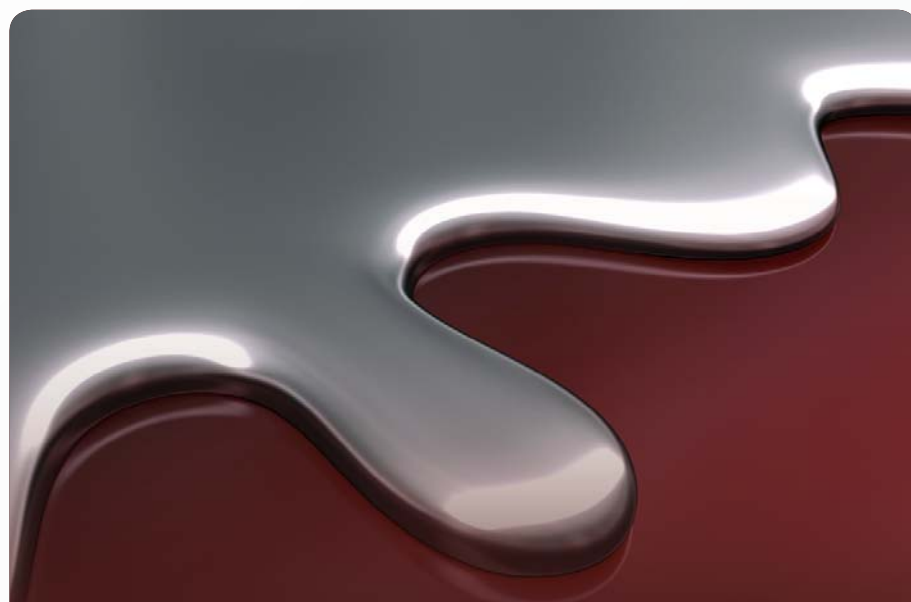


Zanieczyszczenia mikrobiologiczne cieczy obróbkowych

Fot. ktsdesign the Graphics Designer/Bigstockphoto



Ciecze obróbkowe są powszechnie stosowane podczas procesów mechanicznej obróbki metali. Obecność wody oraz różnych substancji organicznych sprawia, że w cieczach mogą rozwijać się drobnoustroje, głównie bakteryjne. Wśród nich mogą być obecne bakterie i grzyby potencjalnie niebezpieczne dla zdrowia człowieka. Podczas pracy obrabiarek ciecz obróbkowa uwalniana jest do powietrza w postaci mgły olejowej, na cząstkach której transportowane są czynniki biologiczne. Stężenia bioaerozoli mogą przekraczać proponowane wartości dopuszczalne, stanowiąc zagrożenie szczególnie dla prawidłowego funkcjonowania układu oddechowego osób narażonych.

Microbial contamination of metalworking fluids

Metalworking fluids are commonly used in metal cutting processes. The presence of water and different organic substrates creates conditions favorable for microbial growth, mainly bacteria. The bacterial and fungal species may also include human pathogens. During work of metalworking tools, the cutting fluids are released into the air as an oil mist, whose particles have the ability to transport biological agents. The observed concentrations of bioaerosols may exceed the proposed threshold limit values. This can have negative impact on the proper functioning of the respiratory system of exposed workers.

szczegółowe warunki ochrony pracowników przed zagrożeniami spowodowanymi przez szkodliwe czynniki biologiczne (SCB) odnoszą się do różnych wykonywanych prac, z których 7 najważniejszych zostało wymienionych literalnie w załączniku nr 2.

Jednakże kontakt z SCB możliwy jest również wśród innych grup zawodowych, o ile zostało tam potwierdzone narażenie na działanie takich czynników. Do takich prac z pewnością należy zaliczyć obróbkę mechaniczną metali z użyciem cieczy obróbkowych (fot. 1.). Szacuje się, że czynności takie może wykonywać w Polsce nawet kilkadziesiąt tysięcy pracowników, zatrudnionych przede wszystkim w przetwórstwie przemysłowym, w działach: produkcja metalowych wyrobów gotowych, maszyn i urządzeń, pojazdów samochodowych oraz pozostałego sprzętu transportowego.

Ciecze obróbkowe jako miejsce rozwoju drobnoustrojów

W procesach mechanicznej obróbki metali uwalniane jest ciepło, a temperatura tego rodzaju procesów może osiągać nawet 700 °C. Może to być przyczyną przyspieszonego zużycia ostrzy skrawających, a także niekorzystnie wpływać na stan warstwy wierzchniej części metalu poddanej obróbce (może dochodzić do procesów utleniania i mikrospawania, a nawet przemian krystalicznych głębiej położonych warstw metalu). Aby uniknąć powstawania tego typu niepożądanych efektów konieczne jest obniżenie temperatury ostrzy oraz powierzchni materiału poddanego obróbce. W tym celu stosowane są odpowiednie ciecze zwane obróbkowymi lub chłodząco-smarującymi (ang. *metalworking fluids* – MWF). Ich zastosowanie wpływa na zwiększenie wydajności pracy maszyn poprzez zwiększenie prędkości skrawania, poprawę jakości obrabianych powierzchni, przedłużenie żywotności narzędzia skrawającego, zmniejszenie tarcia, zużycia energii oraz odprowadzenie ciepła wytwarzanego podczas tego rodzaju obróbki.

Wstęp

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy będące implementacją zapisów dyrek-

tywy 2000/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady wypełniło trwającą wiele lat lukę w polskim prawie, które praktycznie pomijało tę grupę czynników szkodliwych w ocenie ryzyka zawodowego [1]. Opisane w nim



Fot. 1. Emisja mgły olejowej podczas pracy szlifierki
Photo 1. Emission of oil mist during the work of a grinder

Najpowszechniej stosowanymi cieczami chłodząco-smarującymi są emulsje wodno-olejowe, sporządzane z koncentratów, które miesza się z wodą w dowolnym stosunku, w celu uzyskania stabilnej emulsji. Zawartość oleju w koncentracie jest zazwyczaj nie mniejsza niż 60%. Pozostałą część stanowi emulgator i różnego typu dodatki modyfikujące: inhibitory korozji i utleniania, przeciwzużyciowe, przeciwzatarciowe, biocydy lub biostaty. W trakcie obróbki z dużymi prędkościami skrawania, przy niewielkich obciążeniach w strefie kontaktu narzędzia z obrabianym materiałem stosuje się emulsje wodno-olejowe, zawierające najczęściej od 2% do 8% (v/v) oleju emulgującego [2].

Obecność wody i substancji organicznych powoduje, że w cieczach obróbkowych, zwłaszcza tych o dużym stopniu spracowania, mogą rozwijać się mikroorganizmy. Są to przede wszystkim bakterie (w tym chrobotwórcze), ale również grzyby pleśniowe i drożdże oraz immunologicznie reaktywne związki pochodzenia mikrobiologicznego, tj. endotoksyny i (1→3)-β-D-glukany. W praktyce, mikroorganizmy dostają się do cieczy w sposób ciągły w trakcie jej użytkowania, a intensywność ich rozwoju zależy od składu danej cieczy obróbkowej. Głównym źródłem skażenia jest woda używana do sporządzania emulsji wodno-olejowych oraz zanieczyszczenia przedostające się do układów chłodzących z obrabianych metali i otoczenia. Poza wodą, warunkiem niezbędnym do rozwoju mikroorganizmów jest obecność węglowodorów lub innych substancji organicznych, takich jak tłuszcze i estry.

Uwzględniając wymogi odżywcze mikroorganizmów, najbardziej korzystne warunki występują w emulsjach wodno-olejowych, a naj-

mniej sprzyjające w cieczach syntetycznych. W tak specyficznych warunkach, optymalna temperatura dla rozwoju mikroorganizmów wynosi od 20 °C do 30 °C, a w przypadku pH – optymalna wartość mieści się w zakresie od 6 do 8,5. Rozwój mikroorganizmów w środowisku o pH wyższym niż 9 jest bardzo powolny, dlatego większość cieczy zawierających wodę jest utrzymywana powyżej tej wartości pH. W sprzyjających warunkach, liczebność mikroorganizmów może osiągać wartość 1×10^6 jednostek tworzących kolonie (JTK) w 1 ml cieczy [3], choć stężenia te mogą być znacznie wyższe, przekraczając 10^7 JTK/ml cieczy [4] lub nawet sięgać 10^{10} JTK/ml [5]. Z prowadzonych do tej pory badań [3] wynika, że lista zidentyfikowanych bakterii i grzybów w cieczach chłodząco-smarujących może liczyć kilkadziesiąt różnych gatunków, włączając w to także mikroorganizmy potencjalnie niebezpieczne dla zdrowia człowieka wymienione w rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki w 2. i 3. grupie zagrożenia [1]. Wśród najczęściej występującej bakterii wymienia się *Pseudomonas*, *Micrococcus*, czy pałeczki z rodziny *Enterobacteriaceae*, zaś wśród grzybów rodzaje *Acremonium*, *Cephalosporium* i *Fusarium*.

Wraz z obecnością bakterii Gram-ujemnych wiąże się występowanie w cieczach obróbkowych endotoksyn bakteryjnych. Dostają się one do cieczy najczęściej w wyniku obumarcia komórek bakteryjnych (np. po stosowaniu biocydów), a ze względu na swoją dużą trwałość są trudne do wyeliminowania. Ich stężenia wykazywały dużą rozpiętość wartości od ok. 500 jednostek endotoksycznych (JE)

w 1 ml w cieczach nowych, do ponad 5×10^5 JE/ml w cieczach spracowanych [5].

Mgła olejowa jako nośnik cząstek biologicznych

Podczas pracy układów chłodzących, ciecze obróbkowe są zwykle podawane na powierzchnie obrabianych elementów metalowych pod ciśnieniem i przy wysokich obrotach części roboczej maszyny. Skutkuje to generowaniem wokół maszyny mgły olejowej, na cząstkach której transportowane są czynniki biologiczne – głównie bakterie i endotoksyny. Dzięki takiemu procesowi aerolizacji mikroorganizmy mogą przenikać do układu oddechowego osób narażonych, by niekorzystnie oddziaływać na ich zdrowie.

Emitowana mgła olejowa charakteryzuje się zmiennymi stężeniami, które w znacznym stopniu zależą od rodzaju pracującej obrabiarki. Stosunkowo niskie poziomy obserwuje się przy piłach do cięcia metali ($0,61 \text{ mg/m}^3$), wyższe stężenia są mierzone przy szlifierkach i tokarkach ($2,64\text{--}13,2 \text{ mg/m}^3$) [6]. Jak wykazali Wang i wsp., wyższe prędkości obrotowe maszyn sprzyjają wzrostowi stężeń mgły olejowej [7]. Należy w tym miejscu wspomnieć, iż w Polsce obowiązuje wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS) dla mgły olejowej, ustalona na poziomie 5 mg/m^3 [8].

Mikrobiologiczne zanieczyszczenie cieczy obróbkowych może istotnie wpływać na skład mikrobioty mgły olejowej, szczególnie w odniesieniu do drobnoustrojów bakteryjnych (fot. 2.). Jak stwierdzili na podstawie przeprowadzonych badań Cyprowski i wsp., bakterie obecne w cieczach obróbkowych oraz w powietrzu przy maszynie charakteryzowały się podobnym składem gatunkowym (m.in. *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus warnerii*,



Fot. 2. Kolonie bakteryjne z próbek mgły olejowej na podłożu TSA
Photo 2. Bacterial cultures from oil mist samples on TSA medium

Mycobacterium phlei, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*) [4]. W przypadku grzybów bardziej istotny wydaje się wpływ środowiska zewnętrznego. Stężenia bakterii w powietrzu wykazują znaczną zmienność poziomów od 10^1 do 10^5 JTK/m³ i zwykle maleją wraz ze wzrostem odległości od maszyny [9]. Stężenia grzybów, podobnie jak w samych cieczach są na niższych poziomach niż bakterii, zwykle nie przekraczając wartości 10^2 JTK/m³ [6].

Wodno-oleisty charakter mgły olejowej sprawia, że transportowane tą drogą drobnoustroje (głównie bakteryjne) często zlepiają się tworząc większe aglomeraty, które mają odmienne (niż pojedyncze komórki) właściwości aerodynamiczne. W konsekwencji takiego procesu zmienia się potencjalny obszar penetracji dróg oddechowych człowieka. Jak pokazują wstępne wyniki realizowanego w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym projektu badawczego w ramach programu wieloletniego pn. *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy*, pojedyncze komórki bakteryjne mogą docierać do poziomu oskrzelików, jednak wytworzone aglomeraty osadzają się najczęściej w rejonie tchawicy, oskrzeli pierwszorzędowych i gardła. Nie zaobserwowano, aby tego typu zjawisko dotyczyło większych zwykle grzybów.

Emitowana mgła olejowa zawiera bardzo często endotoksyny bakteryjne. Ich stężenia odznaczają się dużym zróżnicowaniem od kilkunastu do kilkuset JE/m³ [7, 10, 11]. Na wielkość i stężenia mają wpływ zastosowane zabezpieczenia techniczne maszyn obróbkowych [5] oraz wielkość cząstek mgły olejowej [7]. Jak pokazały najnowsze badania, w mgłę olejowej mogą być zawieszone także inne immunoaktywne związki pochodzenia mikrobiologicznego, jak na przykład (1→3)-β-D-glukany. W jednym z zakładów wykazano ich stężenia w zakresie od 4 do 10 ng/m³ [12]. Związki te podobnie jak endotoksyny charakteryzują się właściwościami immunotoksycznymi.

Skutki zdrowotne narażenia na czynniki biologiczne zawieszone w mgłę olejowej

U pracowników narażonych na inhalację mgły olejowej mogą występować niekorzystne skutki zdrowotne takie jak: podrażnienia skóry, oczu, górnych dróg oddechowych, dermatozy, alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych (tzw. płuco operatora maszyn), astma czy nowotwory [6, 13]. Częstość występowania astmy zawodowej i „płuca operatora maszyn” u pracowników narażonych na tego typu aerozole kropelkowe jest niezwykle wysoka i może wynosić do 29% zatrudnionych [14], jednak wiedza o etiologicznych czynnikach

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

Table. Polish Proposals of Threshold Limit Values for bioaerosols in industrial settings polluted with organic dust

Czynnik mikrobiologiczny	Dopuszczalne stężenie w pomieszczeniach roboczych zanieczyszczonych pyłem organicznym
Bakterie mezofile	100000 JTK/m ³
Bakterie Gram-ujemne	20000 JTK/m ³
Termofilne promieniowce	20000 JTK/m ³
Grzyby	50000 JTK/m ³
Czynniki z 3. i 4. grupy zagrożenia	0 JTK/m ³
Endotoksyna bakteryjna	2000 JE/m ³

JTK – Jednostka Tworząca Kolonie

JE – Jednostka Endotoksyny

powodujących tego rodzaju objawy jest wciąż niedostateczna.

Stosunkowo najlepiej poznana jest rola bakterii Gram-ujemnych, będących źródłem endotoksyny. Stwierdzono, że endotoksyna występująca w powietrzu środowiska pracy w stężeniu 20 JE/m³ powoduje wzrost reaktywności dróg oddechowych, stężenie 200 JE/m³ oznacza spadek wartości spirometrycznych (FEV₁) po pracy, a narażenie na endotoksynę w stężeniu 1000 JE/m³ skutkuje wystąpieniem pełnoobjawowego zapalenia płuc [11].

Sposoby przeciwdziałania skażeniu mikrobiologicznemu cieczy obróbkowych

W praktyce istnieją dwie metody przeciwdziałania skażeniom mikrobiologicznym. Jedną z nich jest całkowita wymiana cieczy na nową, połączona z dokładnym myciem instalacji aplikującej ciecz. Jak wykazują badania, praktyki te dają krótkotrwały skutek, gdyż już po kilkunastu godzinach następuje ponowny rozwój mikroorganizmów [15], zaś po tygodniu użytkowania stężenia bakterii mogą wzrosnąć o 3-4 rzędy wielkości [16].

Drugą metodą stosowaną do redukcji zanieczyszczeń mikrobiologicznych w cieczach obróbkowych jest dodawanie do cieczy biocydów. Jako środki biobójcze są najczęściej używane: formaldehyd, izotiazoliny oraz sole kwasu borowego. Formaldehyd był najwcześniej wprowadzanym środkiem biobójczym. Jednak z powodu szybkiego jego rozkładu i w wyniku parowania z cieczy był on stosowany w dużych stężeniach, co powodowało jego przenikanie do powietrza środowiska pracy. W celu skutecznego działania na mikroorganizmy stężenie biocydu nie może być zbyt małe, gdyż nie będzie ono spełniało swojej roli i może doprowadzić do pojawienia się szczepów na nie uodpornionych. Na podstawie nielicznych jeszcze badań można stwierdzić, iż skuteczność stosowanych środków biobójczych nie jest jednakowa dla różnych rodzajów bakterii występujących w cieczach

obróbkowych [16, 17]. Na przykład bakterie z rodzaju *Mycobacterium* są bardziej odporne na działanie biocydów niż pałeczki *Pseudomonas* [17]. Na skuteczność biocydów może mieć wpływ także fakt zamiennego używania kilku ich rodzajów podczas pracy tego samego urządzenia [16].

Podsumowanie

Pomimo podejmowanych działań ze strony producentów cieczy obróbkowych oraz ich użytkowników, zdolność mikroorganizmów do wzrostu i namnażania się w tym specyficznym środowisku stanowi nadal poważny problem. Znaczne stężenia bakterii czy endotoksyn zawieszonych w mgłę olejowej pozwalają zaliczyć to środowisko pracy do grupy zanieczyszczonych pyłem organicznym, dla którego w ocenie higienicznej można posłużyć się klasyfikacją dopuszczalnych stężeń mikroorganizmów w powietrzu zaproponowaną przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy (tabela), [18].

Z dotychczasowych badań wynika, iż zmierzone na stanowiskach pracy stężenia bioaerozoli mogą w niektórych przypadkach przekraczać zaproponowane przez Zespół wartości dopuszczalne.

Należy pamiętać, iż do ochrony osób zatrudnionych przed czynnikami szkodliwymi, w tym biologicznymi wszelkie działania profilaktyczne powinno opierać się na filozofii **STOP**, czyli sposobie postępowania zakładającym zhierarchizowane wprowadzanie środków ochrony pracowników. Przyjmuje się, że najpierw powinno się wprowadzać Systemowe środki ochrony (np. odpowiednie akty prawne), następnie w obrębie poszczególnych zakładów – Techniczne i Organizacyjne, zaś na samym końcu środki ochrony indywidualnej (z ang. Personal), [19].

Walka z rozwojem drobnoustrojów w cieczach chłodząco-smarujących prowadzona zarówno przez ich producentów, jak i użytkowników dobrze wpisuje się w tę filozofię. Niestety wiedzę o tym problemie należy w dalszym ciągu uznać za niewystarczającą. Obserwacja tych procesów powinna być zatem dalej prowadzona, tak by móc jeszcze skuteczniej zabezpieczyć pracowników przed szkodliwym wpływem czynników biologicznych zawieszonych w mgłę olejowej.

PIŚMIENICTWO

- [1] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. DzU z 2005 r. nr 81, poz. 716, z późn. zm.
- [2] Marciński S., Naraniecki B., Makles D. i wsp. *Chłodziwa obróbkowe – rodzaje, stosowanie, konserwacja*. Cz. I. „Mechanik” 1988, 1
- [3] Janda K., Przybulewska K. *Drobnoustroje w cieczach chłodząco-smarujących*. „Postępy Mikrobiologii” 2004, 43
- [4] Cyprowski M., Piotrowska M., Żakowska Z. i wsp. *Mikrobiologiczne zanieczyszczenie chłodziw do obróbki metali i ich wpływ na stan czystości powietrza*. „Ochrona Przed Korozją” 2006, 9s/A
- [5] Laitinen S., Linnainmaa M., Laitinen J. i wsp.: *Endotoxins and IgG antibodies as indicators of occupational exposure to the microbial contaminants of metal-working fluids*. “International Archives of Occupational and Environmental Health” 1999, 72
- [6] Cyprowski M., Kozajda A., Zielińska-Jankiewicz K. i wsp. *Szkodliwe działanie czynników biologicznych uwalnianych podczas procesów obróbki metali z użyciem chłodziw*. „Medycyna Pracy” 2006, 57
- [7] Wang H., Reponen T., Lee S. A. i wsp. *Size distribution of airborne mist and endotoxin-containing particles in metalworking fluid environments*. “Journal of Occupational and Environmental Hygiene” 2007, 4
- [8] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU z 2002 r. nr 217, poz. 1833
- [9] Mattsby-Baltzer I., Sandin M., Ahlström B. i wsp. *Microbial growth and accumulation in industrial metal-working fluids*. “Applied and Environmental Microbiology” 1989, 55
- [10] Górny R. L., Szponar B., Larsson L. i wsp. *Metalworking fluid bioaerosols at selected workplaces in a steelworks*. “American Journal of Industrial Medicine” 2004, 46
- [11] Liebers V., Brüning T., Raulf-Heimsoth M. *Occupational endotoxin-exposure and possible health effects on humans*. “American Journal of Industrial Medicine” 2006, 49
- [12] Cyprowski M., Sowiak M., Szadkowska-Stańczyk I. $\beta(1\rightarrow3)$ -glucan aerosol in different occupational environments. “Aerobiologia” 2011, 27
- [13] Zacharisen M. C., Kasambi A. R., Schlueter D. P. i wsp. *The spectrum of respiratory disease associated with exposure to metal working fluids*. “Journal of Occupational and Environmental Medicine” 1998, 40
- [14] Rosenman K. D. *Asthma, hypersensitivity pneumonitis and other respiratory diseases caused by metalworking fluids*. “Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology” 2009, 9
- [15] Veillette M., Thorne P. S., Gordon T. i wsp. *Six month tracking of microbial growth in a metalworking fluid after system cleaning and recharging*. “Annals of Occupational Hygiene” 2004, 48
- [16] Marchand G., Lavoie J., Racine L. i wsp. *Evaluation of bacterial contamination and control methods in soluble metalworking fluids*. “Journal of Occupational and Environmental Hygiene” 2010, 7
- [17] Selvaraju S. B., Khan I. U., Yadav J. S. *Biocidal activity of formaldehyde and non-formaldehyde biocides toward Mycobacterium immunogenum and Pseudomonas fluorescens in pure and mixed suspensions in synthetic metalworking fluid and saline*. “Applied and Environmental Microbiology” 2005, 71
- [18] Augustyńska D., Pośniak M. *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne 2007*. CIOP, Warszawa 2007
- [19] Cyprowski M. *Zagospodarowanie odpadów komunalnych. Narażenie na aerozol bakteryjny*. „Przegląd Komunalny” 2011, 8

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „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.

Znajdziesz nas w Internecie: www.ciop.pl, e-mail: bpredakcja@ciop.pl



**BEZPIECZEŃSTWO
PRACY** nauka i praktyka

PRENUMERUJ