

mgr MAŁGORZATA GOŁOFIT-SZYMCAK  
mgr ANNA ŁAWNICZEK-WAŁCZYK

Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

# Biomasa

## jako źródło zagrożeń biologicznych

Fot. Hywit Dimyadi/Bigstockphoto



Obowiązek dostosowania się polskiego sektora energetycznego do wymagań stawianych przez Unię Europejską w zakresie wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych wywołał duże zainteresowanie wykorzystaniem biomasy na potrzeby produkcji energii. Głównym zagrożeniem zawodowym dla pracowników tego sektora jest pył organiczny powstający w procesie przetwarzania i wykorzystywania biomasy. Jako roślinne źródło energii, zawiera ona zarówno materię organiczną, jak i mikroorganizmy, które mogą wywierać niekorzystny wpływ na organizm człowieka poprzez działanie toksyczne, drażniące i alergizujące.

### Biomass as a source of biological hazards

For the Polish energy sector, the obligation to conform to the European Union's requirements regarding the production of energy from renewable natural resources has resulted in an increase in the number of power plants, which use biomass as a source of electric energy. Organic dust released during processing and using biomass is the main occupational hazard for workers of this branch of the power industry. As a vegetable source of energy, the biomass contains not only organic matter but also microorganisms, which can have an adverse effect on human health due to their toxic, irritating and allergenic properties.

### Wstęp

Rozwój cywilizacji sprawia, że wciąż zwiększa się zapotrzebowanie na energię, przy stałym wyczerpywaniu się jej tradycyjnych zasobów, głównie paliw kopalnych, takich jak węgiel, ropa naftowa czy gaz ziemny. Odnawialne źródła energii stanowią alternatywę dla tradycyjnych, nieodnawialnych nośników energii. Ich zasoby uzupełniają się w naturalnych procesach, co praktycznie pozwala traktować je jako niewyczerpalne. Ponadto pozyskiwanie energii z tych źródeł, w porównaniu do źródeł tradycyjnych

(kopalnych), jest bardziej przyjazne środowisku naturalnemu.

Jednym z najpopularniejszych źródeł energii odnawialnej jest biomasa, przetwarzana w Polsce na dużą skalę od ok. 2 dekad, również w efekcie wykonywania zobowiązań wynikających z porozumień międzynarodowych. Niemniej, wzrost zainteresowania tym źródłem energii ma też swoje złe strony – a mianowicie wzrost liczby pracowników narażonych na szkodliwe czynniki biologiczne, pojawiające się przy przetwarzaniu biomasy. W niniejszym artykule podjęto próbę ich scharakteryzowania.

Fot. 1. Uprawa trzciny cukrowej  
Photo 1. A plantation of sugar cane

### Odnawialne źródła energii

Wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii zmniejsza też w znacznym stopniu szkodliwe oddziaływanie energetyki na środowisko naturalne, głównie poprzez ograniczenie emisji szkodliwych substancji, zwłaszcza gazów cieplarnianych.

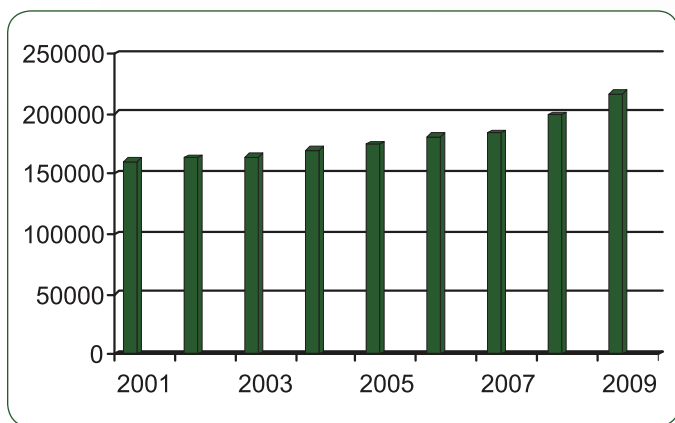
Rodzaje odnawialnych źródeł energii:

- biomasa stała, biogaz, biopaliwa ciekłe
- energia wody
- energia zasobów geotermalnych
- energia wiatru
- promieniowanie słoneczne.

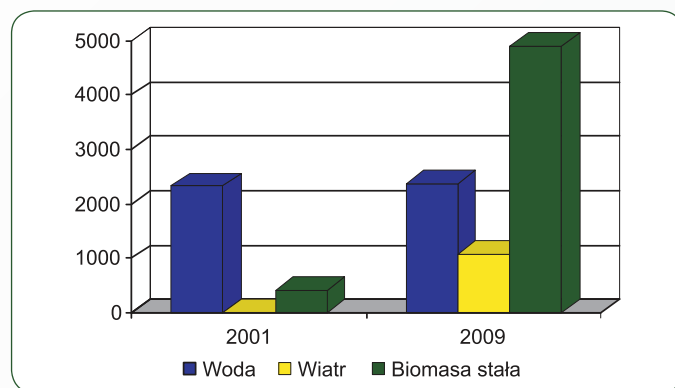
Strukturę zużycia biomasy stałej w Polsce przedstawiono na rys. 1. [1].

### Biomasa i jej rodzaje

Biomasa stanowi najstarsze i najczęściej wykorzystywane odnawialne źródło energii. W Polsce biomasa uznana jest za odnawialne źródło energii o największych zasobach, którego wykorzystanie jest na tyle tanie, że może konkurować z paliwami kopalnymi. W Polsce w 2008 r. energia pozyskana ze źródeł odnawialnych pochodziła w 87,7% z biomasy stałej. Znaczący wzrost zainteresowania biomasą jako alternatywnym źródłem energii nastąpił w latach 90. ubiegłego wieku. Niewątpliwie, głównym czynnikiem stymulującym rozwój odnawialnych źródeł energii była realizacja zobowiązań międzynarodowych, wynikających z Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych podpisanej w czerwcu 1992 r. w sprawie zmian klimatu oraz z Protokołu z Kioto do tejże konwencji, odnośnie redukcji dwutlenku węgla [2]. Energetyczne wykorzystanie biomasy w warunkach Polski przynosi liczne korzyści zarówno dla lokalnych społeczności, jak i całego kraju, m.in. przyczynia się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa energetycznego, stworzenia nowych miejsc pracy, promowania rozwoju regionalnego oraz wydatnie ogranicza emisję dwutlenku węgla.



Rys. 1. Zużycie biomasy stałej w Polsce w latach 2001-2009 [TJ], [1]  
 Fig. 1. Consumption of solid biomass in Poland in 2001-2009 [TJ], [1]



Rys. 2. Produkcja energii elektrycznej z odnawialnych nośników energii w Polsce w latach 2001 i 2009 [GWh], [1]  
 Fig. 2. Production of electricity from renewable energy sources in Poland in 2001 and 2009 [GWh], [1]

Wykorzystanie biomasy pozwala również zagospodarować nieużytki rolne oraz w bezpieczny sposób utylizować odpady.

Obowiązek dostosowania się polskiego sektora energetycznego do wymagań stawianych przez Unię Europejską w zakresie wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, wywołał duże zainteresowanie wykorzystaniem biomasy na potrzeby produkcji energii. W 2011 r. Polska została zobligowana do wytworzenia 10,4% energii ze źródeł odnawialnych w ogólnym bilansie energetycznym kraju. W następnych latach udział ten ma się jeszcze zwiększyć osiągnąjąc 20% ogólnej produkcji energii w 2020 r. [3]. Powoduje to szybki wzrost liczby elektrowni wykorzystujących biomasa jako źródło energii elektrycznej, a to z kolei pociąga za sobą wzrost liczby pracowników narażonych na szkodliwe czynniki związane z przetwórstwem biomasy.

Strukturę produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii przedstawiono na rys. 2.

Rodzaje biomasy:

- Biomasa leśna
  - drewno opałowe: polana, okrągłaki, zrębki, brykiety, pelety
  - odpady z leśnictwa w postaci drewna niewymiarowego: zrębki drzewne, kora, gałęzie, żerdzie, krzewy, chrust, karpys
  - odpady z przemysłu drzewnego: drewno kawałkowe, wióry, trociny
  - odpady z przemysłu papierniczego: ług czarny.
- Biomasa rolnicza
  - rośliny energetyczne: rośliny uprawne roczne (zboża, konopie, kukurydza, rzepak, sorgo sudańskie, trzcina), rośliny drzewiaste szybkiej rotacji (topola, osika, wierzba), szybko rosnące trawy wieloletnie (trzcina cukrowa, fot. 1).
  - pozostałości z produkcji rolniczej i rolno-spożywczej: słoma, siano, nadwyżki rolne (buraki cukrowe, ziemniaki, rzepak), gnojowica i obornik z hodowli zwierząt, niektóre odpady komunalne (osady ściekowe)
  - pozostałości z produkcji ogrodniczej: pestki (orzeczki ziemne, orzech włoski, słonecznik, wiśnia).

W zależności od rodzaju biomasy, stosowane są różne technologie jej przetwarzania np. bezpośrednie spalanie, jej współspalanie z węglem oraz termiczną utylizację połączoną z jej pirolizą i gazyfikacją [4]. Większość surowców energetycznych przed procesami spalania oraz gazyfikacji musi być poddana obróbce wstępnej, np. poprzez przetworzenie na urządzeniach zwanych rębakami odpadów drzewnych czy wiązek z wierzby energetycznej do postaci tzw. zrębków, a w przypadku niektórych rodzajów biomasy (trociny, słoma) przed spalaniem konieczne jest ponowne jej zestalenie do postaci brykietów lub peletów [3].

### Zagrożenia dla zdrowia pracowników mających kontakt z biomasą

Głównym zagrożeniem dla zdrowia pracowników mających kontakt z biomasą jest pył organiczny powstający w procesie jej przetwarzania i wykorzystywania. Zawiera on zarówno substancje roślinne, jak i rozwijające się w nim mikroorganizmy, które mogą wywierać niekorzystny wpływ na organizm człowieka poprzez działanie toksyczne, drażniące i alergizujące [5]. Świeża biomasa zawiera ok. 2000 różnych gatunków bakterii i grzybów. Długotrwała ekspozycja na szkodliwe czynniki biologiczne zawarte w pyłach, może prowadzić do wystąpienia wielu chorób układu oddechowego, np. przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POCHP), astmy oskrzelowej, przewlekłego zapalenia oskrzeli, nadreaktywności oskrzeli, alergicznego zapalenia pęcherzyków płucnych (AZPP), syndromu toksycznego wywołanego pyłem organicznym (z ang. organic dust toxic syndrome, ODTS) oraz podrażnień błon śluzowych, spojówek i skóry [6].

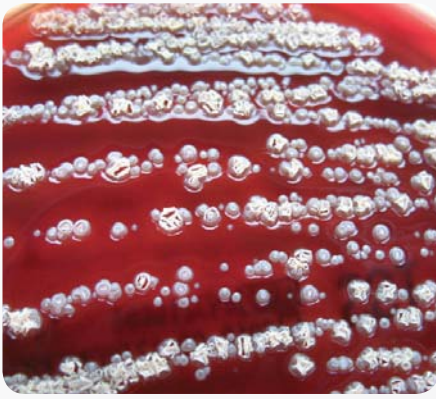
Narażenie na szkodliwe czynniki biologiczne zależy zarówno od rodzaju wykorzystywanego surowca, jak i od warunków transportu oraz jego składowania. Długotrwałe przechowywanie biomasy na składowiskach otwartych łatwo chłonie wilgoć tracąc przy tym wartość opałową oraz ulegając biodegradacji. Taki sposób składowania biomasy prowadzi też do wzrostu stężenia mikroorganizmów (szczególnie intensywnie

namnażają się bakterie mezofilne, promieniowce oraz grzyby pleśniowe) [7]. Zawartość mikroorganizmów w zrębkach drewna może sięgać 10<sup>5</sup> jednostek tworzących kolonie na 1kg (jtk/kg), z czego ponad połowę mikroflory mogą stanowić chorobotwórcze pleśnie z gatunku *Aspergillus fumigatus* [8], fot. 2.

Istotnym zagrożeniem dla pracowników zatrudnionych przy przetwarzaniu biomasy pochodzenia roślinnego są mikroorganizmy bakteryjne oraz wytwarzane przez nie substancje o działaniu alergizującym. Wśród występujących w pyłach organicznych substancji pochodzenia drobnoustrojowego o działaniu immunotoksycznym szczególne znaczenie ma endotoksyna bakteryjna wytwarzana przez Gram-ujemne pałeczki z rodziny *Enterobacteriaceae* (np. *Rahnella* spp., *Pantoea* spp., *Enterobacter* spp., *Proteus* spp.) oraz z rodzajów *Pseudomonas* i *Alcaligenes* [5]. Endotoksyna jest makrocząsteczkowym lipopolisacharydem, który uwalniany jest do środowiska zewnętrznego poprzez fragmentację ściany komórkowej bakterii. Inhalowane wraz z pyłem cząsteczki endotoksyny aktywują nieswoiste makrofagi płucne, które wydzielają liczne substancje o silnym działaniu biologicznym, określane jako mediatory reakcji zapalnej



Fot. 2. Kolonie *Aspergillus fumigatus* na podłożu MEA  
 Photo 2. Culture of *Aspergillus fumigatus* on MEA medium



Fot. 3. Kolonie *Streptomyces albus* na agarze krwawym  
 Photo. 3. Culture of *Streptomyces albus* on blood agar

(np. interleukiny IL-1 i IL-6 oraz czynnik martwicy nowotworu TNF- $\alpha$ ). Następstwem tego procesu może być odczyn zapalny w płucach, gorączka, zaburzenia w wymianie gazów i skurcz oskrzeli. Występujące w pyłe organicznym termofilne promieniowce (m.in. *Saccharomonospora viridis*, *Thermoactinomyces vulgaris*) oraz mezofilne promieniowce (*Streptomyces* spp.), (fot. 3.) uznawane są za jedną z głównych przyczyn AZPP oraz innych dolegliwości ze strony układu oddechowego [6]. W środowisku pracy zanieczyszczonym pyłem organicznym pochodzenia roślinnego, stężenia bakterii (w tym promieniowców i Gram-ujemnych pałeczek) mieszczą się w szerokim zakresie od  $4,4 \times 10^2$  jtk/m<sup>3</sup> do  $4,3 \times 10^7$  jtk/m<sup>3</sup>, a stężenia endotoksyn są na poziomie od  $1,0 \times 10^5$  jednostek endotoksycznych w 1 m<sup>3</sup> (JE/m<sup>3</sup>) do  $1,2 \times 10^5$  JE/m<sup>3</sup> [9].

Poważnym zagrożeniem w przetwórstwie biomasy są również grzyby pleśniowe z rodzajów *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Scopulariopsis* i *Trichoderma*, które bardzo często występują w pyłe organicznym pochodzenia roślinnego. Mikroorganizmy te mogą powodować wystąpienie wielu niekorzystnych efektów zdrowotnych począwszy od reakcji alergicznych (AZPP, alergiczny nieżyt nosa), przez infekcje (spowodowane wzrostem grzyba w organizmie, np. aspergiloza), po reakcje toksyczne (związane głównie z mikotoksynami – wtórnymi metabolitami grzybowymi lub składnikami ściany komórkowej grzybów) [5]. Stężenie grzybów pleśniowych w powietrzu na stanowiskach pracy zanieczyszczonych pyłem drzewnym może kształtować się na poziomie od  $1,0 \times 10^2$  jtk/m<sup>3</sup> do  $6,4 \times 10^5$  jtk/m<sup>3</sup> [10], natomiast na stanowiskach przerobu słomy może sięgać nawet  $2,8 \times 10^6$  jtk/m<sup>3</sup> [11].

Pomiary stężeń bioaerolu na stanowiskach pracy w 3 obiektach przetwarzających biomasę do celów energetycznych, wykonane przez CIOP-PIB, wykazały, że w przypadku bakterii wartości te wahały się od  $2,3 \times 10^2$  jtk/m<sup>3</sup> do  $2,9 \times 10^4$  jtk/m<sup>3</sup>, a w przypadku grzybów wynosiły od  $1,9 \times 10^2$  jtk/m<sup>3</sup> do  $6,3 \times 10^4$  jtk/m<sup>3</sup>.

Jak wynika z przedstawionych powyżej danych, stężenia mikroorganizmów grzybowych

Tabela. Propozycje dopuszczalnych stężeń drobnoustrojów w powietrzu według Zespołu Ekspertów ds. Czynników Biologicznych [12]

Table. Polish proposals of threshold limit values for bioaerosols in industrial settings polluted with organic dust [12]

Czynnik mikrobiologiczny	Dopuszczalne stężenie	
	pomieszczenia robocze zanieczyszczone pyłem organicznym	pomieszczenia mieszkalne i użyteczności publicznej
Bakterie mezofilne	$1,0 \times 10^5$ jtk/m <sup>3</sup> *	$5,0 \times 10^3$ jtk/m <sup>3</sup>
Bakterie Gram-ujemne	$2,0 \times 10^4$ jtk/m <sup>3</sup> *	$2,0 \times 10^2$ jtk/m <sup>3</sup>
Termofilne promieniowce	$2,0 \times 10^4$ jtk/m <sup>3</sup> *	$2,0 \times 10^2$ jtk/m <sup>3</sup>
Grzyby	$5,0 \times 10^4$ jtk/m <sup>3</sup> *	$5,0 \times 10^3$ jtk/m <sup>3</sup>
Czynniki z grupy 3. i 4. zagrożenia	0 jtk/m <sup>3</sup>	0 jtk/m <sup>3</sup>
Endotoksyna bakteryjna	200 ng/m <sup>3</sup> (2000 JE/m <sup>3</sup> )	5 ng/m <sup>3</sup> (50 JE/m <sup>3</sup> )

jtk – jednostka tworząca kolonie  
 JE – Jednostka Endotoksyczna

\* dla frakcji respirabilnej proponowane wartości powinny być o połowę niższe i wynosić:  $5,0 \times 10^4$  jtk/m<sup>3</sup> dla bakterii mezofilnych;  $1,0 \times 10^4$  jtk/m<sup>3</sup> dla bakterii Gram-ujemnych;  $1,0 \times 10^4$  jtk/m<sup>3</sup> dla termofilnych promieniowców;  $2,5 \times 10^4$  jtk/m<sup>3</sup> dla grzybów i 100 ng/m<sup>3</sup> (1000 JE/m<sup>3</sup>) dla endotoksyny bakteryjnej

w powietrzu zakładów pracy przetwarzających surowce energetyczne (słomę, drewno w formie zrębków, trocin i brykietów) mogą przekraczać wartości referencyjne proponowane dla pomieszczeń roboczych zanieczyszczonych pyłem organicznym (tabela) [12]. Obserwowane na stanowiskach pracy stężenia bakterii nie przekraczają zalecanych wartości referencyjnych.

### Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych pomiarów, w powietrzu na badanych stanowiskach stwierdzono, że uzyskane średnie wartości stężeń mikroorganizmów były wyższe od zalecanych wartości referencyjnych tylko w przypadku grzybów.

Analiza jakościowa bioaerolu na prawie wszystkich badanych stanowiskach pracy wykazała obecność bakterii zakwalifikowanych do grupy 2. zagrożenia (tj. *Bacillus subtilis*, *Actinomyces* spp. i *Streptomyces* spp.) oraz taksonów, wśród których niektóre szczepy są zakwalifikowane do tej grupy (*Brevibacterium* spp., *Nocardia* spp., *Paenibacillus* spp., *Pantoea* spp., *Rhodococcus* spp.). Stwierdzono również obecność grzybów zaliczanych do grupy 2. zagrożenia (tj. *Aspergillus fumigatus*), jak i tych, wśród których określone szczepy należą do tejże grupy zagrożenia (tj. *Aspergillus* spp. i *Penicillium* spp.).

Należy podkreślić, iż grzyby pleśniowe (np. *Aspergillus* spp.) oraz mezofilne promieniowce (np. *Streptomyces* spp.) występując w powietrzu nawet w niskich stężeniach mogą być przyczyną wielu niekorzystnych skutków zdrowotnych dla człowieka, w tym chorób o podłożu alergicznym, astmy oskrzelowej, alergicznego zapalenia pęcherzyków płucnych, alergii skórnych czy podrażnień.

W ramach programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy prowadzi badania narażenia na czynniki biologiczne występujące w środowisku pracy zakładów przetwarzających surowce energetyczne. Wyniki tych badań będą syste-

matycznie przedstawiane na łamach „Bezpieczeństwa Pracy”.

### PIŚMIENNICTWO

[1] Energia ze źródeł odnawialnych w 2009 r., GUS, Warszawa 2010  
 [2] Protokół z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, Kioto 1997  
 [3] Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej (realizacja obowiązku wynikającego z Rezolucji Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 8 lipca 1999 r. w sprawie wzrostu wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych). Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2000  
 [4] L. Janowicz *Ciepło z ziarna*. „Agroenergetyka” 2006, 1 (15): 38-41  
 [5] J. Dutkiewicz *Bacteria and fungi in organic dust as potential health hazard*. „Annals of Agricultural and Environmental Medicine” 1997, 4:11-6  
 [6] J. Dutkiewicz, L. Jabłoński *Biologiczne szkodliwości zawodowe*. PZWL, Warszawa 1989  
 [7] A. Sebastian, AM. Madsen, L. Mårtensson, D. Pomorska, L. Larsson *Assessment of microbial exposure risks from handling of biofuel wood chips and straw – effect of outdoor storage*. „Annals of Agricultural and Environmental Medicine” 2006, 13:139-45  
 [8] J. Dutkiewicz, L. Minarik, C. Skórska, E. Krysińska-Traczyk, V. Votrubova, M. Mayer *Mikrobiologiczna i kliniczna analiza przypadków zachorowań wynikłych z zawodowego kontaktu ze zrębkami bukowymi w fabryce celulozy*. „Pneumonologia Polska” 1984, 52:57-69.  
 [9] S. Spaan, IM. Wouters, I. Oosting, G. Doekes, D. Heederik *Exposure to inhalable dust and endotoxins in agricultural industries*. „Journal of Environmental Monitoring” 2006, 8 (1): 63-72  
 [10] J. Dutkiewicz, Z. Prażmo *Biologiczne czynniki zagrożenia zawodowego w przemyśle drzewnym*. „Zdrowie Publiczne” 2008, 118 (2): 138-44  
 [11] AM. Madsen *Exposure to airborne microbial components in autumn and spring during work at Danish biofuel plants*. „Annals of Occupational Hygiene” 2006, 50 (8): 821-31  
 [12] D. Augustyńska, M. Pośniak *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy – Wartości dopuszczalne* Międzyresortowa Komisja ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy. CIOP-PIB, Warszawa 2010

*Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*