

Piotr M. Soroka

Marcin Cyprowski

Irena Szadkowska-Stańczyk

## NARAŻENIE ZAWODOWE NA MYKOTOKSYNY W RÓŻNYCH GAŁĘZIACH PRZEMYSŁU

OCCUPATIONAL EXPOSURE TO MYCOTOXINS IN VARIOUS BRANCHES OF INDUSTRY

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź

Zakład Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia

### STRESZCZENIE

Mykotoksyny stanowią dość liczną grupę związków uwalnianych jako metabolity przez niektóre gatunki grzybów pleśniowych, wykazujących niekorzystny wpływ na zdrowie ludzi i zwierząt. W przeciwieństwie do dobrze rozpoznanego oddziaływania mykotoksyn na organizm w wyniku narażenia drogą pokarmową nadal w niedostatecznym stopniu poznane są mechanizmy oddziaływania oraz efekty zdrowotne oczekiwane przy ekspozycji drogą oddechową. Celem publikacji było dokonanie przeglądu piśmiennictwa i analizy wyników badań na temat narażenia pracowników na mykotoksyny obecne w powietrzu środowiska pracy. Omówione zostały główne klasy mykotoksyn, ich budowa chemiczna, wybrane właściwości fizyczne oraz aspekty ich aktywności biologicznej. Zestawiono wyniki badań dotyczących zawodowego narażenia na grzyby pleśniowe obecne w powietrzu, które przeprowadzono w różnych sektorach działalności gospodarczej. Dokonano przeglądu problemów związanych z oceną mechanizmów działania i skutków zdrowotnych związanych z narażeniem na mykotoksyny drogą oddechową. Wykazano, że nie ma właściwych normatywów higienicznych i aktów prawnych, które regulowałyby obecność tych związków w powietrzu środowiska pracy, czego przyczyną jest niewielka liczba badań oceniających ekspozycję krótkotrwałą na mykotoksyny drogą oddechową i brak badań monitorujących narażenie przewlekłe oraz związane z tym skutki zdrowotne. W konkluzji autorzy stwierdzają, że problem narażenia zawodowego na mykotoksyny oraz ich roli w rozwoju zmian patologicznych przy ekspozycji drogą oddechową wymaga dalszych badań. Med. Pr. 2008;59(4):333–345

Słowa kluczowe: mykotoksyny, grzyby pleśniowe, narażenie zawodowe, układ oddechowy

### ABSTRACT

Mycotoxins are a quite numerous group of substances released as metabolites by molds, which badly affect human and animal health. Their impact on organisms resulting from alimentary exposure is well recognized, but the mechanisms by which they exert their health effects after inhalation exposure are still poorly investigated. The aim of this work was to review the literature concerning the outcomes of occupational exposure to mycotoxins present in the work environment. The author discusses the major mycotoxin classes, their chemical structure, some physicochemical properties and biological activity properties. This paper summarizes the results of investigations on the impact of occupational exposure to molds present in the workplace air in various branches of industry. Problems of identifying the mechanism of health effects exerted due inhalation exposure to mycotoxins are also discussed. This review shows that there is lack of good hygiene standards and legislation regulating the presence of these compounds in the workplace air. These is due to insufficient number of analyses aimed at estimating short-term inhalation exposure to mycotoxins and lack of monitoring of long-term exposure and its health effects. The authors concludes that occupational exposure to mycotoxins and their role in the development of pathological changes in the respiratory system require further investigations. Med Pr 2008;59(4):333–345

Key words: mycotoxins, molds, occupational exposure, respiratory tract

Adres 2. autora: Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Zakład Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia, św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: marc@imp.lodz.pl

Nadesłano: 18 lipca 2008

Zatwierdzono: 12 sierpnia 2008

### WSTĘP

Mykotoksyny są związkami chemicznymi objętymi szczegółową kontrolą stężeń w żywności. W chwili obecnej problematyka ich obecności w artykułach żywnościowych i oddziaływania na organizm przy narażeniu drogą pokarmową, rozpatrywana z naukowego punktu widzenia, jest dość dobrze poznana, a sprawny monitoring oparty jest na mocnych podstawach prawnych i rozwiniętej sieci laboratoriów analitycznych.

Nadal jednak w niedostatecznym stopniu rozpoznane są mechanizmy oddziaływania mykotoksyn oraz efekty zdrowotne oczekiwane przy ekspozycji drogą oddechową.

Celem niniejszej publikacji jest dokonanie przeglądu piśmiennictwa i analizy wyników badań na temat narażenia na mykotoksyny obecne w powietrzu środowiska pracy.



## MYKOTOKSYNY — RODZAJE, ŹRÓDŁA, WYSTĘPOWANIE, DROGI NARAŻENIA

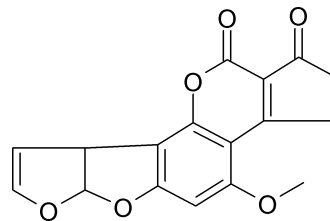
Mykotoksyny zdefiniować można jako niskocząsteczkowe ( $M < 1,5$  kDa) metabolity niektórych gatunków grzybów pleśniowych wykazujące niekorzystny wpływ na zdrowie narażonych ludzi lub zwierząt po kontakcie fizjologicznymi drogami narażenia (pokarmowa, oddechowa, przez skórę i błony śluzowe) (1). Tak sformułowana definicja obejmuje dużą liczbę związków chemicznych, które w oparciu o ich budowę chemiczną i wynikające z niej określone właściwości biologiczne można podzielić na kilka podgrup. Ze względu na znaczenie kliniczne do najważniejszych podgrup można zaliczyć aflatoksyny, ochratoksynę A oraz trichoteceny (2,3). Wśród pozostałych należy wymienić satratoksynę wytwarzaną przez *Stachybotrys chartarum* oraz zearale-non produkowany przez grzyby z rodzaju *Fusarium*.

### Aflatoksyny

Skupiają około 20 heterocyklicznych difurokumarynowych pochodnych produkowanych przez toksynogenne szczepy gatunków *Aspergillus*, głównie *A. flavus*, *A. parasiticus*, *A. nominus* (1). Są także doniesienia o produkcji aflatoksyn przez *A. puberulum* (4), *A. tamarii* (5) i *A. pseudotamarii* (6). Szczególnie obficie są produkowane na takich substratach roślinnych, jak ziarna kukurydzy czy orzeszki ziemne (3,7), a klimat panujący w regionach upraw oraz masowe przechowywanie tych surowców roślinnych sprzyja zakażaniu grzybami pleśniowymi. Z racji kosmopolitycznego występowania wspomnianych gatunków (zwłaszcza najbardziej toksynogennego *A. flavus*) obecność aflatoksyn nie ogranicza się do wybranych obszarów kuli ziemskiej, a globalny handel artykułami żywnościowymi dla ludzi i zwierząt sprzyja rozprzestrzenianiu się tych związków, głównie w produktach pochodzenia roślinnego.

W grupie aflatoksyn najsilniejszy efekt biologiczny wykazują aflatoksyna B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> (7). W mleku oraz produktach mlecznych stwierdzane są także aflatoksyne M<sub>1</sub> i M<sub>2</sub> („M” od ang. milk) będące monohydroksylowanymi pochodnymi odpowiednio aflatoksyny B<sub>1</sub> i B<sub>2</sub> (3,8). Budowę chemiczną cząsteczki aflatoksyny B<sub>1</sub> przedstawiono na rycinie 1. Związki te są odporne na działanie wysokiej temperatury, ulegają natomiast rozkładowi pod wpływem promieniowania ultrafioletowego oraz promieniowania widzialnego (3,8).

O reaktywności aflatoksyn decydują dwa charakterystyczne ugrupowania w ich strukturze: podatny na hydrolizę (zwłaszcza hydrolizę alkaliczną) pierścień laktozowy obecny w reszcie kumarynowej (3,8,9) oraz



Ryc. 1. Budowa chemiczna aflatoksyny B<sub>1</sub> (1).

Fig. 1. Chemical structure of aflatoxin B<sub>1</sub> (1).

obecne w najbardziej reaktywnej aflatoksynie B<sub>1</sub> oraz jej pochodnych podwójne wiązanie w pozycji 8. i 9. pierścienia furofuranowego. Dzięki temu wiązaniu cząsteczka aflatoksyny może ściślej łączyć się z cząsteczką DNA bądź białka, zmieniając jego strukturę i w ten sposób prowadząc do zakłócenia funkcji w komórce (10).

Źródłem aflatoksyn jest tylko część szczepów wspomnianych gatunków z rodzaju *Aspergillus*, przy czym procentowy udział toksynogennych szczepów wśród wszystkich badanych, a także poziom stężeń produkowanych przez nie mykotoksyn zależy od takich czynników, jak podłoże czy warunki mikroklimatyczne. Stwierdzono, że dla *A. flavus* procentowy udział toksynogennych szczepów waha się w granicach 20–98% w zależności od podłoża, z jakiego je izolowano. Bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na produkcję aflatoksyn jest temperatura oraz wilgotność określana za pomocą współczynnika dostępności  $a_w$ . Dla *A. flavus* minimalna, optymalna oraz maksymalna temperatura, w jakiej zachodzi może produkcja aflatoksyn, wynosi odpowiednio 12°C, 27°C i 40–42°C (11), natomiast minimalna wartość  $a_w$  wynosi 0,83 (12).

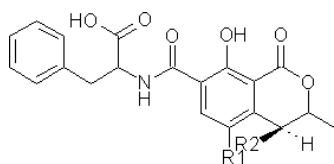
### Ochratoksyne

Skupiają 3 związki oznaczane literami A, B, C o podobnej budowie chemicznej (fenyloalanina połączona wiązaniem peptydowym z podstawnikiem dihydroizokumarynowym) (3,13) różniące się podstawnikami R<sub>1</sub> i R<sub>2</sub>. Ogólną budowę chemiczną cząsteczki tej grupy mykotoksyn przedstawia rycina 2.

Ochratoksyne są wyjątkowo termostabilne, więc proces pieczenia może zmniejszyć ich zawartość w żywności nie więcej niż o 20%, a gotowanie nie wywiera wpływu na ich zawartość w produktach spożywczych (14). Najsilniejszy efekt biologiczny wykazuje ochratoksyna A (OTA). Dla pozostałych ochratoksyn jest on o wiele słabszy (ochratoksyna B) bądź nie został jeszcze udowodniony (ochratoksyna C) (13).

Związki te produkowane są przez rodzaj *Aspergillus* (zwłaszcza przez *A. ochraceus*) oraz rodzaj *Penicillium* (głównie przez *P. verrucosum*), przy czym udział





Ryc. 2. Ogólny wzór chemiczny ochratoksyny (13).

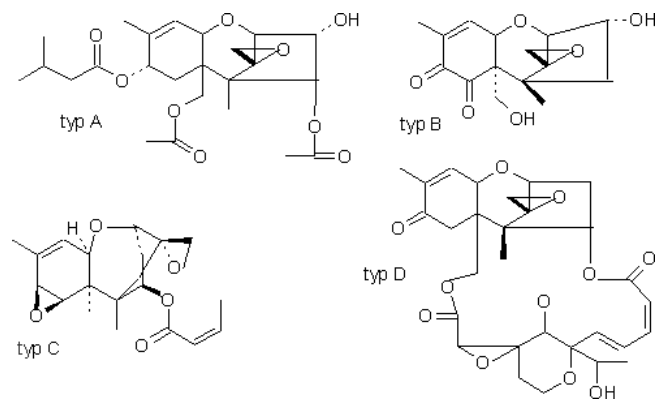
Fig. 2. Basic chemical formula of ochratoxin (13).

rodzaju *Penicillium* przeważa w regionach o klimacie umiarkowanym (optymalna temperatura dla produkcji OTA = 21–25°C), a rodzaju *Aspergillus* — w regionach o klimacie gorącym ( $T_{opt.} = 25–28^{\circ}\text{C}$ ). Klimat ma wpływ na typ surowców roślinnych będących głównymi substratami dla wzrostu gatunków grzybów produkujących tę mykotoksynę. Rodzaj *Aspergillus* spp. zazwyczaj infekuje kukurydzę, zaś obecność OTA w klimacie umiarkowanym dotyczy zwykle innych gatunków zbóż, takich jak żyto czy owies (3). Ochratoksyny są produkowane przy wartości  $a_w > 0,7$  (15).

### Trichoteceny

Są one mykotoksynami produkowanymi przez niektóre gatunki z rodzajów: *Fusarium*, *Cephalosporium*, *Mycrothecium*, *Trichoderma* oraz *Stachybotrys*. Wszystkie mają seskwiterpenoidowy pierścień (16) i ugrupowanie epoksydowe w pozycji C<sub>12,13</sub> (17). Trichoteceny w zależności od różnic w budowie chemicznej czy obecności charakterystycznych ugrupowań czy podstawników dzielą się na cztery typy, określane literami: A (T-2, HT-2, diacetoksyscirpenol), B (deoksyniwalenol, niwalenol), C (krotocyna) i D (saratoksyna, roridyna) (17). Budowę chemiczną wymienionych podgrup trichotecenów przedstawia rycina 3.

Związki te są odporne na działanie czynników fizycznych, włączając w to wysoką temperaturę czy



Ryc. 3. Ogólne wzory chemiczne głównych typów trichotecenów (17).

Fig. 3. Basic formulas of major types of trichothecens (17).

światło (17), natomiast ulegają rozkładowi biologicznemu przez niektóre rodzaje bakterii (*Pseudomonas* spp., *Arthrobacter* spp., *Agrobacterium* spp.) czy grzybów (*Alternaria* spp., *Cladosporium cladosporioides*, *Cladosporium macrocarpum*, *Rhodotorula* spp., *Ulocladium* spp.) (18–20).

### Inne mykotoksyny

Oprócz opisanych grup mykotoksyn grzyby pleśniowe produkują bardzo wiele innych mykotoksyn. Rodzaj *Fusarium* spp. jest znany jako producent fumonizyn. Dzięki specyficznej budowie chemicznej mogą one zakłócać metabolizm lipidów. Związki te znane są jako silne karcynogeny żołądka i wątroby u gryzoni, wiązane są także z wybuchami epidemicznych chorób układu pokarmowego na terenie Indii wynikających ze spożycia kukurydzy zakażonej *Fusarium* spp. (2).

Inną bardzo specyficzną mykotoksyną produkowaną przez grzyby z rodzaju *Fusarium* spp. jest zearalenon. Związek ten jest najbardziej znany z bardzo specyficznego wpływu na gospodarkę hormonalną ssaków. Dzięki podobieństwom w budowie chemicznej do budowy chemicznej hormonów płciowych zakłóca gospodarkę estrogenową, prowadząc do spadków płodności, zwiększenia liczby urodzeń samic, zmniejszenia wagi urodzeń itd. Związek ten wykazuje także właściwości toksyczne i karcynogenne (2).

Podczas badań zagrzybionych pomieszczeń budynków mieszkalnych lub użyteczności publicznej coraz większą uwagę zwraca się na obecność saratoksyn produkowanych przez *Stachybotrys chartarum* (synonimy: *S. atra*, *S. alternans*), które wpływają niekorzystnie na funkcjonowanie układu oddechowego osób narażonych i mogą przyczyniać się do występowania zespołu chorego budynku (SBS — Sick Building Syndrome). Niektórzy badacze sugerują także, że długotrwałe narażenie na saratoksyny może doprowadzić do trwałego uszkodzenia płuc (21).

Mykotoksyny rozpatrywane jako grupa aktywnych biologicznie związków wykazują bardzo różnicowany wpływ na organizm człowieka. Syntetyczne zestawienie aktywności biologicznej najważniejszych grup mykotoksyn przedstawiono w tabeli 1.

Oprócz wymienionego już czynnika genetycznego (toksynogenność danego szczepu bądź całego gatunku) oraz mikroklimatycznego na wytwarzanie mykotoksyn wpływają także inne specyficzne czynniki środowiskowe, takie jak niedobory lub obecność któregoś z istotnych składników odżywczych w podłożu czy obecność



w danym miejscu innych, konkurencyjnych gatunków grzybów pleśniowych bądź bakterii (1).

Spośród wymienionych wcześniej naturalnych dróg narażenia (pokarmowa, oddechowa, wchłanianie przez skórę i błony śluzowe) najczęściej spotykana jest droga pokarmowa ze względu na obecność mykotoksyn w zanieczyszczonej żywności. Metabolizm oraz toksyczność mykotoksyn dostających się tą drogą do ustroju zostały dosyć dobrze poznane i udokumentowane. Główną drogą narażenia w przypadku zawodowego kontaktu z mykotoksynami są drogi oddechowe, co wynika z osadzania się w nich wdychanych bardzo małych cząstek (średnica kilka–kilkanaście  $\mu\text{m}$ ) zawierających mykotoksyny (spory grzybowe lub fragmenty grzybnia). Droga narażenia poprzez bezpośredni kontakt zdrowej bądź zmienionej chorobowo skóry i błon śluzowych z zainfekowaną toksynotwórczym gatunkiem powierzchnią wydaje się mieć mniej istotne znaczenie.

## NARAŻENIE ZAWODOWE NA MYKOTOKSYNY

Wzrost toksynotwórczych gatunków grzybów pleśniowych jest nierozdzielnie związany z obecnością trzech czynników: inoculum grzybowego, podłoża organicznego (lub mineralnego, np. tynk) zapewniającego rosnącej kolonii niezbędne substancje odżywcze, oraz wilgoci. Potencjalne narażenie zawodowe na mykotoksyny występuje więc głównie w sektorze rolno-spożywczym i w ograniczonym stopniu w innych sektorach gospodarki, w których ww. czynniki są obecne. Zestawienie wyników badań nad narażeniem zawodowym pracowników na mykotoksyny przedstawiono w tabeli 2.

Uprawa, zbiór i magazynowanie zboża to czynności, przy których może występować zwiększone narażenie pracowników na szkodliwy wpływ mykotoksyn. Zboże dojrzewające w kłosach bądź też zebrane w czasie żniw i zmagazynowane w znacznej ilości bez zapewnienia odpowiednio niskiej wilgotności, poddane mikrouszkodzeniom mechanicznym (wynikającym z agresywnej techniki zbioru i omlotu maszynowego), stanowi bardzo dobre podłoże dla wzrostu grzybów pleśniowych.

Maszynowy zbiór zboża z pola oraz dokonywany na miejscu omlot ziarna generują bardzo duże ilości pyłu organicznego. Pył ten, wdychany na polu jeszcze podczas pracy kombajnu czy też osiadły na częściach maszyn, stanowi istotny czynnik ryzyka dla rolników. Także dużym ryzykiem narażenia na mykotoksyny drogą oddechową obarczeni są pracownicy zatrudnieni przy przechowywaniu zboża w warunkach

**Tabela 1.** Zestawienie aktywności biologicznej mykotoksyn  
**Table 1.** Biological activity of mycotoxins

| Mykotoksyna  | Efekt biologiczny                                                                                                   | Piśmiennictwo |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Aflatoksyny  | Działanie hepatokarcynogenne, mutagenne, teratogenne, toksyczne                                                     | 2, 3, 4, 7, 8 |
| Ochratoksyny | Działanie nefrotoksyczne, genotoksyczne, teratogenne, immunotoksyczne (immunosupresyjne)                            | 2, 3, 22–26   |
| Trichoteceny | Inhibitory syntezy białek, działanie immunomodulujące, hepatokarcynogenne, zakłócanie gospodarki hormonalnej ssaków | 2, 3, 26, 27  |

niedostatecznego uprzedniego wysuszenia, wysokiej temperatury oraz braku obiegu powietrza w silosie. Proces ten sprzyja rozwojowi grzybów pleśniowych, w tym także tych ich gatunków, które mogą produkować mykotoksyny. Pewne zagrożenie dla zdrowia wiąże się także z opróżnianiem silosów (bądź innych miejsc przechowywania ziarna) oraz dalszym obrotem bądź przeróbką ziarna (handel, mielenie, produkcja pasz itd.).

Dotychczas opublikowano niewiele prac skupiających się na oszacowaniu potencjalnego narażenia zawodowego rolników na mykotoksyny zawarte w pył z ziaren zbóż. Większość publikacji zawiera dane dotyczące obecności mykotoksyn w całych ziarnach, a tylko część podaje także zawartość tych związków w pył osiadłym bądź zawieszonym (28–35,37,38), albo dane na temat obecności toksynotwórczych szczepów grzybów w pobranych próbkach (36). Niektórzy badacze oceniali ponadto zawartość analizowanych mykotoksyn w surowicy osób narażonych na kontakt drogą oddechową (39,40).

Handel artykułami roślinnymi i wstępna obróbka niektórych z nich może wiązać się z narażeniem zawodowym pracowników na mykotoksyny, których nośnikiem mogą być drobne cząstki pyłu organicznego. Sytuacja taka może mieć miejsce przy pakowaniu, opróżnianiu i wstępnej obróbce (np. mieleniu) niektórych, szczególnie łatwo ulegających skażeniu produktów roślinnych, takich jak pieprz, soja, orzechy czy kawa. Badania nad narażeniem pracowników przedsiębiorstw obróbki surowców roślinnych (magazynowanie, mielenie, pakowanie kawy, pieprzu, gałki muszkatołowej i ziaren kakaowca) wykazały, że praca taka może nieść ze sobą ryzyko narażenia na mykotoksyny zawarte w cząsteczkach pyłu organicznego pochodzącego z zaatakowanego przez grzyby materiału roślinnego (40,41).

Z kolei transport, obróbka (segregacja, kompostowanie) i utylizacja odpadów niosą ze sobą potencjalne



**Tabela 2.** Przegląd wyników badań dotyczących zawodowego narażenia na mykotoksyny  
**Table 2.** The review of study results on occupational exposure to mycotoxins

| Lp. | Sektor, grupa zawodowa  | Opis badania                                                                                                                                                                             | Medium      | Oznaczone mykotoksyny    | Wyniki                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Uwagi                                                            | Kraj   | Piśmien-<br>nictwo |
|-----|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------|--------------------|
| 1   | Rolnictwo (uprawa zbóż) | Analiza udziału %, stężenia mykoflory całkowitej, rodzaju <i>Fusarium</i> spp. i stężenia mykotoksyn w próbkach ziarna i pyłu osiadłego pszenicy                                         | Pył osiadły | MON<br>DON<br>NIV<br>OTA | MON w 80% próbek;<br>Me = 0,145 µg/g<br>AM+ = 0,2440 µg/g<br>DON w 40% próbek;<br>AM+ = 0,3087 µg/g<br>NIV w 40% próbek;<br>Me = 0 µg/g<br>AM+ = 0,3187 µg/g<br>OTA w 60% próbek<br>Me = 0,0005 µg/g<br>AM+ = 0,0098 µg/g                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Wykazanie zależności: gatunek <i>Fusarium</i> spp. a mykotoksyna | Polska | 28                 |
| 2   | Rolnictwo (uprawa zbóż) | Analiza udziału %, stężenia mykoflory całkowitej, rodzaju <i>Fusarium</i> spp. i stężenia mykotoksyn w próbkach ziarna i pyłu osiadłego pszenicy                                         | Pył osiadły | MON<br>DON<br>NIV<br>OTA | MON w 70% próbek<br>Me = 0,0705 µg/g<br>AM+ = 0,0781 µg/g<br>DON w 60% próbek<br>Me = 0,022 µg/g<br>AM+ = 0,0762 µg/g<br>NIV w 60% próbek<br>Me = 0,015 µg/g<br>AM+ = 0,139 µg/g<br>OTA w 70% próbek<br>Me = 0,0005 µg/g<br>AM+ = 0,00076 µg/g                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Wykazanie zależności: gatunek <i>Fusarium</i> spp. a mykotoksyna | Polska | 29                 |
| 3   | Rolnictwo (uprawa zbóż) | Analiza udziału %, stężenia mykoflory całkowitej, rodzaju <i>Fusarium</i> spp. i stężenia mykotoksyn w próbkach ziarna i pyłu osiadłego 5 zbóż (żyto, jęczmień, owies, gryka, kukurydza) | Pył osiadły | DON<br>NIV<br>OTA        | Żyto:<br>DON w 100% próbek<br>Me = 0,034 µg/g<br>AM+ = 0,0336 µg/g<br>NIV w 80% próbek<br>Me = 0,015 µg/g<br>AM+ = 0,0178 µg/g<br>OTA w 60% próbek<br>Me = 0,00036 µg/g<br>AM+ = 0,000784 µg/g<br>Jęczmień:<br>DON w 100% próbek<br>Me = 0,03 µg/g<br>AM+ = 0,05 µg/g<br>NIV w 100% próbek<br>Me = 0,08 µg/g<br>AM+ = 0,062 µg/g<br>OTA w 100% próbek<br>Me = 0,00155 µg/g<br>AM+ = 0,0018 µg/g<br>Owies:<br>DON w 100% próbek<br>Me = 0,0365 µg/g<br>AM+ = 0,0607 µg/g<br>NIV w 100% próbek<br>Me = 0,03 µg/g<br>AM+ = 0,1253 µg/g<br>OTA w 100% próbek<br>Me = 0,00142 µg/g<br>AM+ = 0,0015 µg/g<br>Gryka:<br>DON w 100% próbek<br>Me = 0,0105 µg/g<br>AM+ = 0,073 µg/g<br>OTA w 100% próbek<br>Me = 0,00173 µg/g<br>AM+ = 0,0017 µg/g<br>Kukurydza:<br>DON w 100% próbek<br>Me = 0,065 µg/g<br>AM+ = 0,065 µg/g<br>NIV w 100% próbek<br>Me = 0,13 µg/g<br>AM+ = 0,13 µg/g<br>OTA w 100% próbek<br>Me = 0,001385 µg/g<br>AM+ = 0,0014 µg/g |                                                                  | Polska | 30                 |



**Tabela 2.** Przegląd wyników badań dotyczących zawodowego narażenia na mykotoksyny — cd.  
**Table 2.** The review of study results on occupational exposure to mycotoxins — cont.

| Lp. | Sektor, grupa zawodowa                 | Opis badania                                                                                                                       | Medium                      | Oznaczone mykotoksyny     | Wyniki                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Uwagi                                                                                                                           | Kraj      | Piśmien-<br>nictwo |
|-----|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|
| 4   | Rolnictwo (uprawa zbóż)                | Analiza stężenia mykotoksyn w próbkach pyłu osiadłego jęczmienia, owsa i pszenicy                                                  | Pył osiadły                 | DON<br>T-2<br>HT-2        | DON:<br>Me = 15 µg/g<br>AM = 31 µg/g<br>T-2:<br>Me = 0 µg/g<br>AM = 62 µg/g<br>HT-2:<br>Me = 54 µg/g<br>AM = 130 µg/g                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Analiza korelacji stężenia trichotecenów w próbkach z warunkami klimatycznymi oraz czynnościami rolniczymi                      | Norwegia  | 31                 |
| 5   | Rolnictwo (uprawa zbóż)                | Analiza stężenia ergosterolu i mykotoksyn w próbkach osiadłego pyłu zbożowego                                                      | Pył osiadły                 | OTA<br>CIT                | OTA:<br>AM = 103,375 ng/g<br>CIT:<br>AM = 243,5 ng/g                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                 | Belgia    | 32                 |
| 6   | Rolnictwo (uprawa zbóż)                | Analiza stężenia OTA w pyłe respirabilnym i osiadłym                                                                               | Pył zawieszony, pył osiadły | OTA                       | OTA w pyłe osiadłym:<br>Me = 4 µg/kg<br>R = 2–128 µg/kg<br>OTA w pyłe respirabilnym:<br>Me = 20 pg/m <sup>3</sup><br>R = 0,6–14 000 pg/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                   | Analiza w pyłe re-spirabilnym; analiza korelacji stężenia OTA w próbkach z warunkami klimatycznymi oraz czynnościami rolniczymi | Norwegia  | 33                 |
| 7   | Rolnictwo (uprawa zbóż)                | Analiza stężenia mykotoksyn, analiza jakościowa udziału <i>Fusarium</i> spp. w próbkach pyłu osiadłego pszenicy, jęczmienia i owsa | Pył osiadły                 | HT-2<br>DON<br>T-2<br>NIV | HT-2:<br>Me+ = 114 µg/kg<br>DON:<br>Me+ = 46 µg/kg<br>T-2:<br>Me+ = 94 µg/kg<br>NIV:<br>Me+ = 59 µg/kg                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                 | Norwegia  | 34                 |
| 8   | Rolnictwo (młynarstwo)                 | Analiza składu mykoflory całkowitej i udziału toksynotwórczych szczepów <i>Aspergillus flavus</i> , analiza pyłu zawieszonego      | Pył zawieszony              | aflatoksyny               | Potwierdzona za pomocą podłoży diagnostycznych obecność w miejscu pracy 19 toksynotwórczych szczepów <i>A. flavus</i> , które stanowiły 8% wszystkich szczepów tego gatunku                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                 | Indie     | 35                 |
| 9   | Rolnictwo (hodowla bydła)              | Analiza stężenia mykotoksyn w pyłe osiadłym i pyłe zawieszonym                                                                     | Pył osiadły, pył zawieszony | OTA                       | OTA w 42% próbek pyłu osiadłego:<br>AM+ = 27,5 µg/kg<br>R = 0,2–70 µg/kg<br>R dla konidiów w pyłe zawieszonym:<br>1,1×10 <sup>4</sup> –3,9×10 <sup>5</sup> /m <sup>3</sup><br>ROTA w konidiach uzyskanych z wyhodowanych kultur <i>Penicillium verrucosum</i> =<br>= 0,4–0,7 pg/konidium<br>ROTA w konidiach uzyskanych z wyhodowanych kultur <i>Aspergillus ochraceus</i> =<br>= 0,02–0,06 pg/konidium |                                                                                                                                 | Norwegia  | 36                 |
| 10  | Rolnictwo (uprawa zbóż, hodowla bydła) | Analiza stężenia bioaerozolu i analiza stężenia mykotoksyn w próbkach bioaerozolu                                                  | Pył zawieszony              | DON                       | Niskie (3 ng/m <sup>3</sup> , 20 ng/m <sup>3</sup> ) stężenia DON w próbkach pobranych w czasie mielenia ziarna                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                 | Finlandia | 37                 |
| 11  | Rolnictwo (farmy ekologiczne)          | Analiza stężenia IgG spec. wobec antygenów <i>Penicillium verrucosum</i> w surowicy; analiza stężenia mykotoksyn we krwi           | Surowica krwi               | OTA                       | Brak istotnych statystycznie różnic między średnimi poziomami OTA w surowicy farmerów (371 ng/l), grupy kontrolnej (423 ng/l), kobiet (395 ng/l), mężczyzn (398 ng/l), niepalących (364 ng/l) i palących (491 ng/l); odrzucona hipoteza wpływu jednostkowych cech charakterystycznych na poziom OTA w surowicy                                                                                          | Cenna analiza bezpośredniego narażenia na OTA; cenne porównania z grupą kontrolną oraz między wymienionymi kategoriami          | Norwegia  | 38                 |



**Tabela 2.** Przegląd wyników badań dotyczących zawodowego narażenia na mykotoksyny — cd.  
**Table 2.** The review of study results on occupational exposure to mycotoxins — cont.

| Lp. | Sektor, grupa zawodowa                                | Opis badania                                                                                                                                             | Medium                   | Oznaczone mykotoksyny                                                                                                                | Wyniki                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Uwagi                                                                                           | Kraj    | Piśmien-<br>nictwo |
|-----|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|
| 12  | Rolnictwo (hodowla zwierząt)                          | Analiza stężenia mykotoksyn we krwi                                                                                                                      | Surowica krwi            | aflatoksyny B                                                                                                                        | RAFB w próbkach pobranych po 2-tyg. przerwie: 0–54 pg/mg albuminy<br>RAFB w próbkach pobranych po 4-tyg. okresie pracy: 0–100 pg/mg albuminy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Cenne porównanie zawartości aflatoksyn po 2-tyg. przerwie w pracy i po przepracowaniu 4 tygodni | Dania   | 39                 |
| 13  | Przemysł spożywczy (przetwórstwo surowców roślinnych) | Analiza stężenia mykotoksyn w bioaerozolu oraz w surowicy krwi                                                                                           | Pył zawieszony, surowica | OTA                                                                                                                                  | OTA w pyłe zawieszonym: R = 0,003–8,15 ng/m <sup>3</sup><br>OTA w surowicy: R = 0,94–3,28 ng/ml                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Cenna analiza bezpośredniego narażenia na OTA                                                   | Włochy  | 40                 |
| 14  | Przemysł spożywczy (przetwórstwo surowców roślinnych) | Analiza stężenia mykotoksyn w bioaerozolu oraz w surowicy krwi                                                                                           | Pył zawieszony, surowica | OTA, AFB1, AFB2, AFG1, AFG2                                                                                                          | OTA w pyłe zawieszonym: R = 0,001–8,304 ng/m <sup>3</sup><br>AFB1 w pyłe zawieszonym: R = 0,002–0,038 ng/m <sup>3</sup><br>AFB2 w pyłe zawieszonym: R = 0,002–0,029 ng/m <sup>3</sup><br>AFG1 w pyłe zawieszonym: R = 0,002–0,036 ng/m <sup>3</sup><br>AFG2 w pyłe zawieszonym: R = 0,014–0,131 ng/m <sup>3</sup><br>OTA w surowicy: R = 0,94–3,28 ng/ml                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Cenna analiza bezpośredniego narażenia na OTA                                                   | Włochy  | 41                 |
| 15  | Przemysł (przemysł drzewny — tartak)                  | Analiza zdolności wywoływania reakcji organizmu szczurów po podaniu <i>per os</i> ekstraktu z wyizolowanych w miejscu pracy szczepów <i>A. fumigatus</i> | Model zwierzęcy          | Verrukulogen, fumitremorgen C                                                                                                        | Dwa ekstrakty z hodowli na pożywce płynnej (w tym jeden z hodowli tego samego szczepu na bloczku drewna) wywołały bardzo silne objawy drgawek u szczurów. Jeden ze szczurów zdechł dzień po podaniu ekstraktu, inne ekstrakty wywołały łagodne objawy bądź ich brak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                 | Szwecja | 42                 |
| 16  | Usługi komunalne (kompostownia odpadów)               | Analiza stężenia mykotoksyn w ekstraktach z czystych kultur, spor i pyłu                                                                                 | Ekstrakt                 | Cytrynina, fumagilina, fumigatyna, fumigaklawina A, fumigaklawina C, fumitremorgina, fumitremorgina A, tryptokwiwalina, trypacydyna, | Ekstrakty z czystych kultur: fumitremorgina A, tryptokwiwalina, trypacydyna obecne były we wszystkich ekstraktach w wysokich stężeniach; fumigaklawina A obecna była w wysokich stężeniach tylko w dwóch ekstraktach; w żadnym ekstrakcie nie stwierdzono obecności fumigaklawiny C; obecność i stężenie pozostałych związków różne w zależności od ekstraktu<br>Ekstrakty ze spor: fumitremorgina C, tryptokwiwalina i trypacydyna obecne we wszystkich ekstraktach w wysokich stężeniach; w żadnym ekstrakcie nie stwierdzono obecności cytryniny, fumigatyny ani fumitremorginy; obecność i stężenie pozostałych związków różne w zależności od ekstraktu<br>Ekstrakty z pyłu: Tryptokwiwalina i trypacydyna obecne we wszystkich ekstraktach w wysokich stężeniach; obecności pozostałych związków w ekstraktach nie stwierdzono |                                                                                                 | Niemcy  | 43                 |



**Tabela 2.** Przegląd wyników badań dotyczących zawodowego narażenia na mykotoksyny — cd.  
**Table 2.** The review of study results on occupational exposure to mycotoxins — cont.

| Lp. | Sektor, grupa zawodowa                  | Opis badania                                                            | Medium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Oznaczone mykotoksyny                                                 | Wyniki                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Uwagi | Kraj   | Piśmiennictwo |
|-----|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|---------------|
| 17  | Usługi komunalne (kompostownia odpadów) | Analiza obecności mykotoksyn w ekstraktach z czystych kultur i konidiów | Ekstrakt z <i>A. flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>A. giganteus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. eburneo-cremus</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>A. allahabadii</i> , <i>Emericella nidulans</i> , <i>Paecilomyces variotii</i> , <i>P. brevicompactum</i> , <i>P. chrysogenum</i> , <i>P. clavigerum</i> , <i>P. crustosum</i> , <i>P. polonicum</i> , <i>P. expansum</i> , <i>P. fellatatum</i> , <i>P. glabrum</i> , <i>P. spinosum</i> , <i>P. islandicum</i> , <i>P. purpurogenum</i> , <i>P. roqueforti</i> , <i>P. verruculosum</i> | Mykotoksyny i wtórne metabolity produkowane przez analizowane gatunki | Ekstrakty z czystej kultury: AFB1, asperguran, kwas aspergilotowy, kwas kojowy, kwas nitropropionowy, fumagilina, fumigatyna, fumigaklawina C, fumitremorgina C, tryptokwiwalina, trypacydyna, werrukulogen, sterygmatocystyna, wersikoloryna A, wersikoloryna C, naftopyron, tetracyklina, wiriditoksyna, aspentyna, brewianamid, kwas mykofenolowy, meleagryna, metabolit meleagryny, kwas peniciliiowy, kwas sekalonowy, izofumiklawina, patulina11, penitrem A, cyklofenol, cyklopenina, rokwefortyna, kwas terestrowy, cyklopenol, cyklopenina, werrukofortyna, werrukozydyna, wiridikatyna<br>Ekstrakty ze spor: AFB1, fumagilina, fumigaklawina A, fumigaklawina C, fumitremorgina C, tryptokwiwalina, trypacydyna, werrukulogen, naftopyron, tetracyklina, aspentyna, brewianamid, kwas mykofenolowy, meleagryna, metabolit meleagryny, izofumiklawina, patulina11, penitrem A, cyklofenol, cyklofenina, cyklopenol, cyklopenina, werrukozydyna |       | Niemcy | 44            |

Me — mediana, Me+ — mediana z prób powyżej progu detekcji.

AM — średnia arytmetyczna (arithmetic mean), AM+ — średnia arytmetyczna z prób powyżej progu detekcji.

MON — moniliformina; DON — deoksyniwalenol; NIV — niwalenol; OTA — ochratoxyna A; CIT — cytrynina; AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub>, AFG<sub>2</sub> — aflatoxyna B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>.

R — zakres stężeń (range).

ryzyko kontaktu z toksynotwórczymi grzybami pleśniowymi. Tworzący się lokalnie mikroklimat sprzyjający ich rozwojowi, dostępność składników odżywczych oraz konkurencja między różnymi gatunkami grzybów mogą sprzyjać produkcji mykotoksyn, zaś tworzący się (np. podczas transportu) bioaerozol grzybowy może być istotnym źródłem ryzyka dla zatrudnionych pracowników (43,44).

Wymienione wyżej publikacje opisują narażenie zawodowe na mykotoksyny, które było przez autorów oceniane i zostało potwierdzone. Przypuszczać należy, że potencjalne narażenie na te związki występować może także w innych gałęziach aktywności zawodowej, w których występuje zanieczyszczenie środowiska

pracy grzybami. Wyniki badań (odmiennych od opisanych wcześniej), w których badano i potwierdzono jedynie narażenie zawodowe na grzyby pleśniowe bez wyodrębniania mykotoksyn, przedstawiono w tabeli 3. Dla uproszczenia porównań wszystkie stężenia wyrażono w jtk/m<sup>3</sup>.

## SKUTKI ZDROWOTNE NARAŻENIA NA MYKOTOKSYNY DROGĄ ODDECHOWĄ

O aktywności biologicznej mykotoksyn w głównej mierze decyduje ich budowa chemiczna, ale drogi narażenia mają istotne znaczenie dla występowania określonych skutków zdrowotnych. Narażenie przez skórę i błony



śluzowe wywiera znikomy, trudny do uchwycenia efekt biologiczny, narażenie drogą pokarmową zostało już dość dobrze opisane, natomiast narażenie drogą oddechową — najistotniejsze z punktu widzenia higieny i medycyny pracy — wciąż jest poznane bardzo słabo. Wyniki doświadczeń eksperymentalnych na zwierzętach wykazały znaczne różnice w odpowiedzi organizmu różnych gatunków. Nie pozwala to, więc na pewne ekstrapolowanie uzyskanych tą drogą wyników na organizm człowieka (17). Z jednej strony pojedyncze opisy przypadków zachorowań pracowników narażonych na mykotoksyny zawieszone w powietrzu, a z drugiej budowa i fizjologia układu oddechowego stwarzające możliwość przedostawania się cząstek respirabilnych do pęcherzyków płucnych pozwalają przypuszczać, że taka droga narażenia w pewnych warunkach pracy może być bardzo istotna.

Mykotoksyny mogą być wydzielane bezpośrednio do powietrza przez producenta (sytuacja rzadka z uwagi na niską lotność tych związków) lub być obecne w unoszących się w powietrzu sporach bądź fragmentach strzępek o średnicy aerodynamicznej pozwalającej na dotarcie do pęcherzyków płucnych (56). Na podstawie badań eksperymentalnych szacować można, że inhalacja mykotoksyn może wyrzucić do dziesięciu razy silniejszy efekt toksyczny niż narażenie przez skórę (57), pokarmowe lub przy podaniu dootrzewnowym (58,59). Efekt ten przypisać należy większej dostępności mykotoksyn, która jest spowodowana większą powierzchnią kontaktu oraz łatwości przenikania tych związków przez barierę ścian naczyń włosowatych w pęcherzykach płucnych (60,61).

W literaturze opisanych zostało niewiele przypadków ostrych zatruc mykotoksynami respirabilnymi

**Tabela 3.** Przegląd wyników badań, w których oznaczano narażenie na grzyby bez wyodrębniania określonych mykotoksyn (potencjalne narażenie na mykotoksyny)

**Table 3.** The reviewed results of studies, in which exposure to fungi was determined without identifying certain mycotoxins (potential exposure to mycotoxins)

| Lp. | Sektor, grupa zawodowa                                                           | Opis badania                                                                                                                                                                                 | Wyniki                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kraj    | Piśmiennictwo |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------|
|     |                                                                                  |                                                                                                                                                                                              | stężenie bioaerozolu [jtk/m <sup>3</sup> ]                                                                                                           | stwierdzona mykoflora                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |         |               |
| 1   | Przemysł drzewny; pracownicy tartaków                                            | Ocena narażenia pracowników tartaków na bioaerozol                                                                                                                                           | Tartaki przerabiające drewno drzew iglastych:<br>AM = $4,2 \times 10^3$<br>Tartaki przerabiające drewno drzew liściastych:<br>AM = $3,9 \times 10^3$ | <i>Alternaria alternata</i> , <i>Aspergillus candidus</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Aspergillus repens</i> , <i>Botryotrichum</i> spp., <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Candida</i> spp., <i>Cephalosporium glutineum</i> , <i>Geotrichum candidum</i> , <i>Monosporium olivaceum</i> , <i>Monosporium</i> spp., <i>Mucor</i> spp., <i>Paecilomyces</i> spp., <i>Penicillium citrinum</i> , <i>Penicillium</i> spp., <i>Rhinocladiopsis</i> spp., <i>Rhizopus nigricans</i> , <i>Rhodotorula</i> spp., <i>Trichoderma album</i> , <i>T. viride</i> , <i>Trichothecium roseum</i> | Polska  | 45            |
| 2   | Przemysł drzewny; pracownicy tartaków                                            | Ocena stężenia i składu bioaerozolu w tartakach; ocena reakcji alergicznych u pracowników tartaków                                                                                           | $R = 10^3 - 10^4$                                                                                                                                    | Dominujące rodzaje mikroflory grzybowej: <i>Aspergillus</i> spp., <i>Penicillium</i> spp.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Polska  | 46            |
| 3   | Szkolnictwo i edukacja; pracownicy bibliotek. Administracja: pracownicy archiwów | Ocena stężenia i składu bioaerozolu w bibliotece oraz archiwach                                                                                                                              | Stężenia dla bibliotek:<br>$R = 1,8 \times 10^2 - 8,3 \times 10^2$<br>Stężenia dla archiwów:<br>$R = 2,9 \times 10^2 - 2,3 \times 10^3$              | Dominujące gatunki mikroflory grzybowej: <i>Cladosporium cladosporioides</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> ; potwierdzona obecność toksynotwórczego <i>Aspergillus fumigatus</i> oraz wywołującego alergię gatunku <i>Alternaria alternata</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Polska  | 47            |
| 4   | Szkolnictwo i edukacja; pracownicy muzeów (archiwa muzealne)                     | Opis przypadku: nawracające ataki gorączki, dreszczy, nudności i kaszlu u pracownicy zawilgoconych muzealnych archiwów (książki); ocena narażenia zawodowego na bioaerozol (pomiar stężenia) | AM = $10^6$<br>całkowite stężenie bioaerozolu: $10^8$                                                                                                | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Szwecja | 48            |



**Tabela 3.** Przegląd wyników badań, w których oznaczano narażenie na grzyby bez wyodrębniania określonych mykotoksyn (potencjalne narażenie na mykotoksyny) — cd.

**Table 3.** The reviewed results of studies, in which exposure to fungi was determined without identifying certain mycotoxins (potential exposure to mycotoxins) — cont.

| Lp. | Sektor, grupa zawodowa                                          | Opis badania                                                                                                                     | Wyniki                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kraj       | Piśmien-<br>nictwo |
|-----|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|
|     |                                                                 |                                                                                                                                  | stężenie bioaerozolu<br>[jtk/m <sup>3</sup> ]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | stwierdzona mykoflora                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |            |                    |
| 5   | Gospodarka komunalna; pracownicy służb komunalnych              | Analiza składu i stężenia bioaerozolu w strefie oddychania pracowników wysypisk śmieci                                           | Me dla wysypiska miejskiego = $50,3 \times 10^3$<br>Me dla kompostowni odpadów rolniczych = $101,7 \times 10^3$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Kanada     | 49                 |
| 6   | Gospodarka komunalna; pracownicy służb komunalnych              | Analiza składu i stężenia bioaerozolu w spalarni odpadów komunalnych                                                             | Obszar spalarni, pomieszczenia biurowe:<br>grzyby mezofilne:<br>GM = $1,7 \times 10^3$<br>grzyby termofilne:<br>GM = $0,12 \times 10^3$<br>Obszar spalarni, pojemnik zużł:<br>grzyby mezofilne:<br>GM = $1,4 \times 10^3$<br>grzyby termofilne:<br>GM = $0,075 \times 10^3$<br>Magazyn:<br>grzyby mezofilne:<br>GM = $118,2 \times 10^3$<br>grzyby termofilne:<br>GM = $5,2 \times 10^3$<br>Pomieszczenie żurawia:<br>grzyby mezofilne:<br>GM = $1,9 \times 10^3$<br>grzyby termofilne:<br>GM = $0,195 \times 10^3$ | Dominująca mikroflora:<br>na obszarze spalarni: <i>A. fumigatus</i> (32,7%) i <i>Penicillium</i> spp. (21,5%),<br>zbiornik zużł: <i>Cladosporium</i> (26,3%),<br><i>Penicillium</i> (22,7%) i <i>A. fumigatus</i> (18,6%),<br>magazyn: <i>Penicillium</i> (47%) i <i>A. fumigatus</i> (23,2%),<br>pomieszczenie żurawia: <i>Penicillium</i> (35%) i <i>A. fumigatus</i> (39,6%) | Finlandia  | 50                 |
| 7   | Gospodarka komunalna; pracownicy służb komunalnych              | Ocena mikrobiologiczna powietrza na terenie składowisk odpadów komunalnych                                                       | Korona składowiska (część użytkowa):<br>R = $3,2 \times 10^2 - 6,1 \times 10^3$<br>Korona składowiska (część wykorzystana):<br>R = $4,8 \times 10^2 - 5,6 \times 10^3$<br>Zbiornik odcieków wysypiskowych:<br>R = $3,6 \times 10^2 - 6,8 \times 10^2$                                                                                                                                                                                                                                                               | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Polska     | 51                 |
| 8   | Gospodarka komunalna; pracownicy służb komunalnych              | Ocena narażenia zawodowego pracowników służb komunalnych na bioaerozol                                                           | Stężenie bioaerozolu grzybowego:<br>R = $0,8 \times 10^3$ (tło/pomieszczenia) – $10,2 \times 10^4$ (sortowacz)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Polska     | 52                 |
| 9   | Gospodarka komunalna; pracownicy oczyszczalni ścieków           | Ocena wpływu pór roku oraz miejsca etapu oczyszczania ścieków na poziom narażenia pracowników oczyszczalni ścieków na bioaerozol | Wyraźne zmiany sezonowe w stężeniu bioaerozolu grzybowego:<br>lato: AM = $2,3 \times 10^3 \pm 858$<br>zima: AM = $0,3 \times 10^3 \pm 95$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Szwajcaria | 53                 |
| 10  | Gospodarka komunalna; pracownicy miejskiej oczyszczalni ścieków | Ocena mikrobiologiczna powietrza w miejskim systemie kanalizacyjnym                                                              | Stężenie bioaerozolu grzybowego:<br>R = $0,24 \times 10^2 - 1,4 \times 10^2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Dominująca mikroflora: <i>Geotrichum candidum</i> (32,2%), <i>Penicillium</i> spp. (20%), <i>Cladosporium lignicola</i> (12,2%), <i>Alternaria alternata</i> (10,4%)                                                                                                                                                                                                            | Polska     | 54                 |
| 11  | Gospodarka komunalna; pracownicy systemu kanalizacyjnego miasta | Ocena narażenia pracowników kanalizacji na bioaerozole                                                                           | Właz do kanału:<br>AM = $0,66 \times 10^2$<br>Kanał ściekowy:<br>AM = $0,44 \times 10^2$<br>Punkt zlewny ścieków:<br>AM = $0,88 \times 10^2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Stwierdzone gatunki: <i>Penicillium</i> spp., <i>Aspergillus</i> spp., <i>Aspergillus niger</i> , <i>A. fumigatus</i>                                                                                                                                                                                                                                                           | Polska     | 55                 |

Me — mediana.

AM — średnia arytmetyczna (arithmetic mean).

GM — średnia geometryczna (geometric mean).

R — zakres stężeń (range).



(jako jednostka chorobowa określanych zwykle zbiorczą nazwą 'mykotoksykozy' lub 'toksykomykozy'). Znane są pojedyncze opisy przypadków wystąpienia ostrych stanów chorobowych, które z bardzo dużą dozą prawdopodobieństwa można przypisać wdychanym mykotoksynom. Wspomnieć tu można np. opisany przypadek ostrej niewydolności nerek, stwierdzonej u kobiety po ośmiogodzinnym dniu pracy w niewietrzonej od kilku miesięcy spichlerzu (62). Istnieją tylko nieliczne doniesienia dotyczące przewlekłego narażenia zawodowego na mykotoksyny w sposób jednoznaczny stwierdzonego i powiązanego ze skutkami zdrowotnymi. Należą do nich wyniki badań epidemiologicznych przeprowadzonych w Holandii, które wskazują na możliwy związek narażenia zawodowego na aflatoksyny z przypadkami wystąpienia nowotworów wątroby oraz innych organów (63,64).

Trzeba zauważyć, że znane są wyniki badań, które mogą wskazywać na narażenie zawodowe na mykotoksyny, ale nie można jednoznacznie określić bezpośredniego związku przyczynowo-skutkowego między narażeniem na te związki a wystąpieniem stwierdzonych stanów chorobowych. Przykładem tego typu doniesień są publikacje opisujące hipotetyczny związek między zawodowym narażeniem na mykotoksyny w pyłach z orzeszków ziemnych a rakiem płuc (65) czy narażeniem na *A. flavus* a rakiem płuc u górników (66).

O ile prawodawstwo większości państw (w tym Polski) w normach jakości dla produktów spożywczych zawiera także wartości maksymalnych dopuszczalnych stężeń mykotoksyn, o tyle brak jest właściwych normatywów higienicznych i aktów prawnych, które regulowałyby obecność tych związków w powietrzu środowiska pracy. Zwraca na to uwagę wielu autorów publikacji (28–33). Przyczyną tej sytuacji jest niewielka liczba badań oceniających ekspozycję krótkotrwałą na mykotoksyny drogą oddechową i w zasadzie brak badań monitorujących narażenie przewlekłe oraz związane z tym skutki zdrowotne. Dokonany przegląd pokazuje, że problem narażenia zawodowego na mykotoksyny oraz ich roli w rozwoju zmian patologicznych przy ekspozycji drogą oddechową wymaga dalszych badań.

## PIŚMIENNICTWO

1. Sweeney M., Dobson A.: Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* Species. Int. J. Food Microbiol. 1998;43:141–158
2. Creppy E.: Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe. Toxicol. Lett. 2002;127:19–28
3. World Health Organization: Kryteria Zdrowotne Środowiska. Mikotoksyny. T. 11. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1984
4. Ross R., Yuan J., Yu M., Wogan G., Qian G., Tu J. i wsp.: Urinary aflatoxin biomarkers and risk of hepatocellular carcinoma. Lancet 1992;339:1413–1414
5. Kurtzman C., Horn B., Hesseltine C.: *Aspergillus nomius*, a new aflatoxin-producing species related to *Aspergillus flavus* and *Aspergillus tamarii*. Antonie Van Leeuwenhoek 1987;53(3):147–158
6. Ito Y., Peterson S., Wicklaw D., Goto T.: *Aspergillus pseudotamarii*, a new aflatoxin producing sp., *Aspergillus* section Flavi. Mycol. Res. 2001;105:2233–2239
7. Mishra H., Chitrangada D.: A review on biological control and metabolism of aflatoxin. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2003;43:245–264
8. Wogan G.: Chemical nature and biological effects of the aflatoxins. Bacteriol. Rev. 1966;30:460–470
9. Lee L., Dunn J., Delucca A., Ciegler A.: Role of lactone ring of aflatoxin B1 in toxicity and mutagenicity. Experimentia 1981;37:16–17
10. Heathcote J., Hibbert J.: Biochemical effects, structure, activity, relationship. W: Goldblatt L.A. [red.]: Aflatoxin: chemical and biological aspects. Elsevier Scientific, Amsterdam 1978, ss. 112–130
11. Davis N., Diener U.: Environmental factors affecting the production of aflatoxin. W: Herzberg M. [red.]. *Proceedings of the First US-Japan Conference on „Toxic Microorganisms”*. Govt Printing Office, Washington DC 1970, ss. 43–47
12. Northolt M., Verhulsdonk C., Soentoro P., Paulsch W.: Effect of water activity and temperature on aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus*. J. Milk Food Technol. 1979;39:170–174
13. O'Brien E., Dietrich D.: Ochratoxin A: the continuing enigma. Crit. Rev. Toxicol. 2005;35:33–60
14. Berry L.: The pathology of mycotoxins. J. Pathol. 1988;154:301–311
15. Ramos A.J., Labernia N., Marin S., Sanchis V., Magan N.: Effect of water activity and temperature on growth and ochratoxin production by three strains of *Aspergillus ochraceus* on an barley extract medium and on barley grains. Int. J. Food Microbiol. 1998;44(1–2):133–140
16. World Health Organization I.P.C.S. Trichothecenes: Selected Mycotoxins: Ochratoxins, Trichothecenes. WHO, Geneva 1990
17. Sudakin D.L.: Trichothecenes in the environment: relevance to human health. Toxicol. Lett. 2003;143:97–107
18. Jesenska Z., Sajbidorova I.: T-2 toxin degradation by micromycetes. J. Hyg. Epidemiol. Microbiol. Immunol. 1991;35:41–49
19. Beeton S., Bull A.T.: Biotransformation and detoxification of T-2 toxin by soil and freshwater bacteria. Appl. Environ. Microbiol. 1989;55:190–197
20. Shima J., Takase S., Takahashi Y., Iwai Y., Fujimoto H., Yamazaki M. i wsp.: Novel detoxification of the



- trichothecene mycotoxin deoxynivalenol by a soil bacterium isolated by enrichment culture. *Appl. Environ. Microbiol.* 1997;63:3825–3830
21. Kuhn D.M., Ghannoum M.A.: Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: infectious disease perspective. *Clin. Microbiol. Rev.* 2003;16(1):144–172
  22. Dipaulo N., Guarnieri A., Garosi G., Sacchi G., Mangiarotti A.M., Dipaulo M.: Inhaled mycotoxins lead to acute renal failure. *Dial. Transplant. Nephrol.* 1994;9(Supl. 4): 116–120
  23. Creppy E.E., Kane A., Dirheimer G., Lafarge-Frayssinet C., Mousset S., Frayssinet C.: Genotoxicity of ochratoxin A in mice: DNA single-strand breaks evaluation in spleen, liver and kidney. *Toxicol. Lett.* 1985;28:29–35
  24. Kane A., Creppy E.E., Roth A., Rosenthaler R., Dirheimer G.: Distribution of the [3H]-label from low doses of radioactive ochratoxin A ingested by rats, and evidence for DNA single-strand breaks caused in liver and kidneys. *Arch. Toxicol.* 1986;58:219–224
  25. Krogh P.: Ochratoxins in food. W: Krogh P. [red.]: *Mycotoxins in food. Food Science and Technology, a Series of Monographs.* Academic Press, San Diego, Kalifornia 1987, ss. 97–121
  26. Bondy G.S., Pestka J.J.: Immunomodulation by fungal toxins. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.* 2000;3: 109–143
  27. Froquet R., Sibiril Y., Parent-Massin D.: Trichothecene toxicity on human megakaryocyte progenitors (CFU-MK). *Hum. Exp. Toxicol.* 2001;20:84–89
  28. Krysińska-Traczyk E., Perkowski J., Dutkiewicz J.: Levels of fungi and mycotoxins in the samples of grain and grain dust collected on farms in Eastern Poland. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2001;8:269–274
  29. Krysińska-Traczyk E., Perkowski J., Kostecki M., Dutkiewicz J., Kiecana I.: Grzyby pleśniowe i mykotoksyny jako potencjalne czynniki zagrożenia zawodowego rolników sprzątających zboże kombajnami. *Med. Pr.* 2003;54: 133–138
  30. Krysińska-Traczyk E., Perkowski J., Dutkiewicz J.: Levels of fungi and mycotoxins in the samples of grain and grain dust from five various cereal crops in eastern Poland. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2007;14:159–167
  31. Nordby K.C., Halstensen A.S., Elen O., Clasen P.E., Langseth W., Kristensen P. i wsp.: Trichothecene mycotoxins and their determinants in settled dust related to grain production. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2004;11:75–83
  32. Tangni E.K., Pussemier L.: Ochratoxin A and citrinin loads in stored wheat grains: Impact of grain dust and possible prediction using ergosterol measurement. *Food Addit. Contam.* 2006;23:181–189
  33. Halstensen A.S., Nordby K.C., Elen O., Eduard W.: Ochratoxin A in grain dust — estimated exposure and relations to agricultural practices in grain production. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2004;11:245–254
  34. Halstensen A.S., Nordby K.C., Klemsdal S.S., Elen O., Clasen P.E., Eduard W.: Toxigenic *Fusarium* spp. as determinants of trichothecene mycotoxins in settled grain dust. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2006;3:651–659
  35. Desai M.R., Ghosh S.K.: Occupational exposure to airborne fungi among rice mill workers with special reference to aflatoxin producing *A. flavus* strains. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2003;10:159–162
  36. Skaug M.A., Eduard W., Størmer F.C.: Ochratoxin A in airborne dust and fungal conidia. *Mycopathologia* 2000;151:93–98
  37. Lappalainen S., Nikulin M., Berg S., Parikka P., Hintikka E.L., Pasanen A.L.: *Fusarium* toxins and fungi associated with handling of grain on eight Finnish farms. *Atmos. Environ.* 1996;30(17):3059–3065
  38. Skaug M.A.: Levels of ochratoxin A and IgG against conidia of *Penicillium verrucosum* in blood samples from healthy farm workers. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2003;10:73–77
  39. Autrup J.L., Schmidt J., Autrup H.: Exposure to aflatoxin B1 in animal-feed production plant workers. *Environ. Health Perspect.* 1993;99:195–197
  40. Iavicoli I., Brera C., Carelli G., Caputi R., Marinaccio A., Miraglia M.: External and internal dose in subjects occupationally exposed to ochratoxin A. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2002;75:381–386
  41. Brera C., Caputi R., Miraglia M., Iavicoli I., Salerno A., Carelli G.: Exposure assessment to mycotoxins in workplaces: aflatoxins and ochratoxin A occurrence in airborne dusts and human sera. *Microchem. J.* 2002;73(1):167–173
  42. Land C.J., Hult K., Fuchs R., Hagelberg S., Lundstrom H.: Tremorgenic mycotoxins from *Aspergillus fumigatus* as a possible occupational health problem in sawmills. *Appl. Environ. Microbiol.* 1987;53:787–790
  43. Fischer G., Müller T., Schwalbe R., Ostrowski R., Dott W.: Species-specific profiles of mycotoxins produced in cultures and associated with conidia of airborne fungi derived from biowaste. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2000;203: 105–116
  44. Fischer G., Müller T., Ostrowski R., Dott W.: Mycotoxins of *Aspergillus fumigatus* in pure culture and in native bioaerosols from compost facilities. *Chemosphere* 1999;38:1745–1755
  45. Dutkiewicz J., Krysińska-Traczyk E., Prażmo C., Skórska C., Sitkowska J.: Exposure to airborne microorganisms in Polish sawmills. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2001;8:71–80
  46. Dutkiewicz J., Krysińska-Traczyk E., Skórska C., Milanowski J., Sitkowska J., Dutkiewicz E. i wsp.: Mikroflora powietrza tartaków jako potencjalny czynnik zagrożenia zawodowego: stężenie i skład mikroflory oraz immunologiczna reaktywność pracowników na aeroalergeny drobnoustrojowe. *Pneumonol. Alergol. Pol.* 1996;64 Supl. 1:25–31
  47. Zielińska-Jankiewicz K., Kozajda A., Piotrowska M., Szadkowska-Stańczyk I.: Microbiological contamination with moulds in work environment in libraries and archive storage facilities. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2008;15:71–78



48. Kolmodin-Hedman B., Blomquist G., Sikström E.: Mould exposure in museum personnel. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1986;57:321–323
49. Lavoie J., Dunkerley C.J., Kosatsky T., Dufresne A.: Exposure to aerosolized bacteria and fungi among collectors of commercial, mixed residential, recyclable and compostable waste. *Sci. Total Environ.* 2006;15;370(1):23–28
50. Tolvanen O.K., Hänninen K.I.: Occupational hygiene in a waste incineration plant. *Waste Manage.* 2005;25(5): 519–529
51. Buczyńska A., Cyprowski M., Szadkowska-Stańczyk I.: Czynniki biologiczne szkodliwe dla zdrowia występujące w powietrzu na terenie składowisk odpadów komunalnych. *Med. Pr.* 2006;57:531–535
52. Krajewski J.A., Tarkowski S., Cyprowski M., Szarapińska-Kwaszewska J., Dudkiewicz B.: Occupational exposure to organic dust associated with municipal waste collection and management. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2002;15:289–301
53. Oppliger A., Hilfiker S., Vu Duc T.: Influence of seasons and sampling strategy on assessment of bioaerosols in sewage treatment plants in Switzerland. *Ann. Occup. Hyg.* 2005;49:393–400
54. Prażmo Z., Krysińska-Traczyk E., Skórska C., Sitkowska J., Cholewa G., Dutkiewicz J.: Exposure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2003;10(2):241–248
55. Cyprowski M., Buczyńska A., Szadkowska-Stańczyk I.: Ocena narażenia na bioaerozole pracowników kanalizacji. *Med. Pr.* 2006;57:525–530
56. Sorenson, W.G.: Fungal spores: hazardous to health. *Environ. Health Perspect.* 1999;107(Supl. 3):469–472
57. Schiefer H.B., Hancock D.S.: Systemic effects of topical application of T-2 toxin in mice. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 1984;76:464–472
58. Creasia D.A., Thurman J.D., Jones L.J.D., Nealley M.L., York C.G., Wannermacher Jr R.W. i wsp.: Acute inhalation toxicity of T-2 mycotoxin in mice. *Fundam. Appl. Toxicol.* 1987;8:230–235
59. Creasia D.A., Thurman J.D., Wannermacher Jr R.W., Bunner D.L.: Acute inhalation toxicity of T-2 mycotoxin in the rat and guinea pig. *Fundam. Appl. Toxicol.* 1990;14: 54–59
60. Petzinger E., Ziegler K.: Ochratoxin A from a toxicological perspective. *J. Vet. Pharmacol. Ther.* 2000;23:91–98
61. Hintikka E.L., Nikulin M.: Airborne mycotoxins in agricultural and indoor environments. *Indoor Air* 1998; Supl. 4:66–70
62. Di Paolo N., Guarnieri A., Loi F., Sacchi G., Mangiarotti A.M., di Paolo M.: Acute renal failure from inhalation of mycotoxins. *Nephron* 1993;64:621–625
63. Van Nieuwenhuize J.P., Herber R.F.M., de Bruin A., Meyer P.B., Duba W.C.: Epidemiologisch onderzoek naar carcinogeniteit bij langdurige 'low level' expositie van een fabriekspopulatie. *Soc. Geneesk.* 1973;51:754–760
64. Hayes R.B., van Nieuwenhuize J.P., Raatgever J.W., Ten Kate F.J.: Aflatoxin exposures in the industrial setting: an epidemiological study of mortality. *Food Chem. Toxicol.* 1984;22(1):39–43
65. Dvorackova J.: Aflatoxin inhalation and alveolar cell carcinoma. *Br. Med. J.* 1976;20,1(6011):691
66. Kusak V., Jelinek S., Sula J.: Possible role of *Aspergillus flavus* in the pathogenesis of Schneeberg and Jáchymov disease. *Neoplasma* 1970;17(5):441–449

