomieszczenia użyteczności publicznej, gdyż dostęp do nich ma jedynie ograniczona liczba pracowników. Wobec braku powszechnie obowiązujących normatywów higienicznych dla tego typu pomieszczeń, w interpretacji stopnia ich mikrobiologicznego zanieczyszczenia posłużono się propozycjami dopuszczalnych stężeń drobnoustrojów (Górny i in. 2011) dla miejsc pracy w pomieszczeniach użyteczności publicznej. W oparciu o nie można stwierdzić, iż na stanowiskach pracy zlokalizowanych w laboratorium przemysłowym nastąpiło przekroczenie dopuszczalnych wartości stężeń dla grzybów (5×10^4 jtk/m³).

3.2. Analiza jakościowa aerozoli bakteryjnego i grzybowego

Analiza jakościowa próbek powietrza pobranych na terenie elektrociepłowni wykazała, że na różnych etapach procesu technologicznego

współspalania biomasy oraz w laboratorium zidentyfikowano 46 gatunków bakterii należących do 24 rodzajów oraz 39 gatunków grzybów należących do 20 rodzajów (tab. 3). Nie stwierdzono różnic w składzie jakościowym bioaerozoli między stanowiskami pracy pionu technologicznego i laboratorium.

Analiza udziału procentowego poszczególnych mikroorganizmów wykazała, że w powietrzu na wszystkich badanych stanowiskach dominowały grzyby z rodzaju *Aspergillus*. Grzyby pleśniowe występujące w środowisku pracy mogą stanowić przyczynę licznych schorzeń, w tym i tych o podłożu alergicznym, m.in.: alergicznego zapalenia pęcherzyków płucnych (AZPP), alergicznego nieżytu błony śluzowej nosa, astmy oskrzelowej, alergicznego zapalenia spojówek oraz alergii skórnych. Około 100 gatunków grzybów (np. *Aspergillus fumigatus* i *Cladosporium herbarum*) jest łączonych przyczynowo z symptomami związanymi z chorobami alergicznymi układu oddechowego (Madsen i in. 2004). Ponadto zidentyfikowano liczne gatunki pleśni, które stanowią naturalne patogeny roślin np. z rodzajów *Eurotium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, a także grzyby mogące wskazywać na przebiegający rozkład materii roślinnej (*Mucor* i *Absidia*). Stwierdzono również obecność gatunków grzybów, które naturalnie bytują w glebie (*Phoma*, *Geomyces*) (Samson i in. 2004).

Kolejnymi pod względem częstości izolacji były pałeczki Gram-ujemne. Bakterie z tej grupy są zazwyczaj wrażliwe na wysychanie, więc ich obecność na stanowiskach pracy może wskazywać na zawilgocenie surowca poddawanego spalaniu. Większość biomasy przed procesem spalania jest składowana na niezadaszonych powierzchniach, gdzie praktycznie stale ulega niekorzystnym wpływom warunków atmosferycznych. Jak wykazują badania, długotrwałe przechowywanie biomasy na otwartych składowiskach prowadzi do wzrostu stężenia mikroorganizmów zarówno w samym surowcu, jak i w powietrzu na jego składowisku (Sebastian i in. 2006). Obecne na badanych stanowiskach termofilne i mezofilne promieniowce uznawane są za jedną z głównych przyczyn AZPP (Dutkiewicz i in. 2008).

W celu oceny zagrożenia zdrowia pracowników ze strony mikroorganizmów obecnych w powietrzu na badanych stanowiskach pracy dokonano klasyfikacji wyizolowanych drobnoustrojów w oparciu o grupy zagrożenia wymienione w rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w śro-

dowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki (DzU 2005, nr 81, poz. 716 ze zm.). W wyniku przeprowadzonych pomiarów, w powietrzu badanych stanowisk pracy stwierdzono obecność 6 gatunków bakterii oraz jednego gatunku grzyba pleśniowego zakwalifikowanych do grupy 2. zagrożenia. Oznacza to, że pracownicy zatrudnieni przy przetwórstwie biomasy do celów energetycznych mogą być narażeni na bezpośredni kontakt z potencjalnie chorobotwórczymi biologicznymi czynnikami zagrożenia zawodowego.

Tabela 3. Rodzaje i gatunki bakterii i grzybów wyizolowane z powietrza oraz w próbkach biomasy

Table 3. Genera and species of bacteria and fungi isolated from the air at sampling points and from biomass samples

Próbki powietrza	Próbki biomasy
Ziarniaki Gram-dodatnie	
<i>Aerococcus caviae</i> , <i>Aerococcus viridians</i> , <i>Kocuria rosea</i> , <i>Micrococcus</i> spp., <i>Staphylococcus</i> (<i>S. aureus</i> *, <i>S. epidermidis</i> , <i>S. lentus</i> , <i>S. xylosus</i>)	<i>Kocuria rosea</i> , <i>Micrococcus</i> spp., <i>Staphylococcus</i> (<i>S. cohnii</i> , <i>S. epidermidis</i> , <i>S. lentus</i> , <i>S. sciuri</i> , <i>S. xylosus</i>)
Niezarodnikujące pałeczki Gram-dodatnie	
<i>Arthrobacter</i> spp., <i>Brevibacterium</i> (<i>B. linens</i> *, <i>B. spp.</i>), <i>Corynebacterium</i> (<i>C. auris</i> , <i>C. xerosis</i> , <i>C. spp.</i> *), <i>Cellulomonas</i> spp., <i>Microbacterium</i> spp.	<i>Arthrobacter</i> spp., <i>Brevibacterium</i> (<i>B. linens</i> *, <i>B. spp.</i>), <i>Corynebacterium</i> spp.*, <i>Cellulomonas</i> spp., <i>Leifsonia aquatic</i> , <i>Microbacterium</i> spp.
Laseczki Gram-dodatnie	
<i>Bacillus</i> (<i>B. cereus</i> , <i>B. coagulans</i> , <i>B. lentus</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>B. mycoides</i> , <i>B. subtilis</i> *, <i>B. spp.</i>), <i>Paenibacillus polymyxa</i>	<i>Bacillus</i> (<i>B. cereus</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>B. subtilis</i> *, <i>B. spp.</i>)
Pałeczki Gram-ujemne	
<i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Flavimonas oryzihabitans</i> , <i>Citrobacter</i> (<i>C. younga</i> , <i>C. spp.</i>), <i>Pantoea</i> spp., <i>Pseudomonas</i> (<i>P. aeruginosa</i> *, <i>P. luteola</i> , <i>P. putida</i> , <i>P. oryzihabitans</i>), <i>Ochrobactrum anthropi</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Flavimonas oryzihabitans</i> , <i>Pantoea</i> (<i>P. agglomerans</i> , <i>P. spp.</i>), <i>Pseudomonas</i> (<i>P. aeruginosa</i> *, <i>P. putida</i>), <i>Ralstonia picketti</i> , <i>Rahnella</i> (<i>R. aquatilis</i> , <i>R. spp.</i>), <i>Serratia marcescens</i>
Mezofilne promieniowce	
<i>Actinomyces</i> spp., <i>Nocardia</i> spp., <i>Rhodococcus</i> spp., <i>Streptomyces</i> (<i>S. albus</i> , <i>S. griseus</i> , <i>S. spp.</i> *)	<i>Actinomyces</i> spp., <i>Nocardia</i> spp., <i>Rhodococcus</i> spp., <i>Streptomyces</i> (<i>S. albus</i> , <i>S. griseus</i> , <i>S. spp.</i> *)

Tabela 3. cd.

Table 3. cont.

Bakterie termofilne	
<i>Streptomyces</i> (<i>S. thermophilus</i> , <i>S. spp.</i> *), <i>Thermoactinomyces</i> spp., <i>Bacillus stea-</i> <i>rothermophilus</i>	<i>Streptomyces</i> spp.*, <i>Thermoactinomyces</i> spp.
Próbki powietrza	Próbki biomasy
Grzyby pleśniowe	
<i>Absidia</i> spp., <i>Acremonium strictum</i> , <i>Alter-</i> <i>naria</i> (<i>A. alternata</i> , <i>A. spp.</i>), <i>Aspergillus</i> (<i>A. carbonarius</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. fumigatus</i> *, <i>A. niger</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. sydowii</i> , <i>A. terreus</i> , <i>A. spp.</i>), <i>Chaetomium</i> spp., <i>Cladosporium</i> spp., <i>Emericella nidulans</i> , <i>Eurotium herbarum</i> , <i>Fusarium</i> (<i>F. solani</i> , <i>F. spp.</i>), <i>Geomyces pannorum</i> , <i>Mucor</i> (<i>M. plumbeus</i> , <i>M. racemosus</i> , <i>M. spp.</i>), <i>Penicillium</i> (<i>P. citrinum</i> , <i>P. olsonii</i> , <i>P. sclerotiorum</i> , <i>P. viridicatum</i> , <i>P. spp.</i>) <i>Phoma herbarum</i> , <i>Rhizopus</i> (<i>R. stolnifer</i> , <i>R. spp.</i>), <i>Sporotrichum</i> spp., <i>Trichoderma</i> (<i>T. koningii</i> , <i>T. viride</i>), <i>Pichia</i> spp.	<i>Absidia</i> spp., <i>Acremonium strictum</i> , <i>Alter-</i> <i>naria</i> (<i>A. alternata</i> , <i>A. spp.</i>), <i>Aspergillus</i> (<i>A. carbonarius</i> , <i>A. clavatus</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. fumigatus</i> *), <i>A. niger</i> , <i>A. sydowii</i> , <i>A. terreus</i> , <i>A. spp.</i>), <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cl-</i> <i>adosporium</i> spp., <i>Eurotium herbarum</i> , <i>Fusa-</i> <i>rium</i> spp., <i>Mucor</i> (<i>M. plumbeus</i> , <i>M. race-</i> <i>mosus</i> , <i>M. spp.</i>), <i>Paecilomyces</i> spp., <i>Peni-</i> <i>cillium</i> (<i>P. citrinum</i> , <i>P. chrysogenum</i> , <i>P.</i> <i>glabrum</i> , <i>P. janthinellum</i> , <i>P. sclerotiorum</i> , <i>P. viridicatum</i> , <i>P. thomi</i> , <i>P. spp.</i>), <i>Phoma</i> <i>herbarum</i> , <i>Rhizopus</i> (<i>R. stolnifer</i> , <i>R. spp.</i>), <i>Sporotrichum</i> spp., <i>Trichoderma</i> (<i>T. konin-</i> <i>gii</i> , <i>T. harzinum</i> , <i>T. viride</i>), <i>Pichia</i> spp., <i>Scopularopsis fusca</i>
Drożdże	
<i>Candida</i> spp., <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Rhodotorula</i> (<i>R. rubra</i> , <i>R. mucilaginosa</i> , <i>R. spp.</i>)	<i>Candida</i> spp., <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Geotrichum</i> spp.

* Mikroorganizmy zakwalifikowane do grupy 2. zagrożenia według rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r.

3.3. Analiza ilościowa i jakościowa próbek biomasy

Wartości stężeń bakterii i grzybów w próbkach biomasy przedstawiono w tabeli 4. Najwyższe stężenia bakterii odnotowano w próbce słoma z węglem. Słoma przed procesem nawęglania była przechowywana w silosach. Prawdopodobnie mikroklimat panujący tam spowodował intensywne namnażanie bakterii w tym surowcu.

Wysokie stężenia bakterii stwierdzono także w próbkach kory, trocin, peletu oliwki oraz wyłoków z oliwek. Najniższe stężenia bakterii, odnotowano w próbkach peletu: z łusek słonecznika, z łusek owsa i z mieszanki biopaliw ($1,6-4,1 \times 10^3$ jtk/g). Analiza stężeń mikroorganizmów w badanych próbkach biomasy wskazuje, iż pelet charakteryzuje

się większą odpornością na biodegradację niż pozostałe badane rodzaje biomasy. Jednym z etapów technologicznych w produkcji peletu jest suszenie surowca, co może mieć zasadniczy wpływ na jego odporność na rozkład mikrobiologiczny. Zanieczyszczenie grzybami, podobnie jak w przypadku bakterii, osiągnęło najwyższy poziom w próbce słomy z węglem. Najniższe stężenie grzybów wykazano w próbce suszu owocowego. Jak podaje piśmiennictwo przedmiotu, w próbkach słomy i zrębkach drewna, stężenie bakterii wynosiło od 8×10^4 jtk/g do $3,1 \times 10^6$ jtk/g (Madsen i in. 2004, Madsen 2006).

Analiza korelacji nie wykazała istotnych statystycznie zależności między badanymi parametrami mikroklimatycznymi powietrza a stężeniami mikroorganizmów.

Wyniki analizy jakościowej mikrobioty wyizolowanej z próbek biomasy zostały przedstawione w tabeli 3. Analiza jakościowa próbek biomasy wykazała podobny skład gatunkowy do tego, jaki zaobserwowano w powietrzu.

Tabela 4. Stężenia bakterii i grzybów w próbkach biomasy

Table 4. The concentrations of bacteria and fungi in biomass samples

Rodzaj próbki	Bakterie [$\times 10^3$ jtk/g]		Grzyby [$\times 10^3$ jtk/g]	
	M	Zakres	M	Zakres
Zrębki z drzew iglastych	41,6	39,8-42,6	12,5	11-14,2
Zrębki z drewna olchy	11,7	10,5-13	1,4	1,3-1,5
Kora	99,5	97,1-102	157,5	150-165
Trociny	88,3	81,6-95	2,8	2,4-31
Pelet z łusek słonecznika	3,8	3,4-4,1	10,4	9,7-11
Pelet z oliwek	136,6	130-143,2	470	420-520
Pelet ze słomy	23,2	18,4-28	15,7	10-21,4
Pelet – łuska owsiana	1,8	1,6-2,1	0,6	0,5-0,6
Pelet – mieszanka biopaliw	2,2	1,9-2,4	0,8	0,8-0,9
Wytłoki z oliwek	239,5	251,2-227,8	104	100,0-108
Wytłoki ze słomy	40,3	39,1-41,5	5,7	5,5-6
Wytłoki z kukurydzy	19,5	18,0-21	69,5	65,0-74
Susz owocowy	10,8	9,7-12	0,1	0,1-0,2
Słoma z węglem	3867,1	3700,2-4100,1	22727,2	21854,7-23445,8

M – średnia / mean

W próbkach biomasy dominującą grupą były grzyby, które stanowiły od 20% do 80% całości mikrobioty. Kolejnymi pod względem częstości izolacji były laseczki Gram-dodatnie wytwarzające przetrwalniki (5-32%). Wyjątek stanowiła próbka suszu owocowego, w której dominowały laseczki Gram-dodatnie wytwarzające przetrwalniki, stanowiące 40% całości obecnej w tego typu materiale mikrobioty.

Wśród grzybów dominowały rodzaje *Aspergillus*. Wśród bakterii najczęściej izolowane były laseczki z rodzaju *Bacillus*, które były obecne na wszystkich stanowiskach pomiarowych. Wykorzystywane w elektrociepłowni biosurowce pochodzenia roślinnego stanowiły dobre podłoże dla rozwoju tych bakterii, co przy zdolności tych mikroorganizmów do wytwarzania endospor przyczyniło się do powszechności ich występowania. Licznie w badanych próbkach biomasy występowały pałeczki Gram-ujemne, głównie z rodzajów *Pantoea* i *Pseudomonas*. W większości próbek obecne były bakterie termofilne.

4. Podsumowanie i wnioski

Pracownicy elektrowni i elektrociepłowni zatrudnieni na stanowiskach pracy związanych z przetwarzaniem biomasy są narażeni na kontakt z pyłem organicznym, który jest nośnikiem potencjalnie chorobotwórczych bakterii i grzybów.

Wyniki pomiarów czynników biologicznych na różnych etapach przetwarzania biomasy do celów energetycznych wskazują, że najwyższe stężenia bioaerozolu występują na stanowiskach związanych z rozdrabnianiem, przesiewaniem i transportem biomasy na taśmociągach.

Analiza jakościowa mikrobioty powietrza na badanych stanowiskach pracy wykazała obecność bakterii i grzybów zaliczane do grupy 2. zagrożenia, czyli takich, które mogą wywoływać choroby u ludzi, mogą być niebezpieczne dla pracowników. Bezpośredni kontakt z tymi drobnoustrojami osób z obniżoną odpornością organizmu może powodować niekorzystne skutki zdrowotne. Kontakt z grzybami pleśniowymi oraz promieniowcami może być też przyczyną wielu niekorzystnych skutków zdrowotnych, w tym chorób o podłożu alergicznym, astmy oskrzelowej, alergicznego zapalenia pęcherzyków płucnych, alergii skórnych czy podrażnień.

Przeprowadzona analiza mikrobiologiczna próbek biomasy wykazała, że biosurowce przetwarzanie w celach energetycznych są aktywnym źródłem aerozoli bakteryjnego i grzybowego powodujących znaczącą kontaminację środowiska pracy.

Zatem w celu zmniejszenia narażenia pracowników zatrudnionych w przedsiębiorstwach pozyskujących energię z biomasy, należy dążyć do hermetyzacji procesów jej przetwarzania oraz regularnie monitorować środowisko pracy pod kątem występowania w nim zagrożeń powodowanych przez czynniki mikrobiologiczne.

Publikacja przygotowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowanego w latach 2014-2016 w zakresie służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (projekt Nr 2.Z.21).

Literatura

- Dutkiewicz, J. (1997). Bacteria and fungi in organic dust as potential health hazard. *Ann Agric Environ Med*, 4, 11-16.
- Dutkiewicz, J., Prażmo, Z. (2008). Biologiczne czynniki zagrożenia zawodowe w przemyśle drzewnym. *Zdr Publ*, 118(2), 138-144.
- Górny, R.L., Cyprowski, M., Ławniczek-Wałczyk, A., Gołofit-Szymczak, M., Zapór, L. (2011). *Biohazards in the indoor environment – a role for threshold limit values in exposure assessment*. W: Dudzińska M.R. [red.]. *The Management of indoor air quality*. Londyn: CRC Press – Taylor and Francis Group.
- Ławniczek-Wałczyk, A., Gołofit-Szymczak, M., Cyprowski, M., Górny, R.L. (2012). Exposure to harmful microbiological agents during the handling of biomass for power production purposes. *Med Pr*, 63(4), 395-407.
- Madsen, A.M. (2006). Exposure to airborne microbial components in autumn and spring during work at Danish biofuel plants. *Ann Occup Hyg*, 50, 821-831.
- Madsen, A.M., Mårtensson, L., Schneider, T., Larsson, L. (2004). Microbial dustiness and particle release of different biofuels. *Ann Occup Hyg*, 48, 327-338.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. (2009). Warszawa: Ministerstwo Gospodarki.
- 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 z 2005 r. nr 81, poz. 716
- Samson, R.A., Hoekstra, E.S., Frisvad, J.C. (2004). *Introduction to food- and airborne fungi*. 7th edition. Utrecht: Centraalbureau voor Schimmelcultures.

Sebastian, A., Madsen, A.M., Martensson, L., Pomorska, D., Larsson, L. (2006). Assessment of microbial exposure risks from handling of biofuel wood chips and straw – effect of outdoor storage. *Ann Agric Environ Med*, 13, 139-145.

Characteristics of Biological Hazards Associated with Processing of Biomass for Energy Purposes

Abstract

One of the main biohazard for the employees working in processing of biomass for energy purposes is organic dust.

The bioaerosol sampling was carried out at two power plants and three combined heat and power plants in Poland which co-combusted the agricultural and forest biomass with coal dust. The bacterial and fungal aerosol was collected stationary by a single-stage MAS-100 impactor. Fourteen different types of biomass samples used in the co-combustion process were also analyzed: conifer chips, alder chips, bark, sawdust, sunflower hull pellet, olive pellet, straw pellet, oat hull pellet, biofuel mix pellet, olive pomace, straw waste, corn pomace, dried fruit and straw with coal.

The concentrations of bacterial and fungal aerosol ranged from 0.9×10^3 to 2.3×10^6 CFU/m³ and from 0.2×10^3 to 1.5×10^5 CFU/m³, respectively. The highest concentrations of bacterial and fungal aerosols were determined at workplaces related to screening, reloading and biomass transport via conveyor belts. The most prevalent in the air were fungi from *Aspergillus* genus and Gram-negative rods. Bacterial and fungal concentrations in biomass samples ranged from 1.8×10^3 CFU/g to 3.9×10^6 CFU/g and from 0.1×10^3 CFU/g to 22.7×10^6 CFU/g, respectively. Their highest concentrations were recorded in the samples of straw mixed with coal.

This study showed that employees working at a power plant, both in the technological lines and in the laboratories, are associated with the exposure to high concentrations of potentially pathogenic microorganisms. Hence, to reduce such exposure, both hermetization of biomass processing and regular control of work environment should be applied.

Słowa kluczowe:

narażenie zawodowe, biomasa, bioaerozol

Keywords:

occupational exposure, biomass, bioaerosol