

Zdzisław Jan Małecki, Izabela Małecka, Marek Moga

ŚRODKI TECHNICZNE OCHRONY ZBIOROWEJ OGRANICZAJĄCE SKUTKI ZAPYLENIA

Streszczenie

Pyły występują w wielu środowiskach pracy i nawet przy niskich stężeniach mogą wykazywać szkodliwe działanie na organizm ludzki. W powietrzu unoszą się różne rodzaje cząstek pyłów, które powstają w następstwie procesów naturalnych i sztucznych (technologicznych). Oceniając szkodliwość pyłów, najbardziej szkodliwa jest frakcja respirabilna mająca największe znaczenie w patogenezie pyłu, która dociera do pęcherzyków płucnych. W pomieszczeniach, w których występuje znaczny stopień zanieczyszczenia pyłami, parami oraz zjonizowanym powietrzem i zapachami pochodzącymi z procesów technologicznych wymagany jest 100% udział powietrza zewnętrznego (świeżego).

Słowa kluczowe: pył, środowisko pracy, frakcja, profilaktyka techniczna, wentylacja, instalacja odpylająca, widmo zapylenia.

WPROWADZENIE

Pyłem nazywamy cząstki ciała stałego o różnej wielkości i różnego pochodzenia, które przez pewien czas pozostają w zawieszeniu w gazie (powietrzu) [PN-ISO 4225: 1999]. Przyjmuje się, że są to cząstki o wymiarach poniżej 300 μm . Kształt cząstek pyłów zależy od ich pochodzenia. Inny kształt mają cząstki pochodzenia organicznego a inny nieorganicznego. Pyły występują w wielu środowiskach pracy i nawet przy niskich stężeniach mogą wykazywać szkodliwe działanie na zdrowie ludzi (np. pyły o właściwościach toksycznych). W następstwie procesu sedymentacji, przy braku oddziaływania sił zewnętrznych, dochodzi do rozdzielenia fazy stałej od gazowej pod działaniem sił grawitacji [Jankowska E., 2006]. Cząstki stałe pyłów wchodzących w skład aerozoli to ziarna o średnicy zazwyczaj poniżej 100 μm . Cząstki te charakteryzują się tym większym oddziaływaniem biologicznym im mniejsza jest ich średnica [Hämeri K. i in., 2003]. Natomiast cząstki o średnicy poniżej 10 μm , wykazują najlepsze właściwości wchłaniania poprzez tkanki i błony organizmu ludzkiego. Do aerozoli oprócz pyłów zaliczyć można również dymy oraz mgły. Aerozolem nazywa się także układ typu ciecz – gaz np. mgła (ciecz rozproszona w powietrzu). W przypadku dymów, faza stała powstaje w wyniku zjawiska zwiększenia stężenia związków chemicznych na drodze różnego rodzaju przemian chemicznych (np. spalania). Zależenie od wymiarów pyłów i związanego z nim oddziaływania na zdrowie człowieka zgodnie z Rozporządzeniem

prof. nadzw. dr hab. inż. Zdzisław Jan MAŁECKI – Instytut Badawczo-Rozwojowy Inżynierii Łądowej i Wodnej „Euroexbud” w Kaliszu.

dr inż. Izabela MAŁECKA – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

dr n. med. Marek Moga – Centrum Diagnostyki Serca „MEDIX” w Kaliszu.

Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [Dz. U. 2002, nr 217, poza. 1833], przyjmujemy następującą klasyfikację pyłów i włókien:

- pył całkowity stanowiący zbiór wszystkich cząstek otoczonych powietrzem w określonej objętości powietrza [PN-EN 481:1998],
- pył respirabilny – zbiór cząstek o średniej wielkości a mianowicie średnicy aerodynamicznej $3,5 \pm 0,3 \mu\text{m}$ i z geometrycznym odchyleniem standardowym $1,5 \pm 0,1 \mu\text{m}$,
- włókna respirabilne – włókna o długości powyżej $5 \mu\text{m}$ i maksymalnej średnicy poniżej $3 \mu\text{m}$ i o stosunku długości do średnicy $>3 \mu\text{m}$.

SZKODLIWE DZIAŁANIA PYŁÓW NA CZŁOWIEKA

Oceniając szkodliwość pyłów, najbardziej szkodliwa jest frakcja respirabilna mająca największe znaczenie w patogenezie pyłu, która dociera do pęcherzyków płucnych. Wg normy PN-EN 481:1998 oprócz frakcji respirabilnej, wyróżnia się też inne frakcje pyłowe ze względu na stopień wnikania do układu oddechowego (rys. 1):

- frakcja wdychania – przedostaje się przez usta i nos. Zależy od prędkości i kierunku ruchu powietrza oraz od prędkości wdychania i od innych czynników,
- frakcja pozatrawiczo – cząstki frakcji wdychanej nie przedostają się poza krtań,
- frakcja tchawicza – cząstki frakcji wdychanej wnikają poza krtań,
- frakcja tchawiczno-oskrzelowa – cząstki frakcji wdychanej wnikają głębiej poprzez krtań, lecz nie dostają się do bezrzęskowych dróg oddechowych.

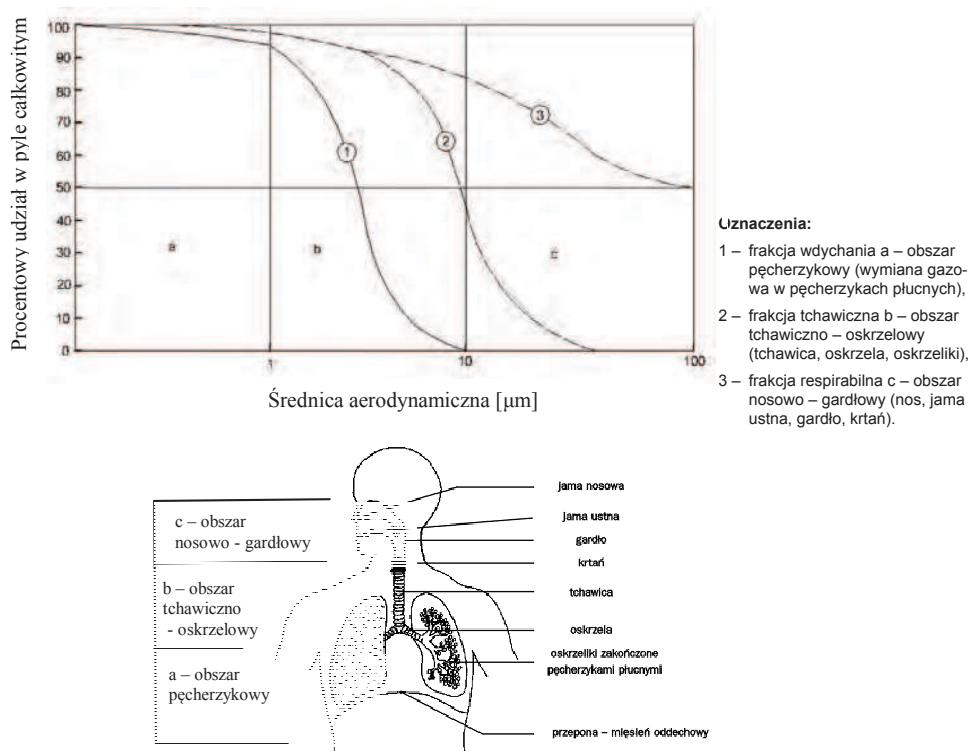
Zaleganie pyłu w obszarach (pęcherzykowym, tchawiczno – oskrzelowym, nosowo - gardłowym) jest uzależnione od średnicy cząstek pyłu, budowy dróg oddechowych (objętość wdechu, częstotliwość oddechów, prędkość przepływu powietrza w drogach oddechowych).

Powietrze wdychane przez człowieka, przedostaje się do układu oddechowego przez otwory nosowe i przepływa w kierunku nosogardzieli. W następstwie czego dochodzi do jego ogrzania, nasycenia wilgocią i do częściowego pozbycia się zawieszonych cząstek stałych. Z wyjątkiem nozdrzy, drogi oddechowe w obrębie głowy są pokryte śluzówką. Śluz z kolei jest przesuwany w kierunku gardła, unosząc osadzone cząstki, które są połykane. Natomiast cząstki wytrącane na włoskach nie są unoszone ze śluzem i nie są połykane, lecz raczej są usuwane na zewnątrz przez wycieranie nosa, kichanie, wydmuchiwanie itp.

Za obszarem dróg oddechowych, występuje obszar tchawiczno – oskrzelowy charakteryzujący się występowaniem urzęsionych komórek nabłonka migawkowego wydzielających śluz. Nierozpuszczalne cząstki pyłu osadzone w tym obszarze są więc przenoszone przez ruch nabłonka migawkowego wraz ze śluzem w ciągu kilku godzin w kierunku krtani, następnie do przełyku i układu pokarmowego.

Obszar pęcherzykowy, gdzie zachodzi wymiana gazowa, obejmuje pęcherzyki płucne i związane z nimi przewody pęcherzykowe (nabłonek nie posiada migawek).

Ze względu na oddziaływanie biologiczne, szkodliwe dla człowieka, pyły można podzielić na pyły o działaniu: drażniącym (cząstki węgla, żelaza, aluminium, szkła itp.);



Rys. 1 Podział pyłu na frakcje oraz wnikanie aerozoli do różnych obszarów dróg oddechowych

zwłókniającym (cząstki kwasu, azbestu, talku, pyły z kopalni węgla itp.); kancerogennym (azbest, ogniotrwałe materiały ceramiczne); alergizujące (pyły cynku, miedzi, chromu i pyły pochodzenia roślinnego oraz zwierzęcego: mąka, bawełna, drewno, włosie).

Istotnymi parametrami wpływającymi na oddziaływanie pyły na organizm człowieka są: stężenie pyłu, wymiary i kształt cząstek, skład chemiczny i struktura oraz ocena rozpuszczalności pyłu w płynach ustrojowych. Ocena ostatecznego skutku szkodliwego działania pyłów zależy także od ciężkości wykonywanej pracy fizycznej.

Ze względu na wpływ pyłów na skutki zdrowotne człowieka najważniejsze są cząstki o średnicy poniżej $7 \mu\text{m}$, które przenikają do obszaru wymiany gazowej układu oddechowego co w konsekwencji prowadzi do rozwoju pylic płuc (kolagenowa: patologiczny rozwój tkanki łącznej, powodująca trwałe uszkodzenie struktury pęcherzyków płucnych oraz zmiany bliznowate; niekolagenowa: reakcja tkanki płucnej jest minimalna i nie prowadzi do uszkodzenia struktury pęcherzyków), oraz większości nowotworów oraz zapylenia pęcherzyków płucnych. Rodzaj choroby jest następstwem składu fizykochemicznego wchłanianego pyłu (np. narażenie na cząstki pyłów zawierających wolną krystaliczną krzemionkę skutkuje chorobą krzemicy). Wdychanie pyłów włóknistych może prowadzić do pylicy płuc i nowotworów. Natomiast w przypadku wdychania pyłów drewna twardego (dąb, buk) może być powodem nowotworów nosa i zatok przy-

nosowych. Nieorganiczne pyły o strukturze włóknistej, oprócz działania drażniącego, zwłókniającego, charakteryzują się także działaniem nowotworowym. Pyły te mogą wywoływać rozwój raka płuc, raka oskrzeli oraz międzybłoniaków opłucnej i otrzewnej.

EMITOWANIE PYŁÓW NA STANOWISKACH PRACY

W powietrzu unoszą się różne rodzaje cząstek pyłów, które powstają w następstwie procesów naturalnych i sztucznych (technologicznych). Głównymi źródłami emisji pyłów w pomieszczeniach produkcyjnych są procesy technologiczne. Do najczęściej spotykanych pyłotwórczych procesów technologicznych należą: mielenie, przesiewanie, kruszenie, transport oraz mieszanie materiałów sypkich. Natomiast pyły wysoko dyspersyjne, najbardziej szkodliwe dla człowieka, powstają w procesach szlifowania i polerowania [Jankowska E., Więcek E., 1999].

W zależności od charakterystyki fazy rozproszonej i realizowanego procesu technologicznego, własności pyłów są ściśle powiązane z substancjami stosowanymi w procesach technologicznych.

Głównymi źródłami pyłów występujących na stanowiskach pracy są pylenia powstałe podczas:

- wytwarzania produktów w procesie technologicznym, gdzie pył jest: produktem, materiałem lub składnikiem produktu (rozdrabnianie, mieszanie, dozowanie itp.),
- procesów technologicznych jako skutek uboczny (szlifowanie, polerowanie, spawanie itp.),
- stosowania materiałów pylistych w procesach technologicznych (metalizacja, malowanie natryskowe itp.),
- pylenia wtórnego (zalegające pyły na powierzchniach maszyn i urządzeń itp.),
- innych procesów technologicznych (zanieczyszczenia atmosfery itp.).

Cząstki pyłów, znajdujące się w powietrzu mogą mieć ładunki elektrostatyczne dodatnie lub ujemne (tarcie o powierzchnie, wzajemne ocieranie się cząstek, stykanie się z innymi substancjami, niektóre reakcje chemiczne itp.).

PROFILAKTYKA TECHNICZNA – ŚRODKI OCHRONY ZBIOROWEJ

Środki ochrony zbiorowej przez zapyleniem obejmują:

- systemy wentylacji (klimatyzacji) mechanicznej ogólnej,
- urządzenia wentylacji mechanicznej miejscowej wyposażone w filtry powietrza,
- instalację odpylającą.

Istotnym celem wentylacji mechanicznej ogólnej, polegającej na ciągłej lub okresowej wymianie powietrza w pomieszczeniach jest:

- poprawa stanu i składu powietrza na stanowiskach pracy zgodnie z wymaganiami higienicznymi (ergonomia pracy) i technologicznymi (jakość produktów),

- regulacja parametrów środowiska powietrznego w wentylowanych pomieszczeniach a mianowicie: stężenie zanieczyszczeń, temperatura, wilgotność oraz prędkość i kierunek przepływu powietrza.

W pomieszczeniach produkcyjnych (np. przemysł spożywczy) w których występuje znaczny stopień zanieczyszczenia: pyłami, gazowymi parami oraz zjonizowanym powietrzem i zapachami pochodzącymi z procesów technologicznych wymagany jest udział 100% powietrza zewnętrznego (świeżego), przy zachowaniu właściwej krotności (ilości) wymian powietrza [Małecki Z. i in., 2009].

Elementami (podzespołami) odpowiedzialnymi za jakość powietrza nawiewanego i wyciągowego z pomieszczeń, zarówno w systemach wentylacji ogólnej, jak i urządzeniach wentylacji miejscowej są układy (sekcje) oczyszczające (jedno- lub wielostopniowe) wyposażone w odpowiednie filtry powietrza.

Filtry wstępne (klasy G1-G4) zazwyczaj są stosowane w systemach wentylacji powietrza (np. sale koncertowe, hotele, restauracje itp.). Filtry wstępne można regenerować poprzez trzepanie lub pranie w standardowych środkach piorących.

Filtry dokładne (klasy F5-F9) są stosowane jako ostatni stopień filtracji w systemach wentylacji i klimatyzacji pomieszczeń o wysokich standardach czystości powietrza (przemysł spożywczy, szpitale, laboratoria itp.).

Filtry wysokoskuteczne typu HEPA (klasy H10-H14) i ULPA (klasy U15-U17) są stosowane jako ostatni stopień filtracji w systemach wentylacji i klimatyzacji pomieszczeń czystych o klasach czystości wyższych niż ISO (np. sterylne sale operacyjne, produkcja leków i surowic, siłownie jądrowe, laboratoria mikrobiologiczne itp.). Filtry wyższych klas są zawsze filtrami jednokrotnego użytku [Małecki Z. i in., 2010].

Niezależnie od zastosowania środków ochrony zbiorowej przed zapyleniem, a mianowicie systemów wentylacji (klimatyzacji) mechanicznej ogólnej i miejscowej, oraz układów odpylających, jest niemożliwe w pełni zapewnienie wymaganej czystości powietrza w pomieszczeniu pracy. Dlatego też należy wykonać dobór środków ochrony indywidualnej, odpowiedniej do rodzaju występujących w środowisku pracy pyłów (półmaski jednokrotnego użytku, półmaski z wymiennymi filtrami i pochłaniaczami, maski z wymiennymi filtrami i pochłaniaczami, hełmy i kaptury ochronne, maski tlenowe).

Przed przystąpieniem do projektowania instalacji odpylającej należy określić z jakimi procesami technologicznymi mamy do czynienia. Należy również pamiętać, że przy dużym wydzielaniu się pyłu w pomieszczeniu produkcyjnym zwiększenie ogólnej wymiany powietrza nie poprawi sytuacji. Przy nieuzasadnionym zwiększeniu krotności wymian powietrza w pomieszczeniu, rośnie stężenie pyłu w pomieszczeniu, ponieważ wzrasta prędkość strumienia powietrza, co wpływa niekorzystnie na opadanie pyłów.

Najważniejszym elementem instalacji odpylającej umożliwiającym „ujęcie” pyłu jest ssawka, decydująca o efekcie zmniejszenia zapylenia. Zadaniem ssawki jest maksymalne ograniczenie źródła pylenia oraz wytworzenie takiego układu ruchu powietrza pod względem prędkości i kierunku, który umożliwiłby pobranie całej masy wydzielającego się pyłu i wprowadzenie go do przewodów instalacji odpylającej bez „zakłócenia” procesu technologicznego.

W przypadku bardzo różnorodnych warunków wydzielania się pyłu, należy indywidualnie przeanalizować zapylenie na każdym stanowisku pracy, w celu przynajmniej przybliżonego określenia rozmiarów źródła pylenia.

W celu uzyskania obrazu tzw. „widma zapylenia” należy rzeczywiste rozkłady prędkości pyłów uzyskiwane drogą eksperymentalną nanieść na układ współrzędnych.

Do urządzeń odpylających zaliczamy: komory osadcze (zwane również komorami kurzowymi), filtry siatkowe (metalowe lub z materiałów syntetycznych), cyklony (pracują na zasadzie działania siły odśrodkowej), tkaniny filtracyjne, włókniny filtracyjne, odpylacze tkaninowe, nadciśnieniowe i piankowe (czynnikiem filtrującym jest pianka wodna), filtry elektrostatyczne itp. [Babiński A. i in., 1974].

W pomieszczeniach produkcyjnych przemysłu spożywczego gdzie występuje: duże zapylenie oraz wymagane są wysokie standardy mikrobiologiczne należy dokładnie rozpoznać skład chemiczny i strukturę pyłów pod kątem zastosowania środków ochrony zbiorowej (wentylacji mechanicznej ogólnej). W przypadku „zawracania” powietrza wentylowanego (częściowa recyrkulacja) zanieczyszczonego pyłami o zróżnicowanym składzie chemicznym (różne półprodukty) w następstwie połączenia się z zamglonym powietrzem (punkt rosy – wykres Moliera), istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia reakcji chemicznej. Skutkiem tej reakcji chemicznej, może być nowy składnik, charakteryzujący się niekorzystnym wpływem na organizm ludzki oraz z dużą dozą prawdopodobieństwa negatywnie oddziaływujący na produkt (skażenie chemiczne).

PODSUMOWANIE

Skutki narażenia na pyły mogą mieć charakter:

- miejscowy – uczuleniowe i podrażnieniowe odczyny na skórze i błonach śluzowatych jamy ustnej, nosa oraz oczu,
- ogólny – widoczne w układzie oddechowym (pylice, powikłanie pochorobowe np. niewydolność oddechowa, nowotwory głównie układu oddechowego).

W pomieszczeniach produkcyjnych, gdzie to jest możliwe, zmierzać do hermetyzacji procesów produkcyjnych wraz z zastosowaniem odpowiedniego systemu lub urządzeń filtracyjno – wentylacyjnych odpowiednich do rodzaju i stężenia pyłu.

Ograniczenie (eliminacja) zanieczyszczeń pyłami środowiska pracy realizowane jest przede wszystkim przez zastosowanie odpowiednich środków ochrony zbiorowej (wentylacja mechaniczna: ogólna, miejscowa oraz instalacja odpylająca).

W pomieszczeniach w których występuje znaczny stopień zanieczyszczenia: pyłami, parami oraz zjonizowanym powietrzem i zapachami pochodzącymi z procesów technologicznych wymagany jest 100% udział powietrza zewnętrznego (świeżego).

LITERATURA

1. Babiński A., Komsta Wł., Lorens M. „Wentylacja, klimatyzacja i odpylanie w przemyśle lekkim”, Wydanie II przerobione, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1974

2. Hämeri K., Lähde T., Niemel R., Krohonen P. „Fine aerosols indoors and outdoors in downtown Helsinki”, *The Journal of Aerosol Science* 2 (2003). 1359-1360
3. Jankowska E., Prośniak M. „Występowanie pyłów w powietrzu otaczającym człowieka”. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Bezpieczeństwo Pracy 5/2006
4. Jankowska E., Więcej E. „Bezpieczeństwo Pracy i Ergonomia”, Red. Nauk. Koradecka D.; T.1; CIOP; Warszawa 1999
5. Małecki Z., Małecka I. „Poprawa stanu mikrobiologicznego powietrza w przemyśle spożywczym”, *Zeszyt Naukowy nr 2, Inżynieria Lądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska. Ośrodek Badawczo – Rozwojowy Inżynierii Lądowej i Wodnej „Euroexbud”, Kalisz 2010*
6. Małecki Z.J., Moga M. „Poprawa warunków ergonomicznych powietrza w przemyśle spożywczym”, *Zeszyt Naukowy nr 1, Inżynierii Lądowej i Wodnej „Euroexbud”, Kalisz 2009*
7. PN-EN 481:1998: Atmosfera miejsca pracy. Określenie składu ziarnowego dla pomiaru cząstek zawieszonych w powietrzu.
8. PN-ISO 4225: 1999: Jakość powietrza. Zagadnienia ogólne. Terminologia.
9. 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 (Dz. U. nr 217, poza. 1833, zm. Dz.U. z 2005 r., nr 212, poz. 1769)

ENGINEERING MEANS OF COLLECTIVE SAFETY TO REDUCE DUSTINESS EFFECTS

Summary

Dust is present in many working environments and even at low concentration it may be harmful to the human body. Various kinds of dust particles, which hover in the air, form as a result of natural and artificial (technological) processes. When evaluating dust harmfulness, the most hazardous is a respirable fraction which plays the most important role in dust pathogenesis which reaches pulmonary alveoli. Rooms with a significant degree of contamination of dust, vapour and ionized air and odours coming from technological processes require 100% external (fresh) air.

Key words: dust, working environment, fraction, engineering prevention, ventilation, dust extracting system, dustiness spectrum.

TECHNISCHE MITTEL DES SAMMELSCHUTZES ZUR BEGRENZUNG DER VERSTÄUBUNGSGOLGEN

Zusammenfassung

Verschiedene Staubarten treten in vielen Arbeitsumgebungen auf und können sogar bei niedrigen Konzentrationswerten einen schädlichen Einfluss auf den Menschenorganismus haben. In der Luft schweben unterschiedliche Staubpartikel, die sowohl infolge der natürlichen als auch künstlichen (technologischen) Prozesse entstehen.

Bei der Beurteilung der Staubschädlichkeit muss man feststellen, dass die schädlichste die respirable Fraktion ausmacht. Sie spielt die größte Rolle in der Staubpathogenese, die in Lungenbläschen gelangt. In den Räumen mit hoher Staub- und Dampfkonzentration sowie ionisierter Luft und technologischen Gerüchen erfordert man hundertprozentigen Anteil der (frischen) Außenluft.

Schlüsselworte: Staub, Arbeitsumgebung, Fraktion, technische Prophylaxe, Lüftung, Entstaubung, Staubspektrum.