

dr n. biol. lek. med. RAFAŁ LEWANDOWSKI  
Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii

# Ciecze chłodząco-smarujące jako źródło czynników biologicznych zagrażających zdrowiu pracowników



Fot. Lichtmeister/Bigstockphotoo

W artykule przedstawiono problem niekorzystnego wpływu czynników biologicznych występujących w cieczach obróbkowych na zdrowie pracowników. Stosowanie podczas obróbki mechanicznej cieczy o właściwościach chłodząco-smarujących ma na celu zmniejszenie zużycia narzędzi obróbkowych, poprawę jakości wykończenia obrabianego materiału oraz ochronę przed korozją. Badania mikrobiologiczne wykazały obecność w próbkach cieczy obróbkowych różnych drobnoustrojów: bakterii, grzybów i drożdży. W ostatnich kilkunastu latach podejmowane są próby udowodnienia wpływu określonych czynników biologicznych obecnych w cieczach obróbkowych na występowanie różnych chorób zawodowych u pracowników zatrudnionych przy obróbce mechanicznej. Są to głównie choroby układu oddechowego, a wśród nich najczęściej opisywane jest alergiczne zewnątrzopłucne zapalenie pęcherzyków płucnych. U osób z potwierdzonym narażeniem na aerozole cieczy obróbkowych choroba ta określana jest terminem „płuco operatorów maszyn”.

## Metalworking fluids as a source of biological agents that pose a health risk to workers

This paper discusses the adverse effects on workers' health of biological agents present in metalworking fluids. Those fluids are used in machining to reduce the wear of machining tools, improve the quality of the machining material and protect against corrosion. Microbiological examination of samples of metalworking fluids revealed the presence of various microorganisms: bacteria, fungi and yeasts. In the past few years, there have been attempts to prove the impact of the biological agents in metalworking fluids on the presence of various diseases in workers engaged in machining. These are mainly respiratory diseases, with hypersensitivity pneumonitis the most commonly reported one. The disease diagnosed in patients with confirmed exposure to metalworking fluid aerosols is known as the "machine operator's lung".

## Wstęp

Czynniki biologiczne potencjalnie zagrażające zdrowiu pracowników wykrywane są obecnie w różnych środowiskach pracy. Jednym z przykładów są zakłady przemysłu metalowego, w których stwierdza się żywe

drobnoustroje lub toksyny biologiczne w płynach stosowanych podczas obróbki metali. Płyny te, nazywane cieczami obróbkowymi lub cieczami chłodząco-smarującymi (CCS, ang. *metalworking fluids*) stosowane są w przemyśle metalowym przede wszystkim do chłodzenia oraz smarowania narzędzi i obrabia-

nych materiałów podczas różnych procesów obróbki mechanicznej [1, 2].

Zwykle podawane są pod ciśnieniem w postaci strumienia bezpośrednio na powierzchnie obrabianych materiałów, co przy szybkich obrotach maszyn prowadzi do wytwarzania aerozoli określanymi potocznie jako „mgła olejowa”. Drobnoustroje obecne w CCS uwalniane są do otoczenia w postaci wilgotnego bioaerozolu, który jest wdychany przez pracowników i może powodować niekorzystne skutki zdrowotne. Od wielu lat podejmowane są próby ustalenia wpływu określonych czynników biologicznych na występowanie wybranych jednostek chorobowych u pracowników zatrudnionych przy obróbce mechanicznej. Dotyczy to przede wszystkim chorób układu oddechowego i chorób skóry [3-5].

## Zanieczyszczenia mikrobiologiczne cieczy obróbkowych

CCS są mieszaninami złożonymi z różnych substancji chemicznych. Występują one najczęściej pod postacią: czystych olejów (naturalnych, syntetycznych lub mieszanin), emulsji (otrzymywanych po zmieszaniu olejów emulgujących z wodą), mikroemulsji lub rozтворów substancji chemicznych (cieczy syntetycznych), [1, 2, 5]. CCS mają istotne znaczenie w przemyśle metalowym, ponieważ zwiększają trwałość narzędzi obróbkowych, poprawiają jakość wykończenia obrabianego materiału oraz zapobiegają korozji. Mogą zawierać różne dodatki, głównie biocydy i/lub inhibitory korozji, które zwiększają wydajność i żywotność płynów obróbkowych [1, 6]. Jednak CCS są bardzo podatne na zanieczyszczenia mikrobiologiczne, które mogą stanowić poważne zagrożenie dla pracowników obsługujących maszyny obróbkowe oraz mieć wpływ na pogorszenie jakości obrabianych materiałów [2].

Rozwój drobnoustrojów w CCS jest możliwy przede wszystkim dzięki obecności w ich składzie substancji organicznych. Najlepsze warunki dla rozwoju drobnoustrojów znajdują



w emulsjach wodno-olejowych, natomiast cieczy syntetyczne w największym stopniu hamują ich wzrost [2, 7]. W CCS mogą rozwijać się różne drobnoustroje: bakterie, grzyby i drożdże. Liczba i rodzaj drobnoustrojów występujących w CCS zależy między innymi od rodzaju procesu technologicznego [8].

W jednych z pierwszych badań dotyczących analizy mikrobiologicznej CCS stwierdzano wysokie stężenia drobnoustrojów, nawet do około  $10^7$  CFU/ml [9]. Dominującymi gatunkami bakterii były przede wszystkim: *Pseudomonas oleovorans*, *Klebsiella pneumoniae* i *Proteus vulgaris*. W ostatnich latach wśród bakterii tlenowych stwierdzanych w CCS dominują bakterie Gram-ujemne, przede wszystkim z rodzaju *Pseudomonas*, które mają zdolność wykorzystywania wszystkich organicznych składników obecnych w chłodziwach [2, 10].

Bakterie beztlenowe pojawiają się natomiast w przypadku przedłużonego (powyżej kilku dni) nieużywania maszyn. Głównie są to bakterie z rodzaju *Clostridium*, które w największym stopniu spośród wszystkich drobnoustrojów niszczą emulsje olejowe, przede wszystkim w wyniku procesów fermentacji. Poważnym zagrożeniem mikrobiologicznym stwierdzanym w CCS są również grzyby, zwłaszcza z rodzajów *Penicillium*, *Aspergillus*, *Candida*, *Cladosporium*, *Fusarium* i *Cepalospirium* [2, 10]. W badaniach mikrobiologicznych CCS wykonanych w ostatnich latach wykazano, że obecności grzybów w cieczach obróbkowych zwykle towarzyszą wysokie stężenia mykotozyn [8, 10].

Regularne monitorowanie jakości cieczy obróbkowych i stosowanie biocydów może mieć wpływ na obniżenie ogólnej liczby drobnoustrojów w CCS nawet około 3 log [11]. Jednak stosowanie biocydów może prowadzić również do selekcji drobnoustrojów opornych na działanie środków biobójczych, głównie bakterii z rodzaju *Pseudomonas* oraz z rodzaju *Mycobacterium* [1]. Obecność prątków szybko rosnących w cieczach obróbkowych rozcieńczanych wodą tłumaczona jest między innymi tym, że bakterie te dzięki większej oporności na działanie różnych środków dezynfekcyjnych przeżywiają w wodzie pitnej w większej liczbie niż inne drobnoustroje i nie ulegają zniszczeniu pod wpływem większości biocydów dodawanych do CCS [1].

Oprócz żywych drobnoustrojów, w cieczach obróbkowych wykrywane są również endotoksyny bakteryjne – lipopolisacharydy (LPS). Stężenia endotoksyn oznaczane w CCS zwykle wykazują wysoką korelację ze stwierdzaną liczbą bakterii Gram-ujemnych [10]. Wzrost drobnoustrojów w CCS powoduje pogorszenie ich właściwości fizyko-chemicznych (np. utratę lub zmniejszenie lepkości, obniżenie odporności cieplnej, obniżenie pH), co prowadzi do przyspieszenia procesu korozji maszyn obróbkowych, utraty szczelności ich układów chłodziwo-smarujących oraz przyspieszonego niszczenia narzędzi obróbkowych [2]. Tworzenie biofilmu bakteryjnego w układach cyrkulacyjnych maszyn obróbkowych lub nadmierny wzrost grzybów może prowadzić

do zmniejszenia lub nawet do całkowitej utraty ich drożności [7].

### Narażenie na aerozole cieczy obróbkowych a zdrowie pracowników

U osób narażonych na bezpośredni kontakt z CCS mogą występować różne schorzenia i dolegliwości. Składniki tych cieczy mogą wnikać do organizmu człowieka poprzez drogi oddechowe, skórę lub drogą pokarmową. Wchłanianie przez skórę nie powoduje zwykle zmian ogólnoustrojowych, ale częste narażenie skóry na bezpośredni kontakt z CCS może prowadzić do podrażnień, kontaktowego zapalenia skóry oraz różnych wysypkowych chorób skóry [3]. Przypadki przedostania się CCS do układu pokarmowego są bardzo rzadkie.

Największym zagrożeniem dla ludzi jest natomiast wchłanianie przez układ oddechowy aerozoli wytworzonych z CCS. W ostatnich 20 latach udokumentowano coraz więcej przypadków chorób dróg oddechowych powstałych w wyniku narażenia na aerozole wytworzone z cieczy obróbkowych. Wśród tych chorób najczęściej rozpoznaje się przypadków alergicznego zewnątrzpo pochodnego zapalenia pęcherzyków płucnych (AZPP). Choroba ta u osób z potwierdzonym narażeniem na aerozole wytworzone z CCS określana jest terminem „płuco operatorów maszyn” (POM, ang. *metalworking fluids hypersensitivity pneumonitis*), [4, 5].

AZPP jest chorobą zapalną mięszu płuc i oskrzelików, związaną z powtarzaniem narażeniem na wziewne antygeny środowiskowe o różnym pochodzeniu. CCS są tylko jednym z czynników, który może wywołać tę chorobę. Obecnie wyróżnia się ponad 200 czynników etiologicznych AZPP. Mogą nimi być: białka bakterii, grzybów, roślin i zwierząt lub różnego rodzaju cząstki nieorganiczne. Objawy charakterystyczne dla AZPP opisywane są między innymi u osób mających kontakt odchodami gołębi („płuco hodowców ptaków”), pracujących przy zbiorze bawełny („płuco zbierających bawełnę”), w przemyśle drzewnym („płuco okorowujących drzewa”), u rolników („płuco rolnika”) oraz u osób korzystających z parków wodnych, basenów i jacuzzi (ang. *hot tub lung*), [12].

Patomechanizm AZPP związany jest z powtarzającą się ekspozycją na określony antygen, co prowadzi do uwrażliwienia, a następnie do reakcji immunologicznej typu III, w wyniku której dochodzi do uszkodzenia płuc. Jest to podstawowy mechanizm wywołujący chorobę. Przy długotrwałej ekspozycji na antygen rozwija się również reakcja komórkowa. Proces zapalny obejmuje ściany pęcherzyków płucnych i obwodowe drogi oddechowe. Reakcja zapalna rozwija się jednak tylko u niektórych osób narażonych na długotrwałe inhalacje



antygenów, co może świadczyć o istnieniu czynników predysponujących do wystąpienia tej choroby. Do rozwoju choroby dochodzi tylko u 1-15% osób narażonych na działanie danego antygeny. U większości narażonych na antygen nigdy nie rozwija się jawna klinicznie postać choroby, mimo iż stwierdza się u nich przeciwciała w surowicy krwi [12]. Szacuje się, że w Polsce AZZPP wywołane przez wszystkie rodzaje czynników występuje z częstością około 10 na 100 000 mieszkańców i jest trzecią co do częstości chorobą śródmiąższową płuc [12].

W Stanach Zjednoczonych ok. 1,2 mln pracowników jest narażonych na CCS [4]. Dokładne dane opisujące rozpowszechnienie występowania zachorowań na POM nie są jednak precyzyjne. Ponieważ AZZPP jest trudne do rozpoznania, dlatego prawdopodobnie prawdziwa liczba przypadków POM jest niedoszacowana. Przyczyną tego jest między innymi duże podobieństwo objawów tej choroby do innych chorób układu oddechowego. Rozpoznanie kliniczne AZZPP wymaga skojarzenia markerów klinicznych i biologicznych, potwierdzenia zmian śródmiąższowych w obrazach radiologicznych klatki piersiowej, udowodnienia ekspozycji na dany antygen lub też stwierdzenia obecności przeciwciał przeciwko temu antygenowi w surowicy krwi lub poptuczynach oskrzelowo-pęcherzykowych oraz stwierdzenia limfocytarnego zapalenia pęcherzyków płucnych w poptuczynach oskrzelowo-pęcherzykowych i/lub reakcji ziarniniakowej w biopsji płuc [12]. Ponadto przypadki zachorowań na POM u pracowników zakładów przemysłu metalowego nie zawsze można jednoznacznie powiązać z narażeniem na aerozol wytworzony z CCS.

W ostatnich latach podejmowane są badania mające na celu ustalenie dominującego czynnika wywołującego zachorowania na POM. Znacznym utrudnieniem dla tych badań jest duże zróżnicowanie technik obróbczych w analizowanych zakładach pracy oraz stosowanie różnych rodzajów CCS. Dokładne analizy przypadków tej choroby wykazały dotychczas, że jej pojawienie się było związane z obecnością niektórych gatunków bakterii występujących w CCS.

W ostatnich 20 latach przypadki tej choroby były często opisywane zwłaszcza u pracowników branży motoryzacyjnej [5, 9, 13]. W jednym z pierwszych badań wykonanych w tym zakresie stwierdzono 98 przypadków POM w różnych zakładach przemysłu motoryzacyjnego [9]. Autorzy zwrócili uwagę, że ryzyko wystąpienia POM u pracowników było wyższe w przypadku stosowania cieczy obróbczych rozcieńczanych wodą. Ponadto badacze uznali, że najbardziej prawdopodobnym czynnikiem wywołującym POM są bakterie z rodzaju *Mycobacterium*, których stężenia w analizo-

wanych próbkach cieczy obróbczych wynosiły od  $10^5$  do  $10^6$  CFU/ml.

W publikacjach z ostatnich kilkunastu lat przedstawiono szereg badań dotyczących potwierdzenia związku pomiędzy obecnością *Mycobacterium chelonae* i *Mycobacterium immunogenum* w CCS, a występowaniem zachorowań na POM w ogniskach epidemicznych tej choroby [1, 13]. Największe odnotowane ognisko chorób zawodowych układu oddechowego wśród pracowników przemysłu metalowego w Stanach Zjednoczonych wystąpiło w Ohio w okresie od października 2000 do kwietnia 2001 roku. Definicję przypadku zachorowania na POM spełniało 12 osób (37,5%) spośród 32 pracowników, u których stwierdzono objawy ze strony układu oddechowego wskazujące na możliwość zachorowania na tę chorobę [6]. Przypadek zachorowania na POM zdefiniowano jako obecność jednego lub kilku objawów ze strony układu oddechowego (kaszlu, duszności, świszczącego oddechu lub ucisku w klatce piersiowej), jednego lub kilku objawów ogólnoustrojowych (gorączki, dreszczy, skrajnego zmęczenia, bólów mięśni lub nocnych potów), zmian siateczkowo-guzkowych lub włóknienia w obrazie radiologicznym klatki piersiowej lub w obrazie tomografii komputerowej o wysokiej rozdzielczości (HRCT) oraz nieprawidłowego wyniku spirometrii.

Wystąpienie przypadków zachorowań na POM było związane z obecnością dużej liczby bakterii *M. immunogenum* w próbkach CCS pobranych z maszyn znajdujących się w tych zakładach, która wynosiła około  $10^6$  CFU/ml. W badaniach doświadczalnych u myszy potwierdzono, że ekspozycja inhalacyjna na *M. immunogenum* powoduje zmiany patologiczne i objawy charakterystyczne dla AZZPP [6]. Do chwili obecnej nie potwierdzono jednak czy występowanie POM wśród pracowników przemysłu metalowego jest spowodowane tylko narażeniem na aerozol CCS zawierający żywe prątki *M. immunogenum*.

## Podsumowanie

Na podstawie przedstawionego przeglądu wybranych wyników badań z piśmiennictwa światowego należy podkreślić, że problem skażenia CCS czynnikami biologicznymi jest analizowany w wielu krajach od ponad 20 lat. Jednak wykrycie obecności niektórych drobnoustrojów w CCS klasycznymi metodami mikrobiologicznymi jest bardzo trudne, a niekiedy nawet niemożliwe. Dopiero użycie nowoczesnych metod diagnostycznych, a zwłaszcza technik biologii molekularnej umożliwiło rozpoznanie wielu drobnoustrojów, które prawdopodobnie są czynnikami etiologicznymi chorób zawodowych u pracowników narażonych na aerozole wytworzone z CCS.

Badania prowadzone w ostatnich latach mają na celu wykazanie związku pomiędzy obecnością określonych czynników biologicznych w CCS, a częstością występowania chorób u narażonych pracowników. Najwięcej prac dotyczy chorób układu oddechowego, a zwłaszcza AZZPP u pracowników przemysłu metalowego.

## PIŚMIENICTWO

- [1] Selvaraju S.B., Khan I.U.H., Yadav J.S. *Susceptibility of Mycobacterium immunogenum and Pseudomonas fluorescens to formaldehyde and non-formaldehyde biocides in semi-synthetic metalworking fluids*. "International Journal of Molecular Science" 2011,12:725-741
- [2] Saha R., Donofrio R.S. *The microbiology of metalworking fluids*. "Applied Microbiology and Biotechnology" 2012,94:1119-1130
- [3] Suuronen K., Aalto-Korte K., Piipari R., Tuomi T. and Jolanki R. *Occupational dermatitis and allergic respiratory diseases in Finnish metalworking machinists*. "Occupational Medicine" 2007,57:277-283
- [4] Tillie-Leblond I., Grenouillet F., Reboux G. i in. *Hypersensitivity pneumonitis and metalworking fluids contaminated by mycobacteria*. "European Respiratory Journal" 2011,37:640-647
- [5] Murat J.B., Grenouillet F., Reboux G. i in. *Factors influencing the microbial composition of metalworking fluids and potential implications for machine operator's lung*. "Applied and Environmental Microbiology" 2012,78:34-41
- [6] Thorne P.S., Adacakova-Dodd A., Kelly K.M. i in. *Metalworking fluid with mycobacteria and endotoxin induces hypersensitivity pneumonitis in mice*. "American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine" 2006,173:759-768
- [7] Lucchesi E.G., Eguchi S.Y., Moraes A.M. *Influence of a triazine derivative-based biocide on microbial biofilms of cutting fluids in contact with different substrate*. "Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology" 2012,39:743-748
- [8] Liu H.M., Lin Y.H., Tsai M.Y., Lin W.H. *Occurrence and characterization of culturable bacteria and fungi in metalworking environments*. "Aerobiologia" 2010,26:339-350
- [9] Kreiss K., Cox-Ganser J. *Metalworking fluid-associated hypersensitivity pneumonitis: a workshop summary*. "American Journal of Industrial Medicine" 1997,32:423-432
- [10] Passman F.J. *Metalworking fluid microbes – what we need to know to successfully understand cause and effect relationships*. "Tribology Transactions" 2008,51:110-117
- [11] Marchand G., Lavoie J., Racine L. i in. *Evaluation of bacterial contamination and control methods in soluble metalworking fluids*. "Journal of Occupational and Environmental Hygiene" 2010,7:358-366
- [12] Lewandowska K. *Alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych*. "Postępy Nauk Medycznych" 2011,4: 274-285
- [13] Robertson W., Robertson A.S., Burge C.B.S. i in. *Clinical investigation of an outbreak of alveolitis and asthma in a car engine manufacturing plant*. "Thorax" 2007,62:981-990

Publikacja opracowana w ramach projektu Nr III.B.05 realizowanego w II etapie programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.