NANO- I MIKROPLASTIKI W ŚRODOWISKU PRACY

Zalecenia dla przedstawicieli przedsiębiorstw odpowiedzialnych za bhp dotyczące oceny i ograniczania ryzyka zawodowego w przedsiębiorstwach.

CIOP PIB 75 LAT

Opracowano w ramach VI etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2023-2025 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt nr I.PN.15, pt. „Mikroplastik i nanoplastik jako źródło zagrożenia w środowisku pracy. Badanie toksyczności in vitro wybranych związków z wykorzystaniem ludzkich modeli linii barierowych”.

Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy.

Autorki:
dr inż. Dorota Sawicka
dr inż. Luiza Chojnacka-Puchta
dr Lidia Zapór
dr Katarzyna Miranowicz-Dzierżawska

Opracowanie graficzne i projekt okładki: dr inż. Dorota Sawicka
Redakcja: Kamil Jach

Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2025
DOI: 10.54215/
Nano_i_mikroplastiki_w_srodowisku_pracy_Zalecenia_dla_przedstawicieli_przedsiebiorstw_odpowiedzialnych_za_bhp_dotyczace_oceny_i_ograniczania_ryzyka_zawodowego_w_przedsiebiorstwach_Sawicka

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (22) 623 36 98,
www.ciop.pl

Spis treści

1. Wstęp 03

- Definicje mikro- i nanoplastików
- Drogi ekspozycji na MNPs

2. Narażenie na MNPs w miejscu pracy 07

3. Mikroplastiki w kontekście regulacji unijnych 10

- Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/2055 – ograniczenia w stosowaniu mikroplastików
- Porozumienie UE ws. ograniczania emisji granulatu
- Brak norm BHP dotyczących MNPs – konieczność działań wyprzedzających

4. MNPs a ocena ryzyka zawodowego 15

- Branże i procesy o podwyższonym ryzyku narażenia
- Zagrożenia dla zdrowia i bezpieczeństwa związane z mikro-
- i nanoplastikami
- Rodzaje cząstek o największym potencjale zagrożenia
- Zagrożenia dla bezpieczeństwa
- Możliwości monitoringu ekspozycji:
- Jak przeprowadzić ocenę ryzyka zawodowego dla mikro-
- i nanoplastików (MNPs)
- Ograniczanie ryzyka zawodowego przez analogię do nanomateriałów technicznych
- Środki ograniczające ryzyko zawodowe
- Dodatkowe środki ostrożności w odniesieniu do mikroplastików

5. BIBLIOGRAFIA 30

1. Wstęp

Mikro- i nanoplastiki

Mikro- i nanoplastiki jako nowe zagrożenie w środowisku pracy

W ostatnich dwóch dekadach światowa produkcja tworzyw sztucznych gwałtownie wzrosła, a prognozy wskazują na dalszy dynamiczny rozwój tego sektora. Zwiększona produkcja, recykling oraz zastosowanie tworzyw sztucznych w różnych gałęziach przemysłu skutkują wzrostem ryzyka zawodowego związanego z narażeniem pracowników na mikro- i nanoplastiki (MNPs).

Mikro- i nanoplastiki mogą powstawać zarówno na etapie produkcji, przetwarzania, jak i recyklingu tworzyw sztucznych. Ich niewielkie rozmiary umożliwiają unoszenie się w powietrzu w miejscu pracy, co stwarza ryzyko inhalacji oraz kontaktu ze skórą. Dotychczasowe badania sugerują, że MNPs mogą kumulować się w organizmie człowieka i potencjalnie wpływać na zdrowie, chociaż mechanizmy ich działania wciąż są przedmiotem badań naukowych [1].

Obecnie brak jest specyficznych norm prawnych dotyczących dopuszczalnych poziomów mikro- i nanoplastików w środowisku pracy [2]. W odpowiedzi na rosnącą świadomość zagrożeń związanych z MNPs oraz w świetle inicjatyw międzynarodowych i europejskich (takich jak strategia UE w zakresie tworzyw sztucznych), istotne jest, aby przedsiębiorstwa już teraz podejmowały działania prewencyjne. Odpowiednie zarządzanie ryzykiem związanym z mikro- i nanoplastikami to krok w stronę zapewnienia bezpieczniejszych warunków pracy i dostosowania przedsiębiorstwa do przyszłych wymagań regulacyjnych.

Definicje mikro- i nanoplastików

WHO o mikro- i nanoplastikach

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) określa nanoplastiki (NPs) jako cząstki o rozmiarach mieszczących się w przedziale od 1 do 1000 nanometrów.

Mikroplastiki (MPs) to o stałe cząstki zawierające polimery, z dodatkami lub bez, z których co najmniej 1% wagowo ma wymiary od 1 nm do 5 mm (lub w przypadku włókien: długość 3 nm – 15 mm i stosunek długości do średnicy >3).[3].

Pod względem pochodzenia, mikro- i nanoplastiki dzieli się na [4]:

pierwotne MNPs

produkowane celowo, by pełnić określone funkcje w przemyśle lub produktach konsumenckich, takich jak: kuleczki ścierne w kosmetykach (peelingi, pasty do zębów, żele myjące), materiały przemysłowe czy wyroby medyczne.

wtórne MNPs

powstające w wyniku rozpadu większych tworzyw sztucznych, np. butelek, opakowań, części opon samochodowych, pod wpływem procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych.

Badania środowiskowe, jak i laboratoryjne wykazały, że mikroplastiki pod wpływem czynników fizycznych i chemicznych ulegają degradacji, prowadząc do powstawania nanoplastików.

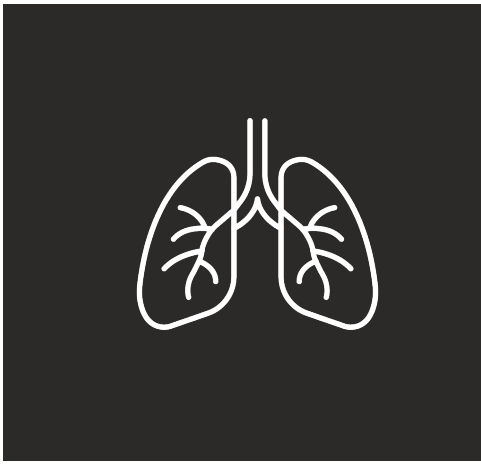
Drogi ekspozycji mikro- i nanoplastików

Droga pokarmowa

Droga pokarmowa to jedna z głównych dróg narażenia na mikro- i nanoplastiki (MNPs). Wykryto je w żywności (m.in. owoce, ryby, sól, mleko, miód, piwo, woda) oraz w produktach z plastikowych opakowań. MNPs mogą przenikać przez jelita do krwiobiegu, odkładać się w narządach i działać toksycznie. Mogą być nośnikiem metal ciężkich i mikroorganizmów. [5].

Droga inhalacyjna

Drugą ważną drogą narażenia jest droga oddechowa. MNPs obecne są w powietrzu – pochodzą m.in. z procesów przemysłowych, środowiskowych (np. zużywania opon), materiałów syntetycznych czy rolnictwa. Źródłem narażenia są też plastikowe wyroby medyczne, np. inhalatory i nebulizatory [6]. Stwierdzono je zarówno na zewnątrz (ok. 5 cząstek/m³), jak i wewnątrz budynków (1,7-16 cząstek/m³). Mogą osadzać się w drogach oddechowych, powodując stany zapalne, astmę, zwłóknienia czy nowotwory, a badania potwierdziły ich obecność w płucach.



Droga dermalna

Droga dermalna, choć najmniej efektywna, również umożliwia wchłanianie MNPs, zwłaszcza przez mieszki włosowe, gruczoły potowe i uszkodzoną skórę. Nanoplastiki mogą przenikać przez warstwę rogową, a ich obecność stwierdzono na skórze, we włosach i ślinie osób stosujących kosmetyki z mikroplastikami (np. peelingi, pasty do zębów). Uszkodzenia skóry, np. przez promieniowanie UV, zwiększają jej przepuszczalność, co może oznaczać narażenie na tysiące cząstek dziennie [7].

2. Narażenie na MNPs w miejscu pracy

Narażenie na mikro- i nanoplastiki

Prawdopodobieństwo narażenia w miejscu pracy

Prawdopodobieństwo narażenia na mikro- i nanoplastiki w środowisku pracy zależy od formy fizycznej, w jakiej występują te cząstki, ich stężenia w powietrzu, czasu trwania ekspozycji oraz charakteru wykonywanych czynności zawodowych. Szczególnie istotne jest to w branżach związanych z przetwórstwem tworzyw sztucznych, recyklingiem, gospodarką odpadami oraz produkcją materiałów kompozytowych.

Największe narażenie może wystąpić podczas procesów, w których dochodzi do mechanicznego ścierania, cięcia, mielenia lub termicznego przetwarzania materiałów z tworzyw sztucznych. W takich warunkach mikro- i nanoplastiki mogą być uwalniane do atmosfery w postaci pyłów lub aerozoli. Ryzyko ekspozycji zwiększa się również przy czyszczeniu urządzeń procesowych, wymianie filtrów czy manipulacji odpadami z tworzyw.

Cząstki mikro- i nanoplastików znajdujące się w stabilnych matrycach (np. w spiekach, żywicach lub powłokach) stanowią mniejsze zagrożenie, o ile nie są poddawane obróbce mechanicznej lub cieplnej prowadzącej do ich uwolnienia.

Emisja mikro- i nanoplastików może występować na każdym etapie „cyklu życia” tworzywa: od produkcji, przez użytkowanie, aż po recykling, spalanie lub składowanie odpadów plastikowych. Szczególnie narażeni są pracownicy zakładów recyklingowych, sortowni oraz laboratoriów badawczych pracujących z polimerami o wysokim stopniu rozdrobnienia.

Narażenie na mikro- i nanoplastiki

Czynności zawodowe o największym prawdopodobieństwie narażenia na mikro- i nanoplastiki obejmują:

- mielenie, cięcie, szlifowanie i ścieranie tworzyw sztucznych,
- sortowanie i przetwarzanie odpadów plastikowych,
- produkcję kompozytów i mieszanek polimerowych,
- recykling mechaniczny i chemiczny tworzyw,
- obsługę urządzeń filtrujących i systemów wentylacyjnych,
- czyszczenie powierzchni i wyposażenia technicznego,
- pobieranie próbek materiałów zawierających mikroplastiki.

W chwili obecnej brakuje norm prawnych i technicznych określających bezpośrednio dopuszczalne poziomy narażenia zawodowego na mikro- i nanoplastiki. Brakuje również jednolitych metod pomiarowych, a także ustandaryzowanych procedur monitorowania tych cząstek w powietrzu na stanowiskach pracy. W praktyce stosuje się więc ogólne podejścia wykorzystywane w ocenie narażenia na pyły lub cząstki ultradrobne, takie jak: liczba cząstek, masa całkowita, pole powierzchni właściwej cząstek.

3. Mikroplastiki w kontekście regulacji unijnych

Tworzywa sztuczne pod lupą UE

Konsekwencje regulacji dla pracodawców

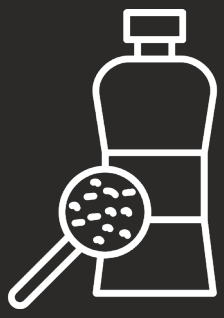
W ostatnich dwóch dekadach światowa produkcja tworzyw sztucznych gwałtownie wzrosła, a prognozy wskazują na dalszy dynamiczny rozwój tego sektora. Zwiększona produkcja, recykling oraz zastosowanie tworzyw sztucznych w różnych gałęziach przemysłu skutkują wzrostem ryzyka zawodowego związanego z narażeniem pracowników na mikro- i nanoplastiki (MNPs).

W kontekście strategii UE na rzecz zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym, mikroplastiki zostały uznane za jeden z kluczowych czynników zanieczyszczających środowisko. Komisja Europejska dąży nie tylko do ograniczenia ich emisji do otoczenia, ale także do zwiększenia przejrzystości stosowania tych substancji w produktach przemysłowych i konsumenckich. W związku z tym, nowe regulacje obejmują nie tylko zakazy, ale również obowiązki informacyjne i sprawozdawcze, które mają istotne przełożenie na funkcjonowanie zakładów produkcyjnych oraz procesy kontroli jakości i zgodności.

Dla pracodawców i służby bhp oznacza to konieczność wczesnego reagowania na zmiany legislacyjne, a także aktualizacji procedur wewnętrznych w zakresie zarządzania substancjami niebezpiecznymi. Choć mikroplastiki nie są jeszcze objęte dedykowanymi normami dotyczącymi higieny pracy, ich obecność w środowisku zawodowym — szczególnie w formie pyłów i aerozoli — może stwarzać potencjalne zagrożenia zdrowotne. Proaktywne podejście do oceny ryzyka i wdrażania środków prewencyjnych może więc nie tylko zwiększyć poziom bezpieczeństwa pracowników, ale także przygotować organizację na przyszłe, bardziej rygorystyczne regulacje unijne.

Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/2055 – ograniczenia w stosowaniu mikroplastików

Rozporządzenie (UE) 2023/2055 ogranicza stosowanie mikrocząstek polimerowych w produktach. Nowe przepisy wprowadzają:



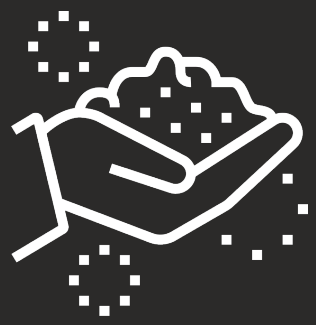
- obowiązek etykietowania i przekazywania instrukcji użytkowania produktów zawierających mikroplastiki [9],
- obowiązek raportowania ich stosowania do Europejskiej Agencji Chemikaliów (ECHA),
- zakazy lub ograniczenia dla wybranych zastosowań mikroplastików.

Znaczenie dla przedsiębiorstw:

Choć rozporządzenie nie odnosi się bezpośrednio do ochrony zdrowia pracowników, jego zapisy mają pośredni wpływ na bhp – szczególnie w firmach, które:

- produkują lub przetwarzają materiały zawierające mikroplastiki,
- stosują granulaty, ścierniwa lub inne formy drobnych polimerów,
- operują procesami, w których mikroplastiki mogą zostać uwolnione do środowiska pracy.

Porozumienie 2023/0373 - ograniczenia emisji granulatu



Obowiązki firm w zakresie emisji granulatu

W ramach dalszych działań legislacyjnych UE, uzgodniono wspólne zasady ograniczania przypadkowego uwalniania granulatu tworzyw sztucznych. Nowe wymagania mają na celu zapobieganie emisji mikroplastiku pierwotnego na każdym etapie łańcucha dostaw – od produkcji, przez transport, aż po magazynowanie [10].

Każda firma operująca granulatem będzie zobowiązana do wdrożenia planu zarządzania ryzykiem, obejmującego m.in.:

- stosowanie bezpiecznych opakowań i zamkniętych systemów transportu,
- szkolenia dla pracowników w zakresie bezpiecznego obchodzenia się z granulatem,
- wyposażenie stanowisk w sprzęt umożliwiający szybkie usunięcie rozsypanych cząstek.
- procedury reagowania na rozsypanie materiału.

Brak norm bhp dotyczących MNPs – konieczność podejmowania działań wyprzedzających

Na dzień sporządzenia tego opracowania nie ma obowiązku prawnego prowadzenia oceny ryzyka zawodowego w odniesieniu do mikro- i nanoplastików w oparciu o konkretne normy, dopuszczalne wartości narażenia czy metody pomiarowe.

Niemniej jednak, w myśl ogólnych przepisów bhp oraz zasady ostrożności, pracodawcy powinni przeprowadzić ocenę ryzyka w miejscach, gdzie występuje potencjalna emisja cząstek MNPs, szczególnie w branżach przetwórstwa tworzyw sztucznych, recyklingu, produkcji kompozytów, kosmetyków czy farb.

W ocenie tej można posłużyć się podejściem analogicznym do oceny narażenia na pyły respirabilne lub cząstki ultradrobne – np. z uwzględnieniem liczby cząstek w powietrzu, stężenia masowego lub powierzchni właściwej.

Działania te mogą stanowić istotny element zarządzania ryzykiem zawodowym i przygotowania organizacji na przyszłe wymagania regulacyjne.

4. MNPs a ocena ryzyka zawodowego

Ocena ryzyka zawodowego to proces wieloetapowy

Wyzwania w ocenie ryzyka związanego z mikro- i nanoplastikami

Ocena ryzyka zawodowego to proces wieloetapowy, którego kluczowym elementem jest identyfikacja substancji i związanych z nią zagrożeń. W przypadku mikro- i nanoplastików przeprowadzenie tego etapu jest szczególnie trudne z uwagi na brak dedykowanych regulacji prawnych, norm NDS oraz ograniczoną dostępność danych toksykologicznych. Dodatkową trudność stanowi fakt, że mikro- i nanoplastiki nie są substancjami jednorodnymi — różnią się między sobą składem, kształtem, rozmiarem, gęstością, obecnością dodatków chemicznych, a także stopniem degradacji w środowisku pracy.

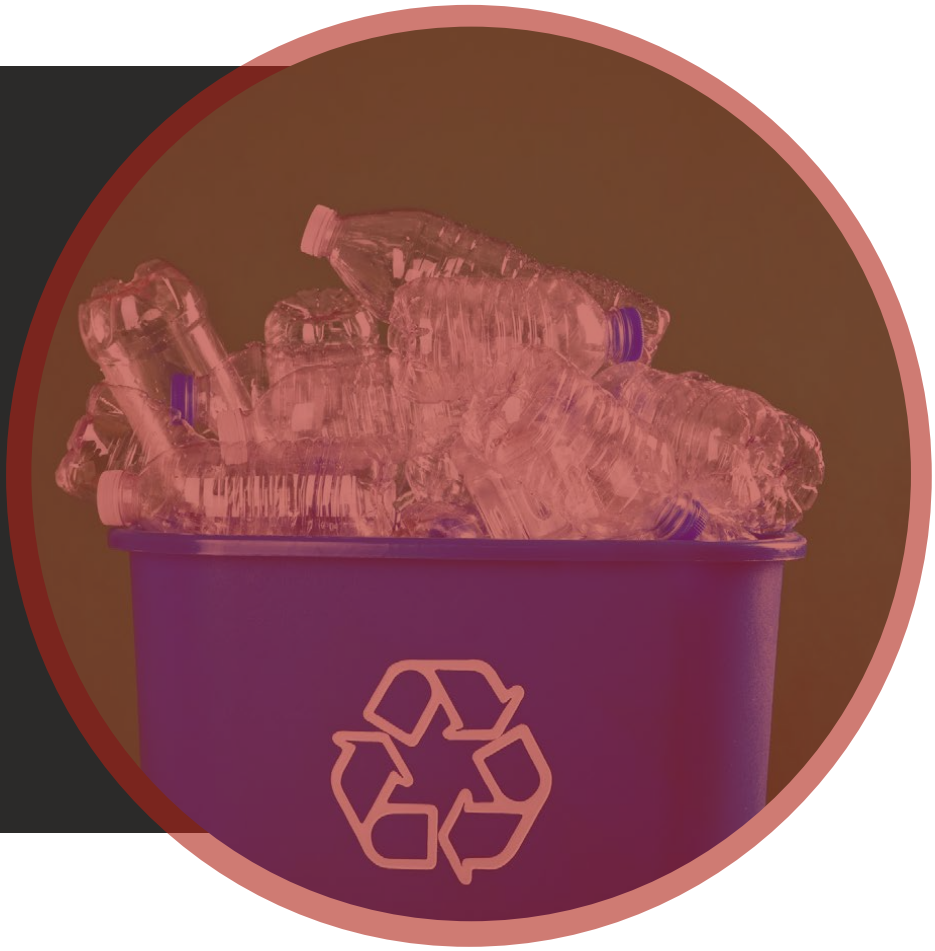
W odróżnieniu od klasycznych nanomateriałów, mikro- i nanoplastiki nie są obecnie ujęte w rozporządzeniu REACH jako substancje wymagające rejestracji w swojej „nanoformie". Brakuje też jednoznacznych wytycznych dotyczących oceny ryzyka w miejscu pracy. W związku z tym, w ocenie ryzyka należy kierować się zasadą ostrożności oraz analogiami do pyłów, cząstek ultradrobnych i nanomateriałów o podobnej charakterystyce.

Branże i procesy o podwyższonym ryzyku narażenia

Mikro- i nanoplastiki mogą występować w wielu środowiskach pracy, zwłaszcza tam, gdzie dochodzi do obróbki, degradacji lub emisji tworzyw sztucznych. Szczególnie narażone są osoby pracujące w:

- zakładach recyklingu tworzyw sztucznych,
- przemyśle tekstylnym (produkcja, pranie i cięcie tkanin syntetycznych),
- produkcji i obróbce tworzyw (np. wtryskarki, linie do granulacji, mielenie, szlifowanie),
- drukarniach 3D wykorzystujących filamenty z tworzyw sztucznych,
- laboratoriach chemicznych i badawczych (nanokompozyty, polimery),
- zakładach zajmujących się czyszczeniem filtrów przemysłowych, wentylacji i odpylania.

Z uwagi na powszechność zastosowania tworzyw sztucznych, ryzyko narażenia na mikro- i nanoplastiki może dotyczyć znacznie szerszego zakresu branż, niż się powszechnie przypuszcza.

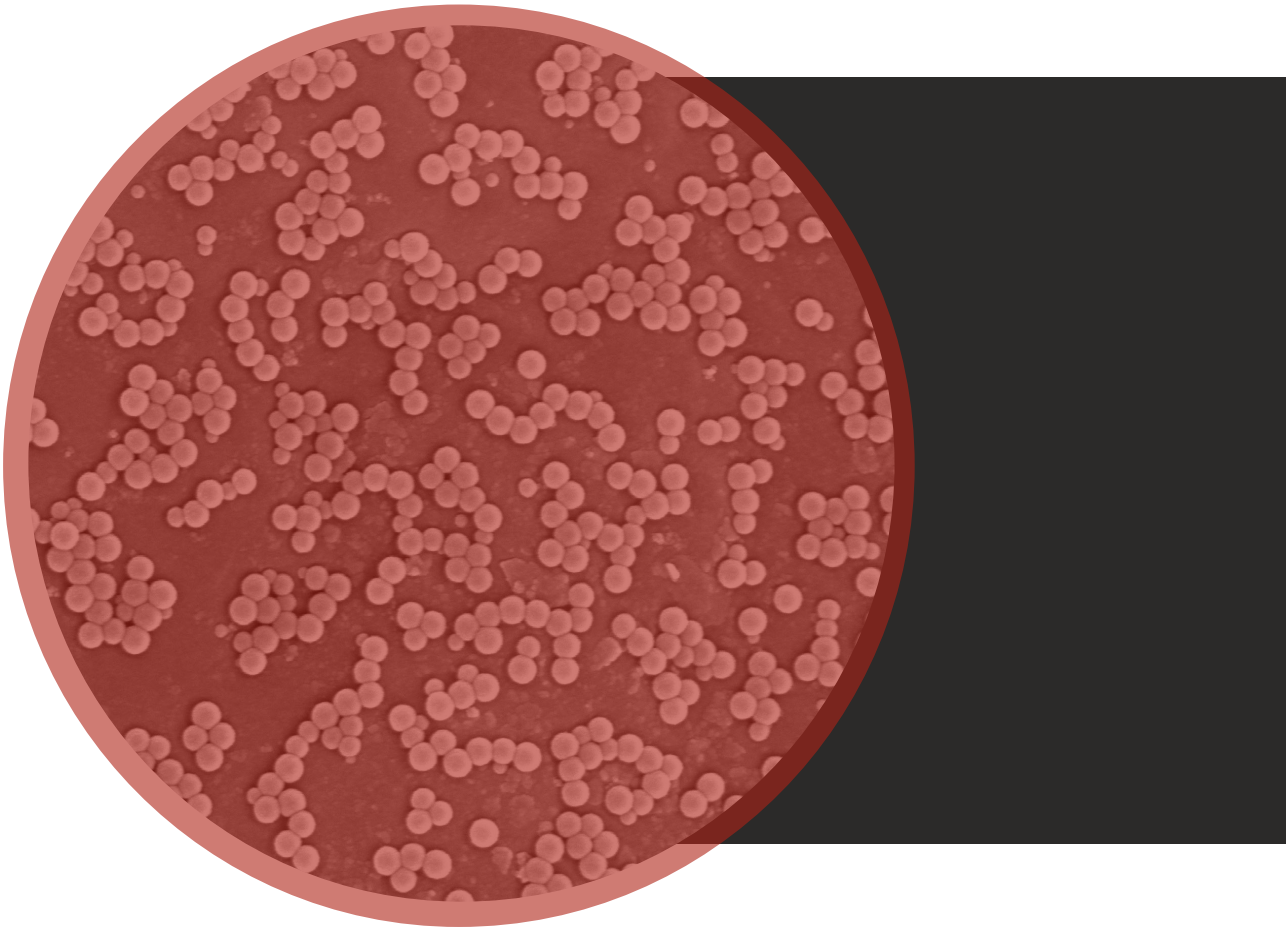


Zagrożenia dla zdrowia i bezpieczeństwa związane z mikro- i nanoplastikami

Potencjalne działanie toksyczne mikro- i nanoplastików zależy od wielu czynników, takich jak:

- skład chemiczny (rodzaj polimeru, obecność plastyfikatorów, barwników, stabilizatorów),
- wielkość i kształt cząstek (np. włókna, płatki, sfery),
- powierzchnia właściwa i stopień degradacji,
- właściwości sorpcyjne (mikroplastiki mogą przenosić zanieczyszczenia chemiczne lub biologiczne),
- obecność dodatków endokrynnie czynnych (np. bisfenolu A, ftalanów).

Zróżnicowanie właściwości mikro- i nanoplastików sprawia, że ich oddziaływanie na organizm człowieka może być wieloaspektowe i trudne do przewidzenia. Oznacza to, że nawet pozornie niewielkie lub neutralne cząstki mogą w określonych warunkach stać się nośnikiem dodatkowych zagrożeń chemicznych bądź biologicznych. Z tego względu w ocenie ryzyka zawodowego konieczne jest uwzględnienie zarówno charakterystyki samych polimerów, jak i kontekstu środowiska pracy, w którym dochodzi do narażenia.



Zagrożenia dla zdrowia i bezpieczeństwa związane z mikro- i nanoplastikami

Dotychczasowe badania wskazują, że mikro- i nanoplastiki mogą oddziaływać na organizm ludzki na wiele sposobów, zależnie od ich rozmiaru, kształtu, składu chemicznego oraz drogi wnikania. Choć wiedza na ten temat jest wciąż ograniczona, obserwacje laboratoryjne i modelowe pozwalają wyróżnić szereg możliwych efektów niepożądanych, w tym:

- reakcje zapalne w płucach i innych tkankach,
- stres oksydacyjny i uszkodzenia komórkowe,
- wpływ na gospodarkę hormonalną,
- wpływ na mikrobiom jelitowy i układ immunologiczny,
- możliwość bioakumulacji i translokacji do narządów wewnętrznych,
- zaburzenia neurologiczne, rozrodcze oraz możliwe działanie mutagenne.

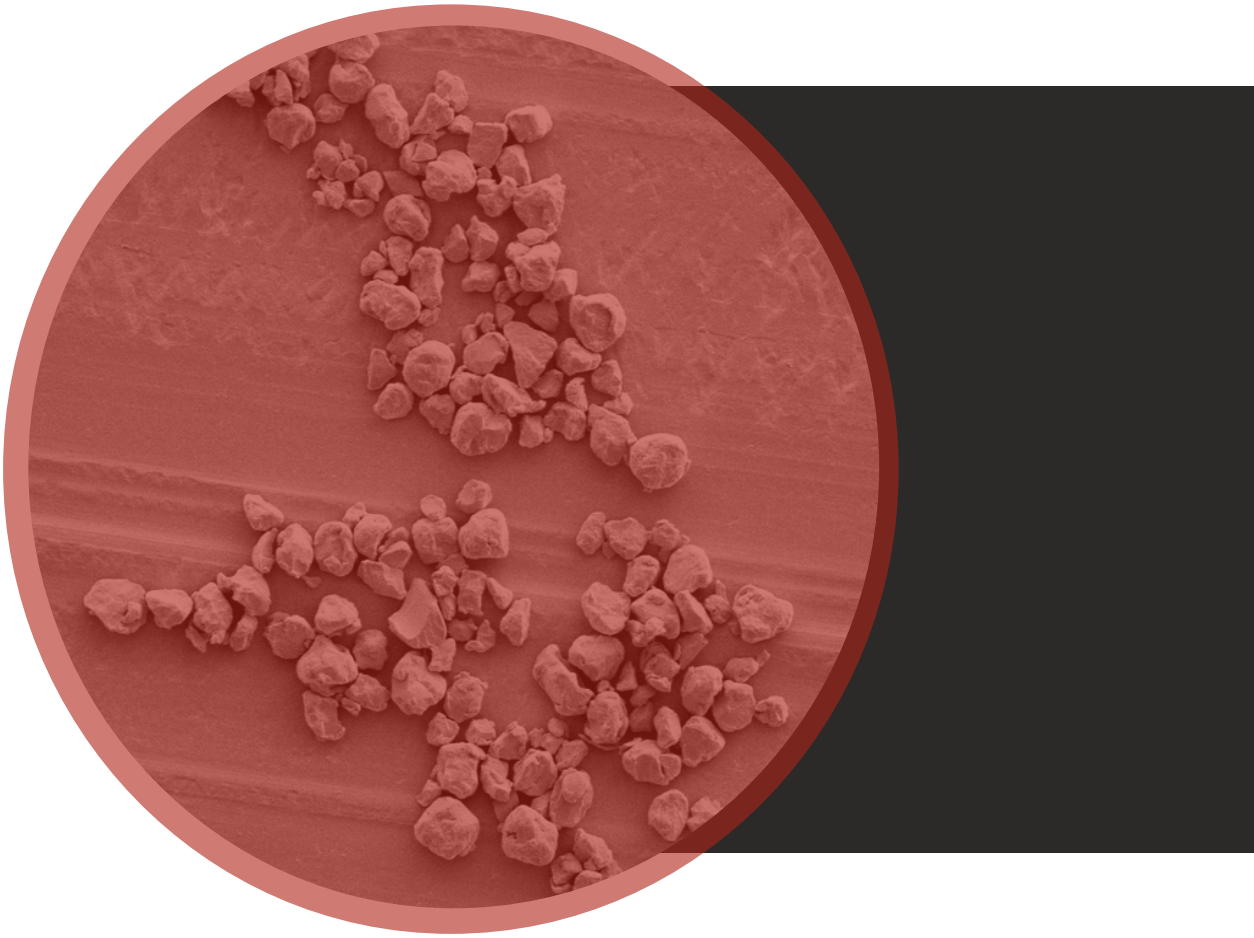
W badaniach modelowych wykazano, że nanoplastiki mogą przenikać przez barierę krew–mózg oraz barierę łożyskową, co czyni je potencjalnie niebezpiecznymi również dla płodu.

Rodzaje cząstek o największym potencjale zagrożenia

Stopień ryzyka zdrowotnego i środowiskowego zależy nie tylko od ogólnej obecności mikro- i nanoplastików, ale także od ich wielkości, kształtu, składu chemicznego oraz trwałości w środowisku pracy. Na podstawie dostępnych danych można wyróżnić grupy cząstek, które ze względu na swoje właściwości stanowią największe zagrożenie:

- włókna poliestrowe i inne czynniki włókniste – zwłaszcza długie, cienkie i biotrwałe,
- cząstki respirabilne o średnicy poniżej 10 µm (PM_{10}) i ultradrobne < 100 nm ($PM_{0.1}$),
- cząstki o nieregularnych kształtach i ostrych krawędziach,
- mikroplastiki zawierające dodatki chemiczne o działaniu toksycznym (np. srebro, halogeny, plastyfikatory),
- trudnorozkładalne polimery (np. polietylen, polipropylen, polistyren).

Obecność takich cząstek w środowisku pracy znacząco zwiększa ryzyko niekorzystnych skutków zdrowotnych. Mogą one wywoływać przewlekłe reakcje zapalne, nasilać stres oksydacyjny czy oddziaływać na gospodarkę hormonalną pracowników.



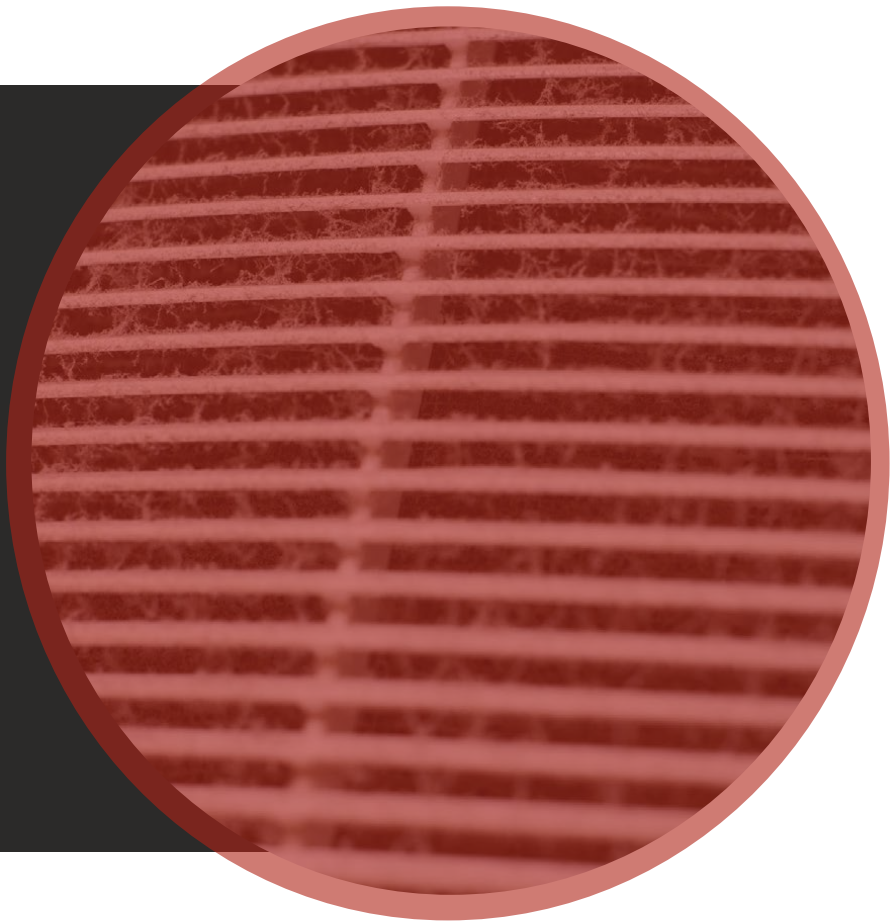
Zagrożenia dla bezpieczeństwa

W przypadku niektórych form mikroplastików (np. pył polimerowy w procesie mielenia lub granulaty tworzyw sztucznych):

- istnieje ryzyko pożarowe i wybuchowe, szczególnie przy dużym zapyleniu w zamkniętych przestrzeniach,
- może dojść do zatykania filtrów wentylacyjnych i układów wyciągowych, co prowadzi do wtórnych emisji,
- rozsypany granulat stwarza zagrożenie mechaniczne – poślizgnięcia, upadki, awarie maszyn.

Aktualnie nie ma standaryzowanych metod pomiaru mikro- i nanoplastików w powietrzu na stanowiskach pracy. Można jednak zastosować metody pośrednie, analogiczne do pomiaru pyłów respirabilnych i frakcji PM, takie jak np.:

- pobór próbek powietrza z użyciem filtrów i analizatorów cząstek,
- mikroskopia FTIR lub Raman do identyfikacji polimerów,
- analiza termograwimetryczna (TGA) lub spektrometria mas.



Jak przeprowadzić ocenę ryzyka zawodowego dla mikro- i nanoplastików (MNPs)

1

Identyfikacja potencjalnych źródeł MNPs w przedsiębiorstwie

Pierwszym etapem oceny ryzyka związanego z obecnością mikro- i nanoplastików (MNPs) w zakładzie przemysłowym jest szczegółowa identyfikacja wszystkich możliwych źródeł ich emisji. Należy przeanalizować zarówno procesy produkcyjne, jak i pomocnicze, aby określić, gdzie mogą powstawać, uwalniać się lub być wykorzystywane materiały zawierające mikroplastiki. Kluczowe pytania, które należy zadać na tym etapie, to m.in.:

- Czy w procesach produkcyjnych/recyklingowych powstaje pył z tworzyw sztucznych?
- Czy używane są materiały zawierające mikroplastiki (np. granulaty, proszki, pasty, kompozyty)?
- Czy występują czynności takie jak mielenie, cięcie, ścieranie, czyszczenie filtrów?

Wskazówka: Szczególnie przyjrzyj się procesom generującym pył takimi jak: szlifowanie, rozdrabnianie czy wymiana filtrów HEPA.

2

Wskazanie grup pracowników potencjalnie narażonych

Kolejnym krokiem w ocenie ryzyka związanego z mikro- i nanoplastikami (MNPs) jest określenie, które grupy pracowników mogą być potencjalnie narażone na kontakt z tymi substancjami. W tym celu należy przeanalizować zakres obowiązków, środowisko pracy oraz częstotliwość wykonywania czynności mogących prowadzić do ekspozycji na MNPs. Szczególną uwagę warto zwrócić na następujące stanowiska:

- Operatorzy maszyn przetwarzających tworzywa sztuczne,
- Pracownicy zajmujący się segregacją odpadów, wymianą filtrów, czyszczeniem systemów odpylających,
- Personel utrzymania czystości i konserwacji,
- Pracownicy laboratoriów i działów R&D używający drobnych polimerów.

Pracownicy ci mogą być narażeni zarówno na wdychanie cząstek MNPs unoszących się w powietrzu, jak i na kontakt skóry z zanieczyszczonymi powierzchniami. Wskazanie tych grup umożliwia wdrożenie odpowiednich środków ochrony oraz ukierunkowanie działań prewencyjnych i szkoleniowych.

Ocena warunków ekspozycji

- Czas trwania narażenia: (sporadyczny / codzienny / ciągły),
- Forma cząstek: pył, proszek, zawiesina, aerozol,
- Drogi narażenia: inhalacja (główna), kontakt ze skórą, przypadkowe połknięcie,
- Stan techniczny wentylacji: zastosowanie odpylania, filtrów HEPA, systemów zamkniętych.

Powyższe informacje są niezbędne do oceny poziomu ryzyka oraz doboru odpowiednich środków ochrony indywidualnej i zbiorowej, które skutecznie ograniczą narażenie pracowników na MNPs.

3

4

Szacowanie ryzyka z wykorzystaniem prostych narzędzi (matryca ryzyka)

Po zidentyfikowaniu źródeł MNPs, grup narażonych pracowników oraz warunków ekspozycji, kolejnym etapem jest oszacowanie poziomu ryzyka. W tym celu warto zastosować proste i skuteczne narzędzie, jakim jest matryca ryzyka, która pozwala na ocenę ryzyka w sposób usystematyzowany i porównywalny (PN-N-18002:2011). Ocenę można przeprowadzić na podstawie czterech podstawowych kryteriów:

Kryterium	Przykładowa ocena
Prawdopodobieństwo	Niskie / Średnie / Wysokie
Czas ekspozycji	Sporadyczne / Codzienne
Skutki zdrowotne	Umiarkowane / Poważne
Zabezpieczenia techniczne	Brak / Częściowe / Skuteczne

Im wyższe prawdopodobieństwo i dłuższy czas ekspozycji, tym większe ryzyko i konieczność działań prewencyjnych.

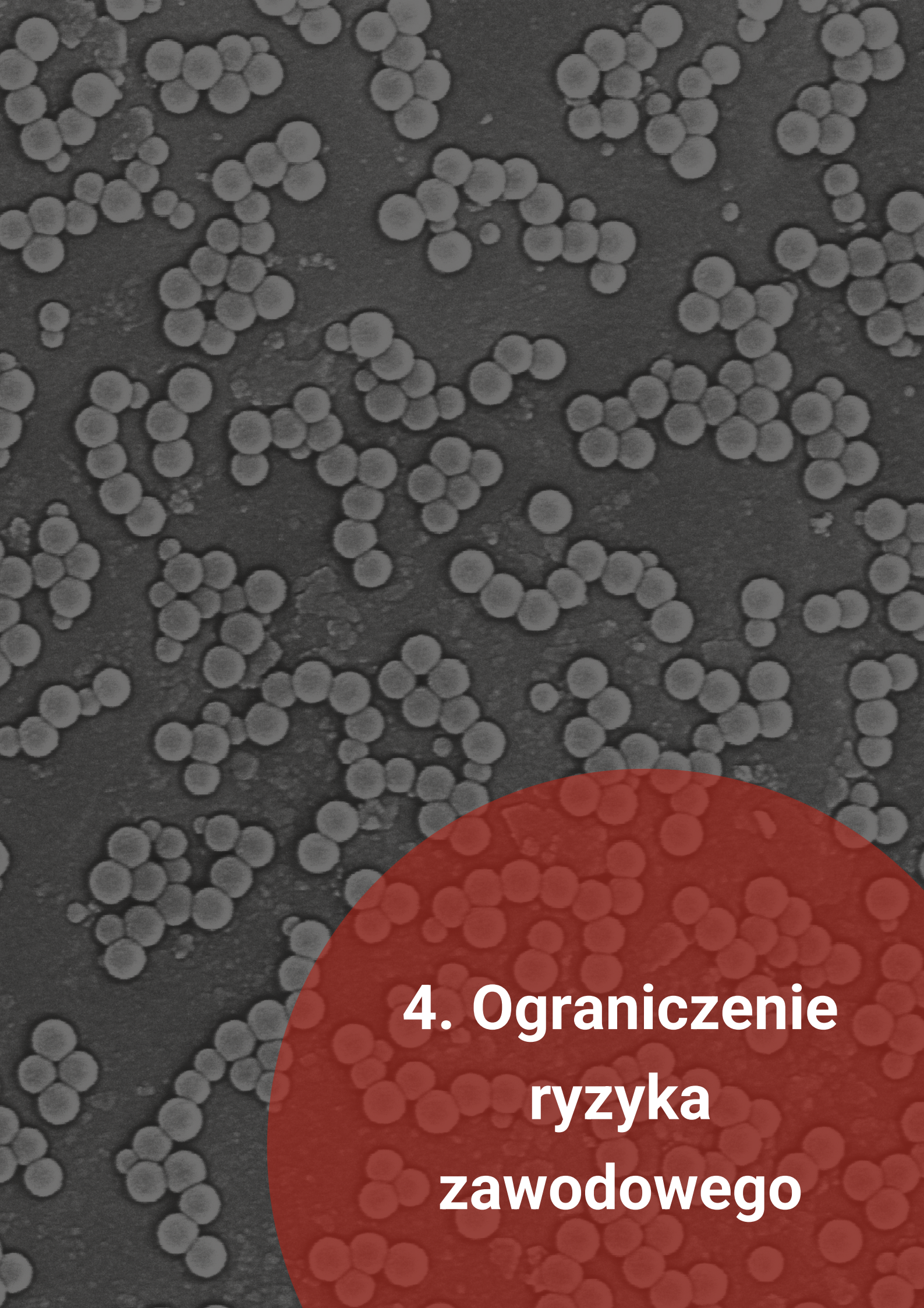
Określenie środków zaradczych (jeśli wskazane)

Jeśli analiza wykazuje średnie lub wysokie ryzyko – rozważ wdrożenie środków prewencyjnych:

- Zastosowanie systemów zamkniętych (np. obudowy, klosze),
- Zastosowanie filtrów HEPA / wentylacji miejscowej,
- Wprowadzenie ŚOI (maski z filtrem P3, rękawice),
- Szkolenia pracowników nt. ryzyka związanego z MNPs.

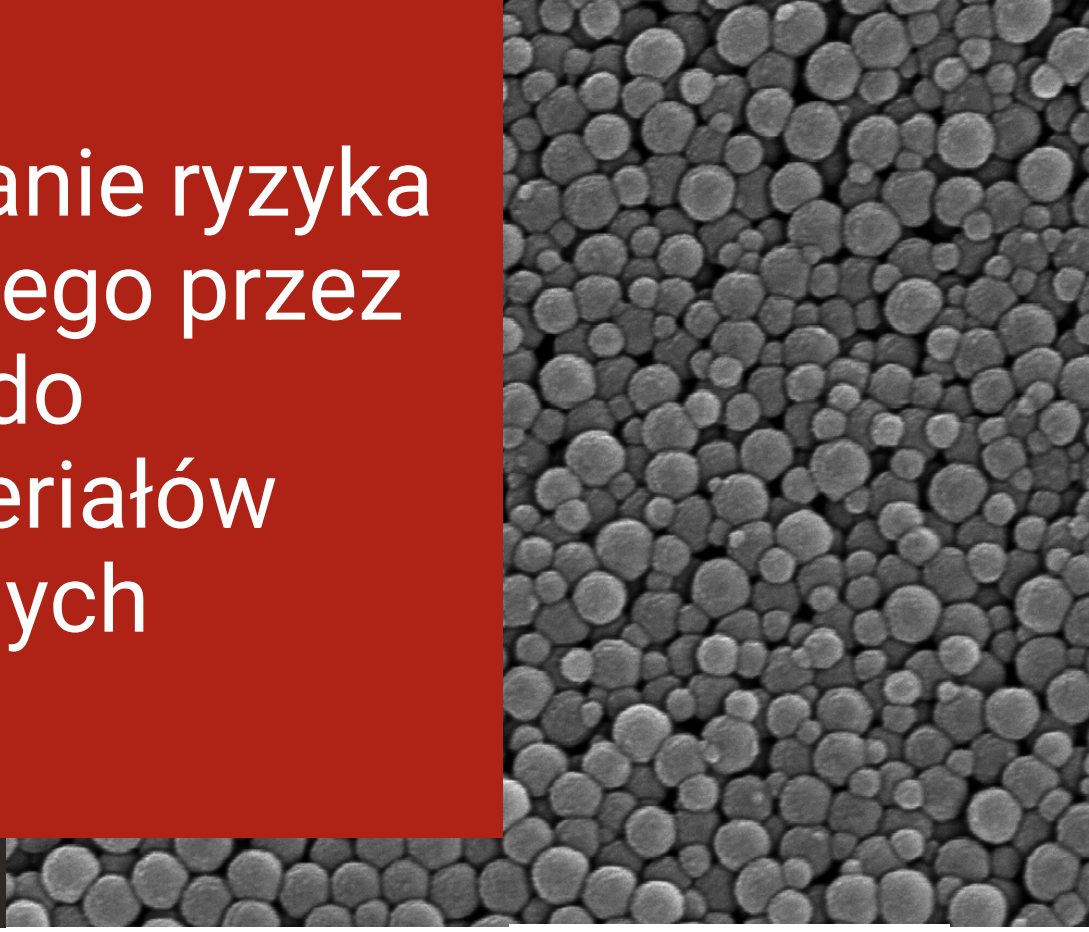
Ocena ta ma charakter prewencyjny. Może stanowić istotne wsparcie w spełnianiu ogólnych obowiązków pracodawcy wynikających z przepisów bhp oraz przygotować firmę na przyszłe zmiany regulacyjne dotyczące MNPs.

5



4. Ograniczenie ryzyka zawodowego

Ograniczanie ryzyka zawodowego przez analogię do nanomateriałów technicznych



Zasada ostrożności w ocenie ryzyka MNPs

Obecnie nie istnieją ani normy, ani standardy ISO dotyczące mikro- i nanoplastików (MNPs). W związku z tym, zgodnie z zaleceniami WHO, należy stosować zasadę ostrożności [11], traktując MNPs jako potencjalnie niebezpieczne i opierając działania prewencyjne na analogii do istniejących wytycznych dotyczących nanomateriałów inżynieryjnych (ang. *Nano-Objects and Their Agglomerates and Aggregates*, NOAA).

WHO zaleca, aby do czasu uzyskania jednoznacznych danych toksykologicznych, każdy nanomateriał – a zatem również MNPs – traktować jako potencjalnie szkodliwy. Oznacza to konieczność utrzymywania narażenia na możliwie najniższym poziomie oraz stosowania kompleksowych środków zaradczych.

Dlatego w praktyce działania prewencyjne wobec MNPs powinny obejmować nie tylko środki techniczne, ale także rozwiązania organizacyjne i indywidualne, znane już z zarządzania ryzykiem nanomateriałów inżynieryjnych. Wdrożenie podejścia opartego na zasadzie „ALARA" (ang. *As Low As Reasonably Achievable*) pozwala na ograniczenie ekspozycji pracowników do najniższego możliwego poziomu, nawet w sytuacji braku jednoznacznych norm czy wartości dopuszczalnych.

Środki ograniczające ryzyko zawodowe

A

Technika zastępowania

- stosowanie materiałów zwilżonych lub mokrych metod obróbki (np. cięcie „na mokro”),
- wiązanie materiałów pylących w emulsjach, pastach lub żelach, by ograniczyć emisję cząstek.

Technika zastępowania pozwala w prosty sposób ograniczyć emisję pyłów i aerozoli już na etapie procesu, zmniejszając ryzyko narażenia pracowników u źródła.

B

Środki inżynieryjno-techniczne

- hermetyzacja i automatyzacja procesów generujących pyły i aerozole,
- wentylacja miejscowa i ogólna z filtrami HEPA/ULPA,
- stosowanie zamkniętych systemów (boksy laminarne, komory rękawicowe),
- fizyczne osłony, kurtyny, podajniki minimalizujące kontakt z materiałem.

C

Środki administracyjno-organizacyjne

- ograniczenie dostępu osób postronnych (np. kodowane wejścia),
- ograniczenie liczby pracowników mających kontakt z materiałem,
- oznakowanie miejsc o wysokim ryzyku ekspozycji,
- stosowanie gładkich, łatwozmywalnych powierzchni roboczych,
- opracowanie pisemnych procedur bezpiecznej pracy,
- czyszczenie na mokro lub za pomocą odkurzaczy z filtrami HEPA (zakaz sprzątania na sucho),
- bezpieczne postępowanie z odpadami (podwójne opakowania, szczelne pojemniki),

Środki ograniczające ryzyko zawodowe :

D

Środki ochrony indywidualnej (ŚOI)

- półmaski i maski z filtrami klasy co najmniej FFP3 / P3,
- ochrona oczu (gogle, osłony twarzy),
- rękawice jednorazowe lub podwójne,
- odzież ochronna (fartuchy, kombinezony).

Zalecane źródła i dokumenty pomocnicze

Mimo braku regulacji odnoszących się bezpośrednio do MNPs, pomocne mogą być następujące dokumenty:

ISO/TS 12901-1:2012 – wytyczne dot. BHP przy pracy z nanomateriałami inżynieryjnymi,

ISO/TR 12885:2018 – zalecenia dotyczące zdrowia i bezpieczeństwa przy zastosowaniach nanotechnologii,

EUON – European Union Observatory for Nanomaterials – informacje nt. nanomateriałów, branż i wytycznych ECHA,

OECD Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials, No. 103 – aktualne podejścia do oceny ryzyka nanomateriałów.

W przypadku mikro- i nanoplastików, stosowanie dostępnych wytycznych dla innych nanomateriałów pozwala na wdrożenie skutecznych działań prewencyjnych mimo braku jednoznacznych przepisów. Takie podejście nie tylko zwiększa bezpieczeństwo pracowników, ale również przygotowuje firmę na przyszłe obowiązki regulacyjne.

Dodatkowe środki ostrożności w odniesieniu do mikroplastików

Zasada ostrożności w ocenie ryzyka MNPs

W przypadku mikroplastików (o rozmiarze od 100 nm do 5 mm), które nie są objęte klasyfikacją jako nanomateriały, zaleca się stosowanie analogii do:

pyłów przemysłowych
(zwłaszcza frakcji PM_{10} i mniejszych)

włókien respirabilnych
(np. włókna tekstylne o dużej biotrwałości)

cząstek o działaniu mechanicznym
(ostre krawędzie, nieregularne kształty)

Środki profilaktyczne powinny obejmować:

W przypadku mikroplastików (o rozmiarze od 100 nm do 5 mm), które nie są objęte klasyfikacją jako nanomateriały, zaleca się stosowanie analogii do:

- monitorowanie zapylenia w miejscu pracy (np. czujniki PM_{10}, $PM_{2.5}$),
- stosowanie odpylania i filtrów powietrza (HEPA) również poza strefami nano,
- stosowanie oznakowania, procedur czyszczenia i ograniczenia ekspozycji, jak dla substancji pylących.

Mikroplastiki ulegają z czasem degradacji, co może prowadzić do powstawania nanoplastików. Z tego względu ich kontrola jest istotna także w kontekście narażenia na frakcje ultradrobne.

BIBLIOGRAFIA

[1] Sawicka D, Chojnacka-Puchta L, Zapór L, Miranowicz-Dzierżawska K, Skowroń J. Drogi ekspozycji mikro- i nanoplastiku oraz potencjalne toksyczne efekty ich działania na zdrowie człowieka. Med Pr Work Health Saf. 2024;75(1):81-96. doi:10.13075/mp.5893.01475.

[2] Rakowski M, Grzelak A. Nowe zagrożenie zawodowe środowiskowe – nanoplastik. Med Pr. 2020;71(6): 743–56. https://doi.org/10.13075/mp.5893.00990.

[3] World Health Organization [Internet]. Geneva: The Organization; 2022 [cited 2023 Oct 30]. Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. Available from: https://www.who.int/publications/i/ item/ 97 8 9 2 4 0 0 54608.

4] Sangkham S, Faikhaw O, Munkong N, Sakunkoo P, Arunlertaree C, Chavali M, i wsp. A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies, and potential effects on human health. Mar Pollut Bull. 2022;181:113832. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113832.

[5] Prata JC, da Costa J.P, Lopes I, Duarte AC, Rocha-Santos T. Environmental exposure to microplastics: an overviewon possible human health effects. Sci Total Environ. 2020;702:134455. https://doi.org/10.1016/ j.sci to tenv. 2019.134455.

[6] Chen G, Feng Q, Wang J. Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. Sci Total Environ. 2020;703:135504. https://doi.org/10.1016/j.sci to tenv.2019.135504.

[7] Schneider M, Stracke F, Hansen S, Schaefer UF. Nanoparticles and their interactions with the dermal barrier. Dermatoendocrinol. 2009;1(4):197–206. https://doi.org/10. 4161/derm.1.4.9501.

[8] Organisation for Economic Cooperation and Development [Internet]. Global Plastics Outlook, 2022 [cited 2023 Oct 30]. Economic Drivers, Environmental Impacts
and Policy Options. Available from: https://www.oecd ilibrary.org/ontent/publication/de747aef-en.

[9] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32023R2055

[10] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:52023PC0645

[11] World Health Organization. WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials. Geneva: WHO; 2017.

www.ciop.pl