

Małgorzata Kupczewska-Dobecka,
Sławomir Czerczak, Katarzyna Konieczko

WEŁNA MINERALNA

**Zagrożenia dla użytkowników, stan prawny
i zasady bezpiecznego postępowania**



INSTYTUT MEDYCYNY PRACY IM. PROF. J. NOFERA



Małgorzata Kupczewska-Dobecka
Sławomir Czerczak
Katarzyna Konieczko

WEŁNA MINERALNA

Zagrożenia dla użytkowników, stan prawny
i zasady bezpiecznego postępowania



INSTYTUT MEDYCyny PRACY IM. PROF. J. NOFERA



Recenzja merytoryczna: *prof. dr hab. Andrzej Sapota*

Redakcja naukowa: *prof. dr hab. Sławomir Czerczak*

Autorzy: *mgr inż. Małgorzata Kupczewska-Dobecka,*
prof. dr hab. Sławomir Czerczak,
mgr inż. Katarzyna Konieczko

Redakcja językowa i korekta: *mgr Monika Lipińska-Pawełek*

Layout, projekt okładki i skład: *Małgorzata Niełaczną*

Publikacja jest rozpowszechniana na zasadach licencji Creative Commons
Uznanie autorstwa – Użycie niekomercyjne 4.0 Międzynarodowa Licencja
Publiczna (CC BY-NC)



Cytowanie: Kupczewska-Dobecka M., Czerczak S., Konieczko K. (2019).
Wełna mineralna. Zagrożenia dla użytkowników, stan prawny i zasady
bezpiecznego postępowania. Łódź: Instytut Medycyny Pracy im. prof. dra
med. J. Nofera w Łodzi

ISBN 978-83-63253-16-5

Copyright by Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr med. J. Nofera,
Łódź 2019

Wydawca:

Instytut Medycyny Pracy im. prof. dra med. J. Nofera w Łodzi
ul. św. Teresy od Dzieciątka Jezus 8, 91-348 Łódź

Wydanie I

Druk i oprawa: Drukarnia READ ME w Łodzi

SPIS TREŚCI

CZĘŚĆ I

IDENTYFIKACJA, ANALIZA I OCENA ZAGROZEŃ DLA ZDROWIA WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA WEŁNĘ MINERALNĄ ORAZ OCENA RYZYKA ZWIĄZANEGO Z TYMI ZAGROŻENIAMI

IDENTYFIKACJA, ANALIZA I OCENA ZAGROZEŃ DLA ZDROWIA WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA WEŁNĘ MINERALNĄ ORAZ OCENA RYZYKA ZWIĄZANEGO Z TYMI ZAGROŻENIAMI	7
DEFINICJA I RODZAJE WEŁNY MINERALNEJ	9
WPLYW WEŁNY MINERALNEJ NA ZDROWIE CZŁOWIEKA	13
DROGI NARAŻENIA NA WŁÓKNA MINERALNE I PYŁY TOWARZYSZĄCE NARAŻENIU	17
ZAGROŻENIA DLA ZDROWIA WYNIKAJĄCE Z NARAŻENIA ZAWODOWEGO NA WEŁNĘ MINERALNĄ Z UWZGLĘDNIENIEM PYŁÓW, WŁÓKIEN RESPIRABILNYCH I DODATKÓW	22
OCENA ZAGROZEŃ WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA WŁÓKNA MINERALNE WYSTĘPUJĄCE W POWIETRZU NA STANOWISKACH PRACY .	22
Działanie drażniące na skórę, oczy i drogi oddechowe oraz działanie uczulające na skórę	22
Działanie na układ sercowo-naczyniowy	23
Działanie na układ pokarmowy	24
Działanie nefrotoksyczne	25
Nienowotworowe działanie na układ oddechowy	25
Zwłóknienie opłucnej	26
Zmiany funkcjonalne w płucach i ich objawy	27
Działanie na rozrodczość	28
Działanie genotoksyczne	28
Działanie rakotwórcze włókien mineralnych	31
Badania kliniczno-kontrolne	33
Badania kohortowe	35
Podsumowanie wyników badań kohortowych i kliniczno kontrolnych	37
Wełna szklana	38
Wełna skalna i żuźłowa	38
Sztuczne włókna mineralne bez rozróżnienia ich rodzaju	39

OCENA ZAGROŻEŃ WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA PYŁY TOWARZYSZĄCE WŁÓKNOM MINERALNYM WYSTĘPUJĄCYM W POWIETRZU NA STANOWISKACH PRACY	40
OCENA ZAGROŻEŃ WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA INNE CZYNNIKI TOWARZYSZĄCE WŁÓKNOM MINERALNYM WYSTĘPUJĄCYM W POWIETRZU NA STANOWISKACH PRACY	42
Formaldehyd	47
Fenol.....	49
Amoniak.....	50
Trimetyloamina	51
OCENA POTENCJALNEGO DZIAŁANIA RAKOTWÓRCZEGO WEŁNY MINERALNEJ NOWEGO TYPU W ZALEŻNOŚCI OD JEJ SKŁADU, W ŚWIETLE AKTUALNYCH BADAŃ	52
KLASYFIKACJA DZIAŁANIA RAKOTWÓRCZEGO SZTUCZNYCH WŁÓKIEN MINERALNYCH WEDŁUG MIĘDZYNARODOWEJ AGENCJI BADAŃ NAD RAKIEM	56
OCENA DZIAŁANIA RAKOTWÓRCZEGO SZTUCZNYCH WŁÓKIEN MINERALNYCH W UNII EUROPEJSKIEJ	59
OCENA ZAGROŻEŃ DLA ŚRODOWISKA.....	60
WEŁNA POPRODUKCYJNA I ODPADY Z WEŁNY	62
WEŁNA MINERALNA – SUBSTANCJA, MIESZANINA CZY WYRÓB – WYBRANE ASPEKTY PRAWNE	64
WEŁNA MINERALNA JAKO SUBSTANCJA CHEMICZNA LUB MIESZANINA – KLASYFIKACJA, KARTA CHARAKTERYSTYKI I OZNAKOWANIE WYMAGANE PRZEPISAMI DOTYCZĄCYMI CHEMIKALIÓW	66
Wełna mineralna jako substancja chemiczna.....	66
Klasyfikacja wełny mineralnej jako substancji chemicznej	67
Oznakowanie wełny mineralnej jako substancji chemicznej oraz wymóg sporządzania karty charakterystyki	71
Wełna mineralna jako mieszanina	73
Klasyfikacja wełny mineralnej jako mieszaniny	73
Oznakowanie wełny mineralnej jako mieszaniny oraz wymóg sporządzania karty charakterystyki	74
WYROBY Z WEŁNY MINERALNEJ – ASPEKTY PRAWNE, OBOWIĄZKI PRODUCENTA WYROBU W ŚWIETLE ROZPORZĄDZENIA REACH, INNE AKTY PRAWNE I ZHARMONIZOWANE NORMY WYROBÓW ..	76
WEŁNA MINERALNA A PRZEPISY DOTYCZĄCE SUBSTANCJI I MIESZANIN O DZIAŁANIU RAKOTWÓRCZYM W ŚRODOWISKU PRACY W POLSCE	80
PRZEPISY DOTYCZĄCE KLASYFIKACJI I WPROWADZANIA DO OBROTU WEŁNY MINERALNEJ W NIEMCZECH.....	80
OBOWIĄZKI PRODUCENTÓW WEŁNY MINERALNEJ W ZALEŻNOŚCI OD JEJ UZNANIA ZA SUBSTANCJĘ CHEMICZNĄ, MIESZANINĘ CHEMICZNĄ LUB WYRÓB – PODSUMOWANIE	83

CZEŚĆ II	
OCENA NARAŻENIA NA WEŁNĘ MINERALNĄ	85
NARAŻENIE POPULACJI OGÓLNEJ	87
OCENA NARAŻENIA ZAWODOWEGO NA WŁÓKNA MINERALNE NA PODSTAWIE DANYCH LITERATUROWYCH ORAZ TERENOWYCH DANYCH POMIAROWYCH Z OBSZARU POLSKI	88
WARTOŚCI ODNIESIENIA DLA WŁÓKIEN MINERALNYCH W POWIETRZU ŚRODOWISKA PRACY W POLSCE	88
WARTOŚĆ NAJWYŻSZEGO DOPUSZCZALNEGO STEŻENIA (OEL) DLA WŁÓKIEN MINERALNYCH OBOWIĄZUJĄCA W UNII EUROPEJSKIEJ.....	91
WIELKOŚĆ POZIOMÓW STEŻEŃ WŁÓKIEN W POWIETRZU ŚRODOWISKA PRACY	92
UZUPEŁNIAJĄCE BADANIA NA STANOWISKACH PRACY Z WYKORZYSTANIEM WEŁNY MINERALNEJ. ANALIZA ZANIECZYSZCZEŃ GENEROWANYCH W CZASIE PRAC Z UŻYCIEM MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH Z WŁÓKIEN MINERALNYCH – WEŁNA SZKLANA, WEŁNA SKALNA.....	101
Etap I.....	101
Ocena narażenia zawodowego w czasie prac z użyciem materiałów izolacyjnych z włókien mineralnych – wełna szklana, wełna skalna	102
Badania składu frakcyjnego.....	108
Etap II.....	112
Etap III.....	118
 CZEŚĆ III	
DZIAŁANIA PROFILAKTYCZNE	125
PODSUMOWANIE ZAGROZEŃ WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA WEŁNĘ MINERALNĄ PODCZAS MONTAŻU IZOLACJI	127
ZASADY BEZPIECZNEGO POSTĘPOWANIA PODCZAS PRACY Z WEŁNĄ MINERALNĄ.....	129
ULOTKA INFORMACYJNA	133
 PIŚMIENNICTWO	135



CZĘŚĆ I

IDENTYFIKACJA, ANALIZA I OCENA ZAGROŻEŃ DLA ZDROWIA WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA WELNĘ MINERALNĄ ORAZ OCENA RYZYKA ZWIĄZANEGO Z TYMI ZAGROŻENIAMI

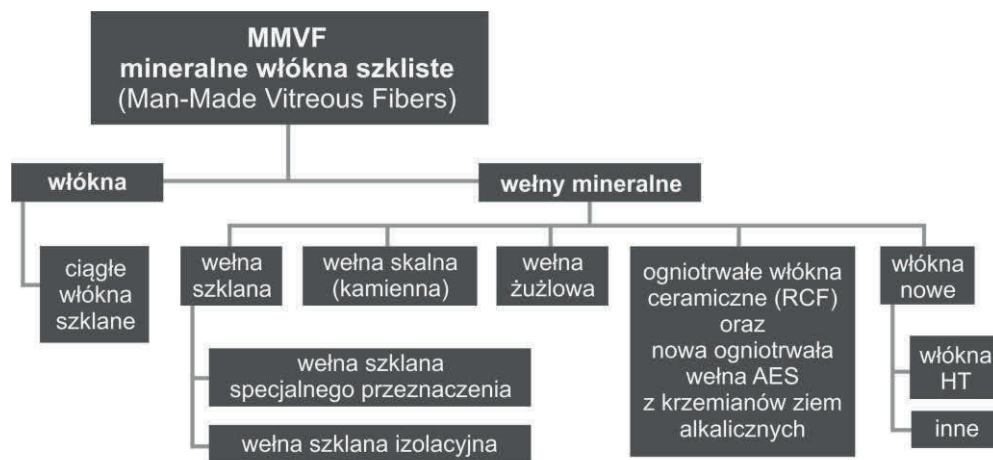


DEFINICJA I RODZAJE WEŁNY MINERALNEJ

Sztuczne włókna mineralne MMMF (ang. *Man-Made Mineral Fibers*) to zwyczajowa nazwa włóknistych substancji nieorganicznych produkowanych głównie ze skały, gliny (iłu), żużlu wielkopiecowego i szkła. Włókna te, zwane także sztucznymi bądź syntetycznymi włóknami szklistymi MMVF (ang. *Man-Made Vitreous Fibers*), podzielić można na 3 grupy:

- włókna szklane, obejmujące watę szklaną i włókna ciągłe,
- wełnę skalną (kamienną) lub żużlową, zwaną również wełną mineralną,
- włókna ceramiczne RCF (*Refractory Ceramic Fibers*), wytwarzane z naturalnego kaolinu mineralnego glinokrzemianowego lub syntetycznej mieszaniny tlenku glinu i oczyszczonego piasku plażowego – te włókna mają zastosowanie w procesach wysokotemperaturowych ze względu na szczególnie wysoką ogniotrwałość i nie są przedmiotem tego opracowania.

Na schemacie (ryc. 1) przedstawiono szczegółowy podział mineralnych włókien szklistych (Danish Ministry of the Environment, 2013).



Ryc. 1. Szczegółowy podział mineralnych włókien szklistych (Danish Ministry of the Environment, 2013)

Syntetyczne włókna szkliste istnieją na rynku od ponad 60 lat. W Polsce produkcja wyrobów izolacji termicznej z wełny mineralnej w latach 2000–2017 rosła. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego (2017) wyniosła 213 548 ton w 2000 r., 392 934 ton w 2005 r., 394 090 ton w 2010 r., 494 000 ton w 2015 r. oraz 578 935 ton w 2017 r.

Produkcja sztucznych włókien mineralnych polega na stopieniu materiałów skalnych w piecu łukowym w temperaturze 1500–1600°C. Surowce używane do produkcji wełny skalnej to bazalt, gabro, diabaz (są to skały magmowe, głębinowe i wylewne), dolomit lub kruszywo wapienne (skały osadowo-węglanowe), a także materiały pochodzące z recyklingu – brykiety mineralne. Gorąca lava (o temperaturze 1430°C) jest następnie rozbijana gorącym powietrzem i rozwłókniana. Do gotowego włókna transportowanego w postaci kobierca dodaje się emulsję olejową (środek zapobiegający pyleniu) i spoiwa. W zależności od procesu formowania włókien, są one produkowane jako wełna, która jest masą splecionych włókien nieciągłych o zmiennych długościach i średnicach, lub jako włókna ciągłe, o nieokreślonej długości i bardziej jednolitej średnicy, typowo grubsze niż włókna wełny. Włókna zlepia się żywicą i formuje w płyty, maty, otuliny lub wytwarza luźne strzępki wełniane, w zależności od ich późniejszego zastosowania. Do wyrobów twardych dodawany jest także środek impregnujący. Wprowadza się także środki hydrofobizujące, które zwiększają odporność produktu na wilgoć. Głównymi surowcami do produkcji wełny szklanej są piasek szklarski (około 50%), stłuczka szklana pochodząca z recyklingu z dodatkiem sody, skalenia, wapienia, dolomitu i boraksu (Szadkowska-Stańczyk i Stroszejn-Mrowca, 2002). Stopienie surowców następuje w niższej temperaturze w porównaniu z produkcją wełny skalnej, tj. w temperaturze 1100°C (Kowatsch, 2010).

Włókna szkliste są szeroko stosowane do izolacji cieplnej oraz akustycznej, a także, w mniejszym stopniu, do innych celów, np. jako przewodniki światła (światłowody), a także jako wzmocnienia tworzyw sztucznych. „Ciągłe włókna” składają się z cienkich pasm ciągłych, zwykle ze szkła lub glinokrzemianu. Mają typowe średnie średnice 6–15 µm (mikronów) i są szeroko stosowane do przędzenia i tkania. Z wełny kamiennej, która ma dużą wytrzymałość na ściskanie, można wykonywać izolacje cieplne, również te narażone na obciążenia i odkształcenia. Płyty lub maty z wełny kamiennej stosuje się do ocieplania ścian dwuwarstwowych, poddaszy, stropów i dachów płaskich oraz podłóg. Wełna szklana może być układana

wszędzie tam, gdzie nie będą na nią działać duże obciążenia. Sprawdza się przy izolacji poddasza, ścian trójwarstwowych czy stropu.

Wełny różnią się sposobem ułożenia włókien. W płytach i matach z wełny skalnej włókna mają układ rozproszony, natomiast w wełnie szklanej układ włókien jest równoległy do ich powierzchni (Toxicological Profile For Synthetic Vitreous Fibers, 2004; AIOH, 2016).

Projektanci, wykonawcy i inwestorzy często używają określenia wełna mineralna, które sprowadza do jednego mianownika 2 produkty – wełnę skalną (kamienną) i szklaną. Wełna mineralna składa się z warstwowej matrycy losowo ułożonych włókien i jest stosowana głównie do izolacji i ochrony. Do wełny mineralnej zalicza się wełnę szklaną, wełnę skalną, wełnę żuźlową i ogniotrwale włókna ceramiczne. Włókno wełny szklanej ma typową średnią ważoną średnicę w zakresie 3–5 μm , natomiast do tej kategorii należą również specjalne włókna szklane o średniej średnicy ważonej mniejszej niż 3 μm i bardzo często mniejszej niż 1 μm . Włókno wełny skalnej i żuźlowej ma typową średnicę w zakresie 2–7 μm (AIOH, 2016).

W wełnach mineralnych spoiwem jest lepiszczce termotopliwe, głównie żywice fenolowo-formaldehdowe (tradycyjna wełna, w kolorze żółtym), żywice na bazie poliakrylu (biała wełna szklana), biożywice na bazie skrobi roślinnej (brązowa wełna). W ostatnich latach stosuje się alternatywne lepiszczca, takie jak żywice melaminowe i akrylowe. W przypadku wełny izolacyjnej szklanej i kamiennej te spoiwa mogą stanowić do 5–10% masy produktu końcowego (Danish Ministry of the Environment, 2013). Według producentów wełny z Polski, skupionych w Stowarzyszeniu Producentów Wełny Mineralnej Szklanej i Skalnej MIWO (2018), wyroby z wełny mineralnej składają się zasadniczo z 90–100% (wagowo) wełny mineralnej szklanej lub skalnej i 0–10% lepiszczca. Wełna mineralna szklana Climowool zawiera termoutwardzalny, obojętny polimer, którego podstawą są utwardzone żywice fenolowo-formaldehdowe w stężeniu 0–13% (Climowool, 2016). Wełna mineralna skalna Knauf Insulation i wełna mineralna szklana Saint-Gobain Construction Product zawierają to samo lepiszczce w stężeniu do 10% (Saint-Gobain, 2010; 2016; Knauf Insulation, 2019). Superglass Insulation (2013) jako środek wiążący stosuje termoutwardzalną żywicę mocznikowo-fenolowo-formaldehdową w stężeniu do 6%.

Można stwierdzić, że sztuczne włókna mineralne bez spoiwa, których toksyczność poddaje się często badaniom, nie odzwierciedlają komercyjnego produktu MMVF, dla którego należy zapewnić

bezpieczeństwo użytkowania. Wełna mineralna może zawierać również inne substancje dodawane podczas przetwarzania w celu ograniczenia powstawania pyłu z produktu, jak np. oleje i smary, które mogą mieć znaczenie dla oceny toksyczności produktu (Danish Ministry of the Environment, 2013).

WPLYW WEŁNY MINERALNEJ NA ZDROWIE CZŁOWIEKA

Sztuczne włókna mineralne nie wykazują ostrego działania toksycznego. Grube włókna mineralne mogą wywierać niekorzystny wpływ na zdrowie, jeśli mają bezpośredni kontakt ze skórą i błonami śluzowymi, ponieważ działają drażniąco na skórę i oczy oraz drogi oddechowe. Zagrożenie dla zdrowia człowieka stanowią respirabilne włókna mineralne, o średnicy mniejszej od 3 μm i długości powyżej 5 μm , uwalniane do środowiska podczas produkcji, stosowania, prac monterskich i usuwania izolacji. Uwolnione włókna respirabilne unoszą się w powietrzu i ze względu na swoje niewielkie rozmiary mogą przenikać do obszaru wymiany gazowej. Do głównych zagrożeń zawodowych stwarzanych przez mineralne włókna respirabilne zalicza się ich działanie mechaniczne, manifestujące się podrażnieniem skóry i błony śluzowej, charakterystyczne dla ciała obcego, oraz odległe skutki narażenia, charakteryzujące się zmianami patologicznymi w układzie oddechowym, będące skutkiem obecności włókien. Nienowotworowe działanie włókien mineralnych na układ oddechowy polega głównie na wywoływaniu stanów zapalnych, zwłóknień i zaburzeń funkcjonalnych układu oddechowego. Potencjalne działanie rakotwórcze, którego dowody są wciąż niepewne, a jego ocena przedstawia szereg trudności, opiera się głównie na podobieństwie właściwości fizycznych włókien mineralnych do właściwości włókien azbestu. Zakaz przerobu i stosowania azbestu wprowadzony przed kilkunastu laty w większości krajów, w tym także w Polsce, spowodował rosnące i powszechne obecnie stosowanie, zwłaszcza w budownictwie, sztucznych włókien mineralnych jako materiałów azbestozastępczych. W tej sytuacji podejmowano badania, które dostarczyłyby wiarygodnych dowodów na to, że są to materiały bezpieczne dla zdrowia pracowników narażonych na włókna. Większość dostępnych danych dotyczących skutków zdrowotnych narażenia na wełnę mineralną pochodzi z badań kliniczno-kontrolnych i kohortowych oraz dotyczy głównie układu oddechowego. **W badaniach ukierunkowanych na ocenę działania rakotwórczego włókien wełny**

mineralnej tyle samo argumentów wskazywało na podwyższone ryzyko nowotworów układu oddechowego, co tego nie potwierdziło.

Dane epidemiologiczne są najszerzej opisane dla 2 dużych grup robotników produkujących MMVF w USA i Europie. Badania te skupiły się na wyznaczeniu standaryzowanych współczynników umieralności, szczególnie w przypadku raka płuca i niezłośliwych chorób układu oddechowego. W kohorcie amerykańskiej przeprowadzono także badanie przekrojowe z oceną stanu dróg oddechowych. Pomimo pozornie dużej bazy danych toksykologicznych dotyczących włókien, ocena ryzyka niekorzystnych skutków zdrowotnych MMVF przedstawia szereg trudności. W badaniach występuje ekspozycja na kilka rodzajów MMVF i nie zawsze jest jasne, na jakie włókna narażeni byli pracownicy. Pomiar ekspozycji są wykonywane w strefie oddychania pracownika lub stacjonarnie. W przypadku niektórych badań pomiary ekspozycji zostały połączone z ekspozycją przeszłą i indywidualną historią pracy. W kohorcie europejskiej występowało okazjonalne narażenie na włókna azbestu związane z jego incydentalnym przetwarzaniem. Obserwacje te zostały wyłączone z badania, ale wiadomo, że narażenie na działanie azbestu mogło mieć miejsce we wszystkich fabrykach, w których przeprowadzano ocenę ryzyka. Palenie tytoniu jest kolejnym czynnikiem zakłócającym wyniki, którego rola i ewentualne interakcje z włóknami są brane pod uwagę.

Dane epidemiologiczne pochodzą z badań pracowników zatrudnionych głównie przy produkcji wełny mineralnej. **Największe obawy dotyczą oceny ryzyka raka płuca dla pracowników w branży budowlanej, którzy używają lub usuwają produkty z wełny skalnej i żuźlowej i mogą być narażeni na wysokie stężenia włókien w krótkich odstępach czasu. W przypadku tej populacji dostępne do oceny ryzyka dane są bardzo ograniczone.**

Źródłem niepewności towarzyszącej ocenie działania rakotwórczego włókien wełny mineralnej były także wyniki badań na zwierzętach eksperymentalnych. W kilku badaniach obserwowano znaczny wzrost częstości występowania międzybłoniaka opłucnej, ale nie w wyniku narażenia inhalacyjnego, a po wstrzyknięciu do jamy otrzewnej wełny skalnej lub szklanej w dużych dawkach, tj. około 10^9 włókien.

Włóknom mineralnym występującym w powietrzu na stanowiskach pracy towarzyszy zwykle powstawanie dużej ilości pyłu. Do najbardziej pyłotwórczych procesów technicznych należą: mielenie, kruszenie, przesiewanie, transport, mieszanie oraz obróbka, tj. cięcie, szlifowanie, polerowanie. Wnikanie pyłu do dróg oddechowych i osadzanie się w różnych

odcinkach układu oddechowego jest zależne od rozmiaru cząstek. Najbardziej szkodliwe są najmniejsze cząstki pyłu o średnicy poniżej 7 μm , które przenikają do obszaru wymiany gazowej i w konsekwencji prowadzą do rozwoju pylicy płuc, wielu nowotworów oraz zapalenia pęcherzyków płucnych.

Na rynku dominują wełny mineralne ze spoiwami. Spoiwa i zawarte w nich dodatki pozwalają na uzyskanie odpowiednich właściwości użytkowych wełny (wytrzymałość mechaniczna, małe przewodnictwo cieplne, ognioodporność, itd.). Spoiwa są wodnymi mieszaninami o złożonym składzie – podstawowym składnikiem spoiwa jest reaktywna kompozycja termoutwardzalna. Najbardziej popularne są spoiwa na bazie żywicy fenolowo-formaldehidowej. Dane literaturowe wskazują na możliwość emisji wielu lotnych związków organicznych (LZO) pochodzących ze spoiw w miejscach produkcji wełny mineralnej. Chociaż rodzaj emitowanych LZO zależy od zastosowanej żywicy, a także od innych surowców użytych do produkcji spoiwa, w tym katalizatorów, wśród emitowanych LZO najczęściej wymienia się fenol, hydroksymetylofenol, formaldehyd oraz amoniak i trimetyloaminę. W gotowej wełnie mineralnej zawartość składników lotnych jest minimalna, ale producenci zwracają uwagę na możliwość uwolnienia i rozkładu termicznego substancji tworzących spoiwo wełny mineralnej podczas ekspozycji wełny na podwyższoną temperaturę – uwolnione substancje w wysokich stężeniach mogą podrażnić oczy i układ oddechowy (ICANZ Insulation Council of Australia and New Zealand, 2009; Kowatsch, 2010; Knauf Insulation, 2019).

W technologii MMVF wciąż poszukuje się nowych rozwiązań, których celem jest stworzenie i praktyczne wykorzystanie materiałów o mniejszej toksyczności, mających lepsze parametry tzw. włókien mineralnych nowego typu. Producenci materiałów izolacyjnych na bazie sztucznych włókien mineralnych opracowali nowe techniki i systemy produkcji włókien, np. włókna HT o dużej zawartości tlenku glinu i małej zawartości krzemionki czy ogniotrwała wełna AES, tj. wełna z krzemianów metali ziem alkalicznych. Nie przypisano numerów identyfikacyjnych CAS (ang. *Chemical Abstract Service*) starszym rodzajom wełny mineralnej. Włókno HT ma nr CAS 287922-11-0. Grupa ta, określana synonimicznie jako „wysokoglinowa wełna o niskiej zawartości krzemionki” lub „wełna kamienna HT” lub „biorozpuszczalna (*ulegająca biodegradacji*) wełna kamienna”, jest definiowana poprzez zawartość dominujących tlenków metali, zawiera krzemionkę w przedziale stężeń 33–43% oraz tlenek glinu w przedziale 18–24%. Dla porównania, grupa MMVF z wełny mineralnej

sprzed 1995 r. charakteryzuje się znacznie wyższą zawartością SiO_2 równą 43–50%, a niższą zawartością Al_2O_3 wynoszącą 6–15% (IARC, 2002). Włókna HT z wełny kamiennej należą do grupy sztucznych włókien mineralnych spełniających europejskie wymogi umożliwiające nieklasyfikowanie ich pod kątem działania rakotwórczego.

W świetle poszukiwanych rozwiązań systemów produkcji obecnie w piśmiennictwie dokonuje się podziału na włókna starszego typu – opracowane i stosowane przed początkiem lat 90. – i włókna opracowane i wykorzystywane komercyjnie od początku lat 90. XX wieku o mniejszej trwałości biologicznej.

DROGI NARAŻENIA NA WŁÓKNA MINERALNE I PYŁY TOWARZYSZĄCE NARAŻENIU

Sztuczne włókna mineralne (MMMF) są wchłaniane do organizmu głównie przez drogi oddechowe. Nie rozpuszczają się one w wodzie i praktycznie nie ulegają absorpcji przez skórę, chociaż niektóre źródła sugerują, że nieznaczna absorpcja dermalna jest możliwa, a im mniejsza średnica włókna, tym większa jego penetracja. Eksperci WHO (2004) ocenili, że tylko włókna o średnicy do 4,5 μm mogą ulegać wchłanianiu przez skórę. Chropowate włókna mogą oddziaływać na skórę, górne drogi oddechowe (błonę śluzową) i oczy, wywołując tymczasowe, samoistnie zanikające objawy (np. swędzenie). Podrażnienie skóry w wyniku kontaktu z włóknem szklanym jest spowodowane mechanicznym działaniem włókna. Najprawdopodobniej mediatorem efektu drażniącego jest uwalnianie histaminy lub kininy w wyniku uszkodzenia naskórka przez włókna szklane, co powoduje świąd i ból. Sugeruje się, że działanie drażniące jest wprost proporcjonalne do średnicy włókna i odwrotnie proporcjonalne do jego długości. Oceniono, że włókna o średnicy większej niż 5,3 μm wykazują działanie drażniące na skórę (Jolanki i wsp., 2002; Toxicological Profile For Synthetic Vitreous Fibers, 2004; Toxnet, 2018).

Toksyczność inhalacyjna (wziewna) włókien jest określana zwykle przez 3 czynniki (Miller i wsp., 1999; Oberdörster, 2000; Donaldson i Lang Tran, 2004; Donaldson i Seaton, 2012; AIOH, 2016; Górny i Gołofit-Szymczak, 2016; Wohlleben i wsp., 2017):

- dawka włókien (skumulowana ekspozycja na włókna respirabilne),
- wymiar włókien (współczynnik kształtu, średnica i długość włókna),
- trwałość włókien (czas przebywania w płucach – biotrwałość lub biorozpuszczalność).

Przez biorozpuszczalność rozumie się półokres rozpuszczania włókien w płynach ustrojowych i w tkance płucnej (Krajewski i Tarkowski, 2002). Biorozpuszczalność mówi o tym, jak szybko wdychane włókna

materiałów izolacyjnych są usuwane przez różne mechanizmy obronne płuc.

Przemieszczanie i gromadzenie włókien w drogach oddechowych jest determinowane ich aerodynamicznym zachowaniem. Włókna są odkładane w drogach oddechowych za pomocą 5 różnych mechanizmów: sedymentacji, wklinowania (ang. *impaction*), przechwycenia (ang. *interception*), elektrostatycznego strącania (ang. *electrostatic precipitation*) i dyfuzji. Rozmiar włókien, ich skład chemiczny oraz zdeponowana w płucach dawka definiuje ich kinetykę retencji. Los włókien w układzie oddechowym zależy, zarówno od miejsca deponowania, jak i od ich cech charakterystycznych. Zasadniczy mechanizm klirensu włókien obejmuje transport śluzowo-rzęskowy w obszarze nosogardła i oskrzelowo-tchawiczym. Szybkość przemieszczania się włókien zależy bardziej od ich średnicy niż długości. Włókno o średnicy mniejszej niż 3,5 μm może uniknąć odkładania w tym obszarze i penetrować głębiej do pęcherzyków płucnych, gdzie ulega fagocytozie przez makrofagi pęcherzyków płucnych. Jednocześnie w drogach oddechowych ma miejsce rozpuszczanie i wymywanie oraz agregacja i zrywanie się włókien (Krajewski i Tarkowski, 2002; Toxicological Profile For Synthetic Vitreous Fibers 2004; Danish Ministry of the Environment, 2013; AIOH, 2016).

Biodostępność włókna jest definiowana jako całość procesów fizycznych i chemicznych, prowadzących do klirensu włókien z dróg oddechowych *in vivo*. Biodostępność włókien gromadzonych w drogach oddechowych wynika z połączenia fizjologicznych procesów klirensu (mechaniczna translokacja/usuwanie) i procesów fizykochemicznych: rozpuszczania chemicznego i wymywania, które zależą od składu włókna, pH otaczającego środowiska oraz mechanicznego przzerwania włókna, które może prowadzić do przejściowego wzrostu liczby włókien w płucach (Christensen i wsp., 1994; Hesterberg i wsp., 1996; Knudsen i wsp., 1996; HVBG, 1998; Guldborg i wsp., 1998; 2002; Kamstrup i wsp., 2001; 2002). Ponadto biodostępność zależy od tego, w jakim stopniu włókna są fagocytowane przez makrofagi (Luoto i wsp., 1995; 1998). Badania na szczurach wykazały, że wyłącznie włókna o długości do 10 μm mogą być wydajnie fagocytowane przez makrofagi, podczas gdy fagocytoza włókien o długości większej niż 20 μm może prowadzić do tzw. „sfrustrowanej fagocytozy” lub fagocytozy odwrotnej. Zachodzi ona wtedy, gdy obiekt jest za duży do strawienia i polega na wylaniu przez komórkę enzymów i strawienia substancji poza nią (Oberdörster, 1991; Oberdörster i Lehnert, 1991; Tran i wsp., 1996). Badania wykazały, że włókna mineralne o wysokiej

zawartości Al_2O_3 są bardziej biorozpuszczalne niż te o wysokiej zawartości SiO_2 (Kamstrup i wsp., 2001; 2002; Guldborg i wsp., 2002). Określono, że „maksymalny limit” wynoszący 43% SiO_2 i „minimalny limit” wynoszący 18% Al_2O_3 oraz 23% sumy $\text{CaO}+\text{MgO}$ powinien zagwarantować, że włókna są biorozpuszczalne (Guldborg i wsp., 2002).

Wdychanie MMMF może prowadzić zatem, zarówno do procesów zapalnych, jak i zwłókniających. Może też powodować ekspresję genów kontrolujących proliferację komórek i obronę antyoksydacyjną w sposób zależny od dawki. Procesy te są związane z aktywacją makrofagów pęcherzykowych, limfocytów komórek wielojądrzastych, komórek tucznych i fibroblastów oraz uwolnieniem szeregu mediatorów komórkowych, np. cytokiny (TNF α) – czynnika martwicy nowotworów, interleukiny-1 α (IL-1 α), interleukiny-6 (IL-6) i zasadowego czynnika wzrostu fibroblastów (bFGF). Zmiana ekspresji protoonkogenów w onkogeny może bezpośrednio aktywować transformację nowotworową komórki. Uszkodzenie komórek nabłonka pęcherzyków płucnych wynika z rozrostu i przerostu tkanki lub sporadycznie jest spowodowane transformacją nowotworową w wyniku powstawania nowotworu. Aktywowane przez włókna makrofagi i inne komórki zapalne generują reaktywne formy tlenu (RFT), np. tlen singletowy ($^1\text{O}_2$), nadtlenek wodoru (H_2O_2), rodnik hydroksylowy, nadtlenoazotany(III), jony nitroniowe. RFT mogą również pochodzić z reakcji redoks zachodzących na powierzchni włókien. Powstanie reaktywnych form tlenu prowadzi do uszkodzenia struktur komórkowych, tzw. stresu oksydacyjnego. Procesy te, jako zasadniczy mechanizm działania rakotwórczego włókien, są rozważane jako procesy o działaniu progowym. Komórki bronią się przed stresem oksydacyjnym, zwiększając ekspresję enzymów takich jak katalazy i dysmutazy ponadtlenkowe. Niskocząsteczkowe przeciwutleniacze, takie jak kwas askorbinowy, kwas moczowy, glutation, również pełnią rolę ochronną przed stresem oksydacyjnym, jednak nie są wystarczające do obrony. W związku z tym płuca mogą „poradzić sobie” wyłącznie z określoną liczbą włókien. Jest to poziom, przy którym nie wykrywa się molekularnego lub patogennego działania włókien w badaniach epidemiologicznych i eksperymentalnych. Najwyższe stężenie, dla którego nie obserwuje się żadnego działania niepożądanego (podczas gdy wyższe stężenia powodują takie działania) – NOAEL (ang. *No Observed Adverse Effect Level*), wyznaczone w prawidłowo przeprowadzonych, przewlekłych badaniach inhalacyjnych na szczurach, wynosi 25–30 włókien/ cm^3 (McConnell i wsp., 1994; SCOEL, 2012).

Skutki zdrowotne wdychania cząstek pyłu są związane z ich właściwościami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi. Właściwości te determinują los cząstek w układzie oddechowym i ich interakcję z komórkami i tkankami w miejscu ich depozycji w drogach oddechowych. W układzie oddechowym można wyróżnić kilka obszarów czynnościowych różniących się istotnie budową, rozmiarem oraz mechanizmami depozycji i eliminacji cząstek. Obszar tchawiczo-oskrzelowy i obszar wymiany gazowej są zlokalizowane w obrębie klatki piersiowej. Depozycja pyłów w każdym z obszarów dróg oddechowych zależy od rozmiaru aerodynamicznego lub termodynamicznego cząstek, rozmiaru dróg oddechowych i od charakterystyki oddychania (prędkości przepływu powietrza, częstości oddychania i sposobu oddychania) (Więcek, 2011). Obecnie pyły dzieli się na następujące kategorie:

- frakcja wdychalna – wnikaćca przez nos i usta, która po zdeponowaniu w drogach oddechowych stwarza zagrożenie dla zdrowia,
- frakcja respirabilna – wnikaćca do dróg oddechowych, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze wymiany gazowej,
- frakcja torakalna – wnikaćca do dróg oddechowych w obrębie klatki piersiowej, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze tchawiczo-oskrzelowym i obszarze wymiany gazowej.

Nanocząstki o rozmiarach 1–100 nm stanowią nowy stan skupienia materii, tzw. nanofazę.

Obok tych definicji funkcjonuje określenie „pył całkowity”, obejmujący zbiór wszystkich cząstek otoczonych powietrzem w określonej objętości powietrza.

Stosowany jest również inny podział pyłów ze względu na rozmiar cząstek, ale odnosi się on głównie do cząstek stałych i kropeł cieczy obecnych w atmosferze:

- całkowity pył zawieszony TSP (ang. *Total Suspended Particles*),
- pył PM₁₀ – pył o średnicy cząstek mniejszej niż 10 μm,
- pył PM_{2,5–10} – pył o średnicy cząstek 2,5–10 μm,
- pył drobny PM_{2,5} – pył o średnicy cząstek mniejszej niż 2,5 μm,
- pył submikronowy PM₁ – średnica cząstek mniejsza niż 1,0 μm,
- pył ultradrobny PM_{0,1} – średnica cząstek mniejsza niż 0,1 μm (100 nm).

Cząstki mniejsze od 2,5 μm są nazywane pyłami drobnymi (ang. *fine*), większe od 2,5 μm pyłami grubymi (ang. *coarse*). Cząstki PM_{2,5–10} oraz większe powstają w sposób mechaniczny, w wyniku ścierania i kruszenia materiałów. Ze względu na duże prędkości opadania są łatwo usuwane

z atmosfery – ich czas przebywania w powietrzu jest krótki, od minut do dni. Mogą być przenoszone na znaczne odległości nawet setek kilometrów. Cząstki PM_{2,5-10} przenikają do odcinka tchawicowo-oskrzelowego, natomiast większe cząstki są zatrzymywane już w jamie nosowo-gardłowej.

Cząstki drobne PM_{2,5} i mniejsze mają małą masę i bardzo szybko łączą się w większe cząstki. Ich czas przebywania w atmosferze jest znacznie krótszy – od minut do godzin i mogą być transportowane na dziesiątki kilometrów. Najmniejsze cząstki wnikają do pęcherzyków płucnych, a nawet do tkanki śródmiąższowej płuc, skąd z krwią mogą przedostawać się do innych narządów.

ZAGROŻENIA DLA ZDROWIA WYNIKAJĄCE Z NARAŻENIA ZAWODOWEGO NA WELNĘ MINERALNĄ Z UWZGLĘDNIENIEM PYŁÓW, WŁÓKIEN RESPIRABILNYCH I DODATKÓW

OCENA ZAGROŻEŃ WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA WŁÓKNA MINERALNE WYSTĘPUJĄCE W POWIETRZU NA STANOWISKACH PRACY

Działanie drażniące na skórę, oczy i drogi oddechowe oraz działanie uczulające na skórę

Grube włókna wełny mineralnej mogą wywoływać swędzenie skóry. Świąd i ewentualne stany zapalne są reakcjami na drażnienie mechaniczne przez włókna, których średnica przekracza 4,5–5,0 μm i które nie wywołują uszkodzeń takich jak podrażnienia chemiczne. Dolegliwości te ustępują zwykle po zakończeniu narażenia. Possick i wsp. (1970) oraz Mathias i Maibach (1982) podali, że skutkami nakłucia naskórka przez krótkie włókna szklane są swędzenie, uczucie pieczenia i ból. Objawy są wprost proporcjonalne do średnicy włókna i odwrotnie proporcjonalne do jego długości.

Wtórnymi uszkodzeniami skóry mogą być infekcje bakteryjne, będące skutkami zadrapań, i liszajowacenie, a także pokrzywka – niemniej doniesienia z przemysłu na ten temat są dość skąpe. Zapalenie skóry w następstwie podrażnienia włóknami mineralnymi może wiązać się z powikłaniami w rodzaju pokrzywki lub egzemy, czasami mylonymi z reakcją alergiczną. Reakcje alergiczne mogą natomiast wystąpić w wyniku kontaktu z żywicami stosowanymi jako lepiszcze w produkcji włókien mineralnych, stanowiących do 5–10% masy produktu końcowego. Opisano kilka przypadków alergicznego kontaktowego zapalenia skóry u pracowników narażonych na MMVF. Za pomocą okluzyjnych testów płatkowych wykazano, że alergeny stanowią żywice epoksydowe lub żywice fenolowo-formaldehydowe stosowane do wiązania włókien mineralnych (Conde-Salazar i wsp., 1985; Jolanki i wsp., 2002; WHO, 2004). W jednym

z zakładów produkcyjnych alergiczne zapalenie skóry u 54% spośród 160 pracowników przypisano działaniu żywic epoksydowych (Tarkowski i wsp., 2001). W zakładzie produkcji wełny mineralnej i materiałów izolacyjnych u 25% spośród 259 pracowników stwierdzono choroby skóry na tle alergii na składniki lepiszcza stosowane do produkcji izolacji, głównie żywice fenolowo-formaldehydowe, rezorcynol, formaldehyd, furfural (Kieć-Świerczyńska i Szymczak, 1995).

Według danych rejestru chorób zawodowych w Finlandii w latach 1990–1999 stwierdzono 63 przypadki zawodowego kontaktowego zapalenia skóry w wyniku kontaktu ze sztucznymi włóknami mineralnymi; w 53 przypadkach była to wełna skalna lub szklane włókna ciągłe, w 2 przypadkach zapalenie skóry miało podłoże alergiczne. Ryzyko wystąpienia zawodowego kontaktowego zapalenia skóry oceniono jako niewielkie. Do najbardziej narażonych grup należą izolatorzy (9,1 przypadków na 100 tys. zatrudnionych), pracownicy zatrudnieni w budownictwie (2,7 na 100 tys.) i stolarze (1,6 na 100 tys.) (Jolanki i wsp., 2002). W grupie 2 654 duńskich pracowników budowlanych stwierdzono statystycznie znamienne wzrost częstości przypadków podrażnienia skóry, oczu i układu oddechowego (Petersen i Sabroe, 1991).

Podrażnienie skóry jest dość powszechnym objawem tzw. „syndromu chorego budynku”. W literaturze znaleźć można szereg doniesień na temat objawów podrażnienia skóry u pracowników biurowych przebywających w pomieszczeniach, w których powietrze zanieczyszczone było włóknami mineralnymi z paneli sufitowych (Thestrup-Pedersen i wsp., 1990; Thriene i wsp., 1996).

Częstość występowania objawów ocznych znacznie wzrosła, a liczba drobnoustrojów nabłonka na przysiódkowej gałce ocznej oraz, w niektórych przypadkach, liczba neutrofilów płynu spojówkowego wzrosła w porównaniu z kontrolą po 4 dniach ekspozycji u 15 duńskich pracowników w zakładzie wełny mineralnej. Chociaż nie było żadnych okulistycznych różnic pomiędzy narażonymi pracownikami a grupą kontrolną, w poniedziałek rano stwierdzono nadmiar śluzu u narażonych pracowników, co sugeruje, że efekt nie był całkowicie odwracalny przez weekend (Danish Ministry of the Environment, 2013).

Działanie na układ sercowo-naczyniowy

Analiza przyczyn zgonów 2 578 mężczyzn (spośród kohorty liczącej 11 373 osób) w kohortowym badaniu europejskim wykazała statystycznie

znamienny wzrost umieralności z powodu choroby niedokrwiennej serca wśród zatrudnionych przy produkcji szklanych włókien ciągłych (51 zgonów na ogólną liczbę 172, SMR = 1,22; 95% CI: 1,06–1,88) lecz nie u pracowników narażonych na wełnę skalną i żuźłową (średnie wartości SMR – odpowiednio – 1,05 i 0,97) (Sali i wsp., 1999). U zatrudnionych przy produkcji waty skalnej i żuźlowej zwiększone ryzyko zgonu z powodu choroby niedokrwiennej serca było skorelowane głównie z wiekiem. Nie stwierdzono zwiększonego ryzyka umieralności z powodu chorób układu naczyniowego czy naczyniowo-mózgowego (SMR był – odpowiednio – w granicach 0,99–1,22 i 0,95–1,21). Wyniki tych badań nie potwierdzają jednoznacznie związku zwiększonego ryzyka zgonu z powodu choroby niedokrwiennej serca z narażeniem zawodowym, występującym przy produkcji szklanego włókna ciągłego, ze względu na nieuwzględnienie wpływu współwystępujących czynników takich jak obciążenie termiczne, narażenie na inne czynniki chemiczne w środowisku pracy (tlenek węgla) czy wysiłek fizyczny. Ryzyko zgonu z powodu chorób układu sercowo-naczyniowego, związanego z narażeniem zawodowym na szklane włókna ciągłe, wate szklaną i wate mineralną (skalną i żuźłową), nie było istotnie większe ani w badaniu kohorty z USA (Marsh i wsp., 2001b), ani w badaniu kanadyjskim (Shannon i wsp., 1987).

Działanie na układ pokarmowy

Większość spośród wchłoniętych w układzie oddechowym, w wyniku narażenia drogą inhalacyjną, sztucznych włókien mineralnych jest transportowana za pomocą nabłonka migawkowego do przełyku, gdzie ulegają one połknięciu. W wyniku tego wyścielający układ pokarmowy nabłonek jest również bezpośrednio narażony na działanie wchłoniętych w układzie oddechowym włókien. Jednak nie stwierdzono, by inhalacyjne narażenie na włókna szklane ciągłe, wate szklaną, skalną i żuźłową było związane ze zwiększonym ryzykiem zgonu z powodu chorób układu pokarmowego. Potwierdzono to badaniami aktów zgonu 9 060 zatrudnionych (kohorta 32 110 osób) w USA (Marsh i wsp., 2001b), 2 578 robotników (kohorta 11 373 osób) w badaniach Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (IARC) (Sali i wsp., 1999), 157 pracowników stosujących wate szklaną jako izolację (kohorta 2 557 osób) w Sarnia (Kanada) (Shannon i wsp., 1984; 1987), 96 (spośród 1 465) zatrudnionych przy produkcji ciągłego włókna szklanego w Guelph (Kanada) (Shannon i wsp., 1990) czy 554 (z kohorty liczącej 1 068 osób) zatrudnionych przy

budowie domów prefabrykowanych i narażonych na watę szklaną i skalną (Gustavsson i wsp., 1992).

Działanie nefrotoksyczne

Nie stwierdzono zależności między narażeniem zawodowym na wełnę mineralną (skalną i żuźlową), watę szklaną czy szklane włókna ciągłe a umieralnością z powodu nienowotworowych chorób nerek w badaniach kohortowych, przeprowadzonych w USA (Marsh i wsp., 2001b), w Szwecji (Gustavsson i wsp., 1992), w wielośrodkowym badaniu europejskim (Sali i wsp., 1999) w badaniach kohorty kanadyjskiej (Shannon i wsp., 1987; 1990).

Nienowotworowe działanie na układ oddechowy

Działanie nienowotworowe włókien mineralnych, zwane w skrócie NMRD (ang. *Non-Malignant Respiratory Diseases*), obejmuje głównie stany zapalne, zwłóknienia i zaburzenia funkcjonalne układu oddechowego oraz astmę. Dane dotyczące zapadalności na wymienione choroby pochodzą głównie ze świadectw zgonu w historycznych kohortach pracowników produkujących włókna mineralne. Sali i wsp. (1999), opracowując wyniki wielośrodkowego europejskiego badania kohortowego (Boffetta i wsp., 1992; 1997), wykazali nieistotną nadwyżkę wszystkich schorzeń z grupy NMRD wśród pracowników zatrudnionych przy produkcji szklanych włókien (SMR = 1,18). Dla tzw. podgrupy BEA (zapalenie oskrzeli, rozedma płuc i astma) wartość ta była mniejsza (SMR = 1,12). Co ciekawe, w przypadku robotników zatrudnionych krócej niż 1 rok wartość współczynnika SMR wynosiła 1,79 i była większa niż w przypadku robotników zatrudnionych dłużej niż 1 rok (0,95).

W przeprowadzonych w 1992 r. badaniach amerykańskiej kohorty pracowników produkujących włókna szklane współczynnik SMR dla chorób NMRD (z wyłączeniem grypy i zapalenia płuc) różnił się w zależności od typu produkowanych włókien i wynosił 0,8 dla włókien ogólnie, 0,89 dla włókien i wełny szklanej oraz 1,10 dla wełny szklanej jako głównego produktu (Marsh i wsp., 2001a). W podobnych badaniach, dotyczących amerykańskiej kohorty zatrudnionych przy produkcji wełny mineralnej, w 5 zakładach wskaźnik SMR dla wymienionych chorób wynosił 1,31 (39 obserwowanych, 95% CI: 0,93–1,79), natomiast w 1 zakładzie, w którym produkowano w przeszłości również wyroby azbestowe, SMR był istotnie wyższy i wynosił 2,07 ($p < 0,05$) (Marsh i wsp., 1996).

Dostępne dane dotyczące występowania zapalenia płuc wśród narażonych pochodzą głównie z badań radiologicznych (standardowe rentgenowskie prześwietlenia płuc), charakteryzujących się słabą czułością i specyficznością, brak jest natomiast danych z badań radiologicznych wykonanych za pomocą tomografii komputerowej. W większości badań nie wykazano nadmiaru zacień na rentgenowskich zdjęciach klatki piersiowej, z wyjątkiem 2 badań obejmujących zatrudnionych przy produkcji włókien szklanych (Kilburn i Warshaw, 1991) i ich stosowaniu (Kilburn i wsp., 1992), jednak na wynik ten mogło wpłynąć wcześniejsze narażenie na azbest. W australijskich badaniach zapadalności na choroby płuc u 687 pracowników z 7 zakładów produkujących watę szklaną i mineralną niewielkie zacieńnienia rentgenogramów (sklasyfikowane jako 1/0 i 1/1) stwierdzono u 7 badanych, jednakże brak było danych o poziomach narażenia (Brown i wsp., 1996). Podobne były wyniki przeprowadzonych w Japonii badań 483 mężczyzn zatrudnionych przy produkcji włókien mineralnych w 9 zakładach – liczba stwierdzanych radiologicznie zmian w płucach nie różniła się znacząco od wyników w grupie kontrolnej (540 osób), czy w porównywalnej populacji zatrudnionych w narażeniu na azbest (Yano i Karita, 1998).

Badania tkanki płuc pobranej podczas autopsji 145 byłych pracowników 17 zakładów syntetycznych włókien szklanych znajdujących się w Stanach Zjednoczonych (McDonald i wsp., 1990) wykazały, że stężenie włókien w tkance płucnej było około 60% większe niż w grupie referencyjnej, która nie była zawodowo narażona. Tylko u 4 osób w badanej grupie stężenie syntetycznych włókien szklanych w płucach było większe niż 0,2 włókna/ μg tkanki płuc (McDonald i wsp., 1990). Średnia geometryczna długość włókien wynosiła 7,5 μm , a średnica włókna 1 μm dla osób narażonych zawodowo, podczas gdy wartości te w grupie referencyjnej wynosiły – odpowiednio – 6,6 μm oraz 1,2 μm (Gibbs i wsp., 1996).

Zwłóknienie opłucnej

Skutki nierakotwórczego działania włókien mineralnych na ludzi można stwierdzić jedynie za pomocą standardowych badań radiologicznych. Jak już wspomniano, technika ta ma szereg ograniczeń – zacieńnienia w opłucnej mogą być prawidłowo sklasyfikowane, jeżeli uległy zwapnieniu, a rozproszone zgrubienie opłucnej jest dobrze rozpoznawane głównie wtedy, gdy towarzyszą mu śródmiąższowe pasmowe zacieńnienia. Wszelkie inne obserwacje są niespecyficzne i mogą odnosić się do innych cech anatomicznych. Ponadto mogą występować inne czynniki etiologiczne

związane ze zwłóknieniem opłucnej, takie jak narażenie również na azbest (liczne przypadki) czy zakaźne choroby opłucnej.

Kilburn i Warshaw (1991) i Kilburn i wsp. (1992) wykazali nieprawidłowości w opłucnej w – odpowiednio – 7,4% i 7,0% zdjęć rentgenowskich. Grupa robocza IARC uznała te badania za trudne do interpretacji ze względu na brak grupy kontrolnej i to, że nie wzięto w nich pod uwagę wcześniejszego narażenia na azbest (IARC, 2002).

Niewielką i nieistotną statystycznie nadwyżkę zgrubień opłucnej stwierdzono u zatrudnionych przy produkcji wełny mineralnej (Järholm i wsp., 1995), jednak nie udało się wykazać tej zależności od wielkości narażenia na włókna.

Zmiany funkcjonalne w płucach i ich objawy

Dostępne dane dotyczą głównie włókien szklanych i pochodzą, zarówno z ich produkcji, jak i stosowania, i obejmują badania ankietowe oraz badania funkcji układu oddechowego. W przeprowadzonych we Francji badaniach 524 robotników zatrudnionych przy produkcji włókien szklanych odnotowano istotny wzrost zgłaszanych objawów ze strony górnych dróg oddechowych i przypadków duszności – mimo to badania kliniczno-kontrolne nie potwierdziły pogorszenia funkcji układu oddechowego (Moulin i wsp., 1987).

Moulin i wsp. (1988) podali wyniki badań w 5 francuskich zakładach produkujących watę szklaną. Wysoką częstość występowania objawów takich jak kaszel, flegma itp. związaną z narażeniem na włókna stwierdzono tylko w 1 z zakładów – pracownicy tego zakładu narażeni byli również na żywicę.

Wyniki badań robotników zatrudnionych przy produkcji włókna szklanego w USA są trudne do oceny ze względu na to, że zdecydowana większość pracowników była poprzednio narażona na azbest (Kilburn i Warshaw, 1991).

W badaniach (badania ankietowe i testy wydolnościowe) przeprowadzonych w USA (Hughes i wsp., 1993), Australii (Brown i wsp., 1996) i Japonii (Yano i Karita, 1998) nie wykazano związku między zmianami funkcjonalnymi układu oddechowego i narażeniem na włókna mineralne.

W duńskich badaniach, w których grupę 235 zatrudnionych przy produkcji wełny skalnej porównano z 243 osobami wybranymi losowo z populacji generalnej (Hansen i wsp., 1999), wykazano istotnie zwiększoną liczbę

przypadków zaburzeń funkcjonalnych (14,5%) związanych z narażeniem na włókna w porównaniu do grupy kontrolnej (5,3%), jednak dotyczyło to głównie palących papierosy.

U szwedzkich użytkowników końcowych (pracownicy budowlani) (Albin i wsp., 1998) nie było znaczących różnic w zakresie pojemności życiowej płuc (VC) i natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej (FEV₁) między pracownikami budowlanymi narażonymi na wełnę izolacyjną a pracownikami budowlanymi nienarażonymi na wełnę izolacyjną. Porównanie z wynikami pomiarów wykonanych średnio 3,9 lat później również wykazało brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy wartościami VC i FEV₁ u narażonych i nienarażonych na włókna pracowników budowlanych.

W Danii przeprowadzono 2 badania użytkowników końcowych (monterów izolacji) wełny mineralnej (skalnej i żużlowej) lub mieszaniny wełen mineralnych. Wprawdzie stwierdzono nadwyżkę objawów ze strony górnych dróg oddechowych i przypadków kaszlu (Petersen i Sabroe, 1991) oraz istotne obniżenie funkcji płuc (mierzone jako natężona objętość wydechowa, FEV) (Clausen i wsp., 1993), jednak w obu badaniach nie wzięto pod uwagę innych, prawdopodobnych czynników narażenia.

W badaniach obejmujących pracowników zatrudnionych przy zakładaniu izolacji w USA stwierdzono wprawdzie dość znaczną liczbę przypadków przewlekłego zapalenia oskrzeli (do 15%), ale interpretacja tych danych jest niejednoznaczna ze względu na brak grupy kontrolnej i możliwe narażenie również na azbest. Wyniki badań funkcji układu oddechowego nie wykazywały żadnej zależności od poziomu narażenia na włókna (Kilburn i wsp., 1992; Hunting i Welch, 1993).

Działanie na rozrodczość

Obecnie brak jest dostępnych danych do oceny toksyczności reprodukcyjnej lub rozwojowej włókien dla ludzi lub zwierząt doświadczalnych. Nie oczekuje się wystąpienia takich skutków po ekspozycji inhalacyjnej, ponieważ włókna są zatrzymywane w drogach oddechowych, a nie wchłaniane.

Działanie genotoksyczne

Nie można jednoznacznie ocenić działania genotoksycznego włókien mineralnych na podstawie dostępnych danych.

Większość prac potwierdza powstawanie adduktów DNA z końcowymi produktami peroksydacji lipidów, ale tylko w przypadku włókien ceramicznych. W badaniach przeprowadzonych w warunkach *in vitro* przez Wang i wsp. (1999) włókna ceramiczne spowodowały uszkodzenia DNA (pęknięcia i wiązania krzyżowe) w ludzkiej linii komórek nabłonka płuc (A549) po jednokrotnym podaniu. W podsumowaniu wyników badań IARC (2002) stwierdza, że włókna ceramiczne powodują głównie skutki klastogenne w komórkach w warunkach *in vitro*.

Wykazano, że niektóre rodzaje włókien mineralnych indukują aberracje chromosomalne, delecje, mikrojądra i aneuploidię, zarówno w komórkach gryzoni, jak i hodowlach ludzkich (Greim i wsp., 2000; 2001). Obserwowano indukcję nici DNA, sieciowanie DNA i naprawę DNA (Wang i wsp., 1999). Dane *in vitro* nie zostały wystarczająco zwalidowane w badaniach *in vivo*. Dłuższe włókna wydają się być bardziej aktywne niż krótsze włókna (SCOEL, 2012; Rapisarda i wsp., 2015).

Efekty cytotoksyczne potwierdzono w doświadczeniach na makrofagach pęcherzyków płucnych szczurów poddanych ekspozycji na respirabilne włókna szklane oraz na ludzkich komórkach mezotelialnych narażonych na włókna wełny skalnej. Efekty genotoksyczne zaobserwowano po ekspozycji fibroblastów płuc chomika chińskiego V79 oraz fibroblastów płuc embrionów ludzkich Hel299 na włókna szklane. Im dłuższe i cieńsze są włókna, tym większa jest ich toksyczność i skuteczność pobudzania komórek do produkcji mediatorów prozapalnych. Włókna szklane wywołują w hodowli szczurzych makrofagów skutki jakościowo podobne do tych wywoływanych przez azbest, a długość włókien wydaje się tu być kluczowym czynnikiem decydującym o ich toksyczności (Górny i Gołofit-Szymczak, 2016).

W ostatnim czasie badacze chińscy (Cui i wsp., 2018) uznali, że sztuczne włókna mineralne wyprodukowane w Chinach mogą być również cytotoksyczne w takim samym stopniu jak azbest chryzotylowy. Oceniano działanie genotoksyczne i mutagenne sztucznych włókien z wełny skalnej wyprodukowanych w Chinach w badaniach na komórkach V79 fibroblastów płuc chomika w stężeniach 50, 100 i 200 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Włókna były kruszone w ceramicznym moździerz, a następnie cięte, mielone i suszone. Proszek z włókien sterylizowano i wirowano w celu wytworzenia ultradrobnej zawiesiny o stężeniu 10 mg/ml i średniej granulacji mniejszej niż 10 μm . Aberracje chromosomów wykrywano za pomocą testu mikrojądrowego po ekspozycji 24 godz., a uszkodzenia DNA oceniano za pomocą elektroforezy żelowej komórek po ekspozycji 12, 24 lub 48 godz.

Stwierdzono występowanie aberracji chromosomowych, uszkodzenia DNA i wzrostu częstości mikrojąder zależnego od czasu i dawki, zarówno w przypadku ekspozycji na sztuczne włókno, jak i na chryzotyl. Badacze przyjrzeni się liczbie fragmentów DNA powstałych z pęknięć nici. Tak jak we wcześniejszym eksperymencie z użyciem azbestu chryzotylowego, im większe było stężenie włókna z wełny mineralnej, tym większa była fragmentacja DNA. Ocena nasilenia uszkodzenia DNA, mierzona za pomocą testu kometowego, wykazała, że wpływ chryzotyłu na występowanie mutacji był większy niż w przypadku wełny skalnej. Autorzy stwierdzają, że konieczne są dalsze badania w celu określenia cech strukturalnych i właściwości powierzchni włókna oraz wyjaśnienia, w jaki sposób te cechy są powiązane z genotoksycznością włókien mineralnych.

Badania chińskie były oceniane przez innych naukowców (Dixon, 2017; Grieve, 2017; Hadley i Crane, 2019). Grieve (2017) uznaje je za istotne i poddaje pod dyskusję naukową tezę: „Czy skoro azbest chryzotyłowy powoduje raka płuca, międzybłoniaka oraz inne nowotwory, to czy w świetle badań chińskich zastąpienie azbestu włóknem z wełny mineralnej zapobiegnie tym chorobom?”. Na podstawie tych faktów Hadley i Crane (2019) stwierdzają, że istnieją poważne ograniczenia w badaniu uszkodzeń DNA wywołanych narażeniem na włókna wełny skalnej. Krótkoterminowe badania *in vitro* nie pozwalają dokładnie przewidzieć uszkodzeń DNA, a ich krótki czas trwania nie może uwzględniać różnic w trwałości badanych włókien. Również organizacje takie jak np. Północnoamerykańskie Stowarzyszenie Producentów Izolacji (NAIMA) poddają w wątpliwość wyniki badań naukowców chińskich, podkreślając, że jest to tylko 1 krótkoterminowe badanie, a nie szereg testów przeprowadzanych na zwierzętach. Wyniki tych badań podważają także Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC, 2002) i Amerykańska Agencja ds. Toksycznych Substancji i Rejestrów Chorób (ATSDR). Powodami wątpliwości są zbyt krótki czas trwania badania oraz brak rozróżnienia włókien trwałych od rozpuszczalnych. Podkreślono, że badania krótkoterminowe mogą dać mylne pojęcie o możliwych długoterminowych skutkach biologicznych. Wyniki z krótkoterminowych testów genotoksyczności *in vitro* mają ograniczoną przydatność do scenariuszy narażenia *in vivo*, gdyż dowodzą, że długotrwałe pozostawanie syntetycznych włókien szklistych w płucu może prowadzić do ich przemian, np. rozpuszczania, pękania, zmniejszających ich aktywność biologiczną (Hesterberg i Hart, 2001). Agencja IARC (2002) jednoznacznie uznała, że nie są obecnie dostępne wiarygodne badania, które pozwoliłyby potwierdzić genotoksyczne działanie szklistych włókien mineralnych. Podkreślono również, że brak jest dowodów

na działanie genotoksyczne syntetycznych włókien w testach mutacji na bakteriach i w badaniach wymian chromatyd siostrzanych w hodowlach komórek ludzkich (Chamberlain i Tarmy, 1977; Casey, 1983).

Działanie rakotwórcze włókien mineralnych

Podejrzenie rakotwórczego działania sztucznych włókien mineralnych u ludzi wywodzi się głównie z podobieństwa ich właściwości fizycznych do właściwości włókien azbestu (podobne wymiary włókien, możliwość wnikania do układu oddechowego, zdolność tworzenia wolnych rodników). Pod względem chemicznym azbest to minerały, w skład których wchodzi uwodnione krzemiany, czasami z domieszką niektórych metali: wapnia, magnezu, glinu, sodu i żelaza. Azbest fizycznie wyróżnia się budową włóknistą.

Na występowanie i typ obserwowanej u ludzi i zwierząt patologii wpływa rodzaj azbestu, wymiary tworzących go włókien oraz ich stężenie, jak również czas trwania narażenia i efektywność biologicznych mechanizmów oczyszczania układu oddechowego. Biologiczna agresywność pyłu azbestu jest związana ze stopniem penetracji i ilością włókien wnikającą do dolnej części układu oddechowego. Proces ten zależy od fizycznych i aerodynamicznych cech włókien azbestu. Z uwagi na budowę fizykochemiczną rozróżnia się 2 grupy azbestu: serpentynowy (chryzotyl) o średnicy minimalnej włókien 0,002–0,015 $\mu\Omega$ i azbest amfibolowy (krokidolit), którego włókna są znacznie krótsze, ze średnicą 0,1–0,3 $\mu\Omega$. Podczas kruszenia krokidolitu włókna pękają wzdłuż płaszczyzn krystalicznych – w rezultacie powstają włókna o średnicach rzędu 4 nm, które są łatwo przenoszone do końcowych odcinków dróg oddechowych, skąd mogą penetrować tkankę płucną (Maciołek i wsp., 2012). Włókna grube, o średnicy większej niż 5 μm , zatrzymują się w górnej części układu oddechowego. Ze względu na budowę (ostre, wbijające się w tkanki szpile) włókna azbestu są bardzo trudno usuwalne z płuc. Po miesiącu od momentu deponowania ich w płucach pozostaje w ich tkankach jeszcze około 25% wdychanych włókien azbestowych. Stwierdzono zależność między długością włókien chryzotyli a ich biorozpuszczalnością w płucach. Obliczono, że półokres rozpuszczania włókien chryzotyli o długości 1–2 μm wynosi 9 dni, a o długości 9–16 μm – 53 dni. Włókna chryzotyli są eliminowane z płuc około 10-krotnie szybciej niż włókna amfiboli. nierozpuszczalne włókna amfibolowe o długości uniemożliwiającej ich sfagocytowanie przez makrofagi (większe niż 15 μm długości) pozostają nieusunięte z obszaru pęcherzyków płucnych (Więcek i Woźniak, 2004).

Narażenie zawodowe na pył azbestu może być przyczyną pylicy azbestowej (azbestozy), łagodnych zmian opłucnowych, raka płuca i międzybłoniaka, a także obturacyjnego przewlekłego zapalenia oskrzeli. Doniesienia kliniczne i epidemiologiczne sugerują, że z azbestem może być również związane występowanie innych nowotworów: krtani, żołądka i jelit, trzustki, jajnika oraz chłoniaków (Szeszenia-Dąbrowska i Sobala, 2010).

Niektórzy badacze przyjmują, że **każde wdychane dostatecznie długie i cienkie włókno mineralne cechujące się wysoką biotrwałością może być rakotwórcze**. Czy wełna mineralna podzieli los azbestu? Czy uzasadnione jest zrównanie problematyki szkodliwości sztucznych włókien mineralnych z zagrożeniami, jakie niesie azbest?

Oddziaływanie sztucznych włókien mineralnych na organizm ludzki rozpoczyna się już w momencie ich kontaktu ze skórą, błonami śluzowymi oraz po wnikięciu do dróg oddechowych. Zarówno syntetyczne włókna mineralne, jak i włókna azbestu, mogą powodować najpoważniejsze skutki zdrowotne w narażeniu inhalacyjnym.

Podstawowe różnice pomiędzy sztucznymi włóknami mineralnymi a azbestem polegają na tym, że włókna są bezpostaciowym materiałem syntetycznym powstałym przez transformację struktur naturalnych, a azbest to naturalnie występujące w przyrodzie włókna o strukturze krystalicznej, umożliwiającej pękanie włókien wzdłuż płaszczyzn krystalicznych i w rezultacie powstawanie włókien o średnicach rzędu 4 nm, które są łatwo przenoszone do pęcherzyków płucnych.

Syntetyczne włókna szkliste różnią się od włókien azbestu zdolnością wytwarzania drobnego pyłu oraz łamliwością. Sztuczne włókna mineralne łamią się zwykle poprzecznie, nie wzdłuż, a więc „krytyczne” (tzn. długie i cienkie) włókna nie powstają zbyt łatwo. Z powodu rozpuszczania i poprzecznego pękania MMVF są także szybciej usuwane z płuc.

Ponadto biotrwałość mineralnych włókien sztucznych w płynach ustrojowych jest mniejsza od trwałości włókien azbestu, a struktura krystaliczna i trwałość włókien są ważnymi czynnikami wpływającymi na właściwości kancerogenne (Tarkowski i wsp., 2001). Czas połowicznego zaniku włókien mineralnych o długości większej niż 20 μm z płuc wynosi mniej niż 10 dni (Bernstein, 2001; Kudo i Aizawa, 2009), podczas gdy nierozpuszczalne włókna amfibolowe o długości większej niż 15 μm pozostają nieusunięte z obszaru pęcherzyków płucnych (Więcek i Woźniak, 2004).

Dziś tylko wyniki długookresowych badań z wziewnym podawaniem stosownych dawek włókien mogą być wykorzystywane do prognostycznej oceny niekorzystnych skutków zdrowotnych u ludzi (Górny i Gołofit-Szymczak, 2016). Badania epidemiologiczne nad rakotwórczością sztucznych włókien mineralnych są skomplikowane także ze względu na fakt, że większość eksponowanych na nie pracowników była lub jest narażona jednocześnie na inne czynniki rakotwórcze, w tym azbest. Niemniej badania epidemiologiczne pracowników narażonych na te włókna w procesie ich produkcji dostarczają najwięcej informacji. Na podstawie danych z długoletnich badań epidemiologicznych nad rakotwórczym działaniem sztucznych włókien mineralnych **Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem w 1988 r. zaliczyła wełnę szklaną, wełnę mineralną (kamienną, skalną), wełnę żuźlową oraz włókna ceramiczne do grupy 2B, obejmującej czynniki o prawdopodobnym działaniu rakotwórczym dla ludzi** (IARC, 1988). W późniejszych latach zostały opublikowane wyniki dalszych badań epidemiologicznych mających na celu ocenę ryzyka raka układu oddechowego, które zostały ponownie ocenione i sklasyfikowane przez IARC (2002). Aby odzwierciedlić rozwój w branży, IARC w 2002 r. rozszerzyła kategoryzację włókien o ciągłe włókna szklane i uznała, że nie ma wystarczających dowodów na rakotwórcze działanie wełny szklanej, ciągłego włókna szklanego, wełny kamiennej/skalnej oraz żuźlowej u ludzi. Klasyfikacja według IARC nie ma mocy prawnej, natomiast obowiązującą prawnie w Unii Europejskiej klasyfikację włókien mineralnych pod względem działania rakotwórczego przedstawiono w dalszej części opracowania po omówieniu przeglądu dostępnego piśmiennictwa z tej dziedziny.

Włókna tradycyjnej wełny mineralnej w 1988 r., zostały zaklasyfikowane przez Światową Organizację Zdrowia (WHO, 2004; 2005) jako kancerogenne zagrożenie dla zdrowia ludzi a ocena ryzyka wystąpienia dodatkowego nowotworu zależy od biotrwałości tych włókien (Wohlleben i wsp., 2017).

Badania kliniczno-kontrolne

Wyniki ważniejszych badań kliniczno-kontrolnych omówione zostały w pracy Szadkowskiej-Stańczyk i Stroszejn-Mrowcy (2002). Na podstawie kliniczno-kontrolnego badania przypadków określa się tzw. iloraz szans OR (ang. *Odds Ratio*) wskazujący, ile razy prawdopodobieństwo zgonu wśród narażonych jest większe od prawdopodobieństwa zgonu u osób nienarażonych. Ilorazy szans mogą być korygowane ze względu na

ewentualne czynniki zakłócające, takie jak np. palenie papierosów, narażenie na azbest czy inne czynniki rakotwórcze.

Trzy z tych badań przeprowadzono w USA (Enterline i wsp., 1987; Wong i wsp., 1991; Chiaze i wsp., 1993; 1997), 1 w Szwecji (Engholm i wsp., 1987) oraz 2 w Niemczech (Pohlabein i wsp., 2000; Rödelsperger i wsp., 2001). Ich wyniki zebrano w tabeli 1. Badania w USA obejmowały pracowników zatrudnionych przy produkcji włókien szklanych. Wong i wsp. (1991) badali produkujących wełnę żużlową, a Enterline i wsp. (1987) produkujących, zarówno włókna szklane, jak i wełnę żużlową i skalną. Narażenie na włókna odtwarzano na podstawie analizy zatrudnienia na określonych stanowiskach. W Szwecji badanie obejmowało pracujących w budownictwie mężczyzn, którzy mogli być narażeni na sztuczne włókna mineralne oraz azbest. Narażenie odtwarzano, analizując przebieg pracy, nazwy stanowisk pracy oraz dodatkowe informacje o wykonywanych czynnościach, uzyskane od badanych. Badania te dotyczyły albo prawdopodobieństwa zgonu z powodu raka płuca wśród narażonych na sztuczne włókna mineralne, albo prawdopodobieństwa zgonu z powodu wszystkich chorób układu oddechowego, w tym raka płuca.

Tabela 1.

Działanie rakotwórcze sztucznych włókien mineralnych – badania kliniczno-kontrolne (Szadkowska-Stańczyk i Stroszejn-Mrowca, 2002)

Kraj, autorzy	Przedsiębiorstwo lub rodzaj produkcji	Liczba przypadków, rodzaj nowotworów	Ocena narażenia	Wyniki (ocena ryzyka)	Uwagi
USA (Enterline i wsp., 1987)	16 zakładów produkujących włókna szklane ciągłe, wełnę skalną, watę szklaną	287 przypadków nowotworów układu oddechowego	pomiary w środowisku pracy	OR = 1,1 wzrost wraz z dawką skumulowaną	uwzględniono palenie tytoniu
Szwecja (Engholm i wsp., 1987)	pracownicy budownictwa narażeni na wełnę skalną i włókna szklane	424 przypadki raka płuca	nazwy stanowisk pracy	OR = 1,21 (95% CI: 0,6–2,47)	uwzględniono palenie tytoniu i narażenie na azbest
USA (Wong i wsp., 1991)	9 zakładów produkujących wełnę skalną	55 przypadków raka płuca	pomiary i nazwy stanowisk pracy	OR = 0,99–1,06 dla byłych pracowników OR = 0,98–1,00 dla aktualnych pracowników	uwzględniono palenie tytoniu

Kraj, autorzy	Przedsiębiorstwo lub rodzaj produkcji	Liczba przypadków, rodzaj nowotworów	Ocena narażenia	Wyniki (ocena ryzyka)	Uwagi
USA (Chiazze i wsp., 1993)	1 zakład produkujący włókno szklane	144 przypadki raka płuca	nazwy stanowisk pracy, opis procesów technologicznych	OR = 0,58 (95% CI: 0,2–1,71)	uwzględniono palenie tytoniu
Niemcy (Pohlabein i wsp., 2000)	zatrudnieni przy izolacjach z waty szklanej i innych sztucznych włókien mineralnych	304 przypadki raka płuca	nazwy stanowisk pracy, opis czynności i technologii	OR = 1,48 (95% CI: 1,17–1,88)	kontrolowane palenie tytoniu i ekspozycja na azbest
Niemcy (Rödelsperger i wsp., 2001)	narażeni na włókna szklane	125 przypadków międzybłonniaka opłucnej	nazwy stanowisk pracy, opis procesów technologicznych	OR = 3,08 (95% CI: 1,17–8,07)	uwzględniono narażenie na azbest

OR – iloraz szans.
95% CI – 95% przedział ufności.

Badania kohortowe

W piśmiennictwie opublikowano wyniki obserwacji 12 retrospektywnych kohort pracowników z USA i Europy narażonych na sztuczne włókna mineralne. W badaniach kohortowych określa się standaryzowane wskaźniki umieralności SMR (ang. *Standardised Mortality Ratio*) lub standaryzowane wskaźniki zapadalności SIR (ang. *Standardised Incidence Ratio*), ich przedziały ufności (CI) lub statystyczny poziom istotności, na podstawie których można analizować ryzyko zgonu według przyczyn zgonu. Wskaźniki SMR i SIR są ilorazami rzeczywistej i oczekiwanej liczby – odpowiednio – zgonów lub zachorowań w badanej populacji. Oczekiwana liczba zgonów lub zachorowań określana jest na podstawie współczynnika w populacji referencyjnej, którą stanowić może populacja generalna lub regionalna mężczyzn i/lub kobiet w danym kraju.

Opis tych badań w kolejności chronologicznej zawiera tabela 2. W 5 badaniach obejmowano obserwacją narażonych na wełnę szklaną, wełnę skalną i żuźlową, w 1 na watę szklaną i wełnę skalną oraz w 2 na watę szklaną, wełnę skalną i żuźlową. Dwie kohorty obejmowały badaniem pracowników budownictwa potencjalnie narażonych na którykolwiek z mineralnych materiałów izolacyjnych zawierających włókna szklane, skalne lub żuźlowe. W żadnej z kohort nie dysponowano danymi o paleniu tytoniu.

Tabela 2.
Działanie rakotwórcze sztucznych włókien mineralnych – badania kohortowe
(Szadkowska-Stańczyk i Stroszejn-Mrowca, 2002)

Kraj, autorzy	Przedsiębiorstwo, liczba badanych	Minimalny okres zatrudnienia	Okres obserwacji	Wyniki (ocena ryzyka)
USA (Enterline i Henderson, 1975)	6 zakładów produkujących materiały izolacyjne z włókna szklanego, 416 mężczyzn	10 lat	1945–1972	5 zgonów z powodu raka płuca SMR = 82,0
USA (Bayliss i wsp., 1976)	1 zakład produkujący elementy konstrukcyjne z włókna szklanego, 1 448 mężczyzn	5 lat	1940–1972	16 zgonów z powodu raka płuca SMR = 79,1; latencja 20 lat – SMR = 66,3
USA (Morgan, 1981)	1 zakład produkujący włókna szklane, 6 536 mężczyzn	10 lat	1968–1977	39 zgonów z powodu raka płuca SMR = 101,0; dla narażenia > 20 lat SMR = 124,0
USA (Robinson i wsp., 1982)	1 zakład produkujący wełnę skalną i żużłową, 596 mężczyzn	1 rok	1940–1974	9 zgonów z powodu raka płuca SMR = 89,0; SMR wzrastało wraz z okresem latencji
Francja (Moulin i wsp., 1986)	1 zakład produkujący wełnę skalną, 1 374 mężczyzn	1 rok	1975–1984	5 przypadków raka płuca SIR = 74,0; 19 przypadków nowotworów górnych dróg oddechowych i jamy ustnej SIR = 218,0*
Europa IARC (Simonato i wsp., 1987; Boffetta i wsp., 1992; 1997)	13 zakładów produkujących watę szklaną, wełnę skalną i żużłową, włókna szklane, 21 967 mężczyzn	niewymagany w 7 zakładach; 3 miesiące: 1 zakład; 1 rok: 5 zakładów	1933–1982	cała kohorta 189 zgonów z powodu raka płuca; SMR = 125,9* wełna szklana > 20 lat latencji; SMR = 139,0* wełna skalna/żużłowa > 20 lat latencji SMR = 140,0 wg faz produkcji: faza wczesna – SMR = 214,0* faza pośrednia – SMR = 139 faza późna – SMR = 113,0
Kanada (Shannon i wsp., 1984; 1987)	1 zakład produkujący watę szklaną, 2 557 mężczyzn	3 miesiące	1955–1984	19 zgonów z powodu raka płuca SMR = 199,0* brak trendu wzrostowego z okresem narażenia i latencją
Szwecja (Engholm i wsp., 1987)	pracownicy budownictwa narażeni na włókna szklane i wełnę skalną/żużłową, 135 026 mężczyzn	niewymagany	1971–1983	444 zgony z powodu raka płuca SMR = 86,0; 23 przypadki międzybłoniaka opłucnej SIR = 213,0*

Kraj, autorzy	Przedsiębiorstwo, liczba badanych	Minimalny okres zatrudnienia	Okres obserwacji	Wyniki (ocena ryzyka)
USA (Enterline i wsp., 1987; Marsh i wsp., 1990)	17 zakładów produkujących włókna ciągle, wełnę szklaną, skalną/żuźłową, 16 661 mężczyzn	6 miesięcy: 2 zakłady; 1 rok: 15 zakładów	1946–1985	dla całej kohorty – 497 zgonów z powodu nowotworów układu oddechowego SMR = 120,6*; wata szklana – 99 zgonów SMR = 106,7; włókna ciągle – 84 zgony SMR = 98,4; wełna skalna/żuźłowa – 73 zgony SMR = 135,6* brak trendu wzrostowego z okresem zatrudnienia
USA (Stone i wsp., 2004)	10 zakładów produkujących włókna szklane, 4 008 kobiet	1 rok	1946–1992	53 zgony z powodu nowotworów układu oddechowego SMR = 101 brak trendu wzrostowego z okresem zatrudnienia
Szwecja (Gustavsson i wsp., 1992)	11 zakładów produkujących elementy do domków z drewna narażonych na wełnę skalną i włókna szklane, 2 807 mężczyzn	1 rok	1969–1988	14 zgonów z powodu raka płuca SMR = 68,0 brak trendu wzrostowego z okresem zatrudnienia
Szwecja (Westerholm i Bolander, 1986; Plato i wsp., 1995)	1 zakład produkujący włókna szklane, 2 zakłady produkujące wełnę skalną, 3 539 mężczyzn i kobiet	1 rok	1952–1990	dla całej kohorty – 29 zgonów z powodu raka płuca SMR = 109,0; włókna szklane – 14 zgonów SMR = 119,7; wełna skalna – 12 zgonów SMR = 98,2

SMR – standaryzowany wskaźnik zgonów.

SIR – standaryzowany wskaźnik zapadalności.

* – wartość SMR istotna statystycznie, $p < 0,05$.

Podsumowanie wyników badań kohortowych i kliniczno-kontrolnych

Podsumowując przeprowadzone analizy, należy stwierdzić, że najwięcej badań dotyczyło skutków ekspozycji na włókna szklane. Ich wyniki nie wskazują na wzrost ryzyka nowotworów złośliwych u pracowników narażonych. Spośród badań, oceniających ekspozycję na włókna wełny szklanej i żuźlowej tyle samo wykazało podwyższone ryzyko nowotworów układu oddechowego, co tego nie potwierdziło. W większości nie stwierdzono zależności poziomu ryzyka od okresu ekspozycji ani też dawki skumulowanej. Podkreślono jedynie związek z okresem latencji powyżej 20 lat. Osłabia to znacznie wnioskowanie przyczynowo-skutkowe, podobnie

jak i fakt, iż w większości badań nie kontrolowano palenia tytoniu oraz ekspozycji na inne kancerogeny układu oddechowego (Szadkowska-Stańczyk i Stroszejn-Mrowca, 2002).

Wetna szklana

W żadnym z badań prowadzonych w USA (Enterline i Henderson, 1975; Bayliss i wsp., 1976; Morgan, 1981; Enterline i wsp., 1987; Marsh i wsp., 1990) i Szwecji (Westerholm i Bolander, 1986; Gustavsson i wsp., 1992; Plato i wsp., 1995), obejmujących narażenie na włókna szklane, nie stwierdzono istotnie podwyższonego poziomu ryzyka występowania nowotworów układu oddechowego. Nie stwierdzono także związku wskaźnika umieralności z okresem trwania narażenia. U kobiet zatrudnionych przy produkcji włókien szklanych nie odnotowano podwyższonego ryzyka nowotworów układu oddechowego ani nowotworów innych narządów (brak trendu wzrostowego z okresem zatrudnienia; SMR = 101) (Stone i wsp., 2004). Jedynie w badaniach kanadyjskich Shannon i wsp. (1984; 1987) obserwowano istotny wzrost częstości występowania zgonów z powodu raka płuca (SMR = 199,0; $p < 0,05$), ale przy braku związku z okresem narażenia i latencji.

W badaniach niemieckich Pohlabein i wsp. (2000) oraz Rödelsperger i wsp. (2001) stwierdzili istotnie podwyższone ryzyko raka płuca (OR = 1,48; 95% CI: 1,17–1,88) oraz międzybłoniaka opłucnej (OR = 3,08; 95% CI: 1,17–8,07) u pracowników zatrudnionych przy izolacjach z wełny szklanej.

W wielośrodkowym badaniu europejskim (Boffetta i wsp., 1992; 1997) ryzyko raka płuca było istotnie podwyższone – SMR = 139, $p < 0,05$ – przy przyjęciu okresu latencji na poziomie powyżej 20 lat i zastosowaniu jako referencyjnej wartości odniesienia umieralności krajowej. Przy przyjęciu umieralności lokalnej jako wartości odniesienia ryzyko było mniejsze i nieistotne statystycznie (SMR = 111). Największe ryzyko oszacowano dla najwcześniejszej fazy produkcji, tj. w okresie, gdy nie używano środków sklejących włókna.

Wetna skalna i żuźłowa

Enterline i wsp. (1987) stwierdzili istotny wzrost ryzyka zgonu na raka płuca u osób narażonych (SMR = 135,6; $p < 0,05$). Ryzyko wzrastało istotnie wraz z dawką skumulowaną po narażeniu na włókna. Engholm i wsp. (1987) skonstatowali, że u pracowników budownictwa potencjalnie

narażonych na włókna wełny skalnej lub żuźlowej nie odnotowuje się istotnie podwyższonego ryzyka występowania raka płuca, ale stwierdzono 23 przypadki międzybłoniaka opłucnej (SIR = 213; $p < 0,05$). Wong i wsp. (1991) nie zauważyli związku między narażeniem na badane włókna wełny skalnej a ryzykiem nowotworów układu oddechowego, ani dla okresu narażenia, ani też dla dawki skumulowanej.

Autorzy wielośrodkowego badania europejskiego stwierdzili u pracowników narażonych na włókna wełny skalnej bądź żuźlowej nieistotnie podwyższone ryzyko raka płuca przy latencji powyżej 20 lat oraz dwukrotnie istotnie podwyższone ryzyko dla osób zatrudnionych w najwcześniejszych latach produkcji włókien mineralnych (SMR = 214; $p < 0,05$) (Boffetta i wsp., 1992; 1997). Enterline i wsp. (1987) oraz Marsh i wsp. (1990) stwierdzili istotny wzrost ryzyka zgonu na nowotwory układu oddechowego u pracowników narażonych, jednak nie było to zależne od okresu narażenia czy dawki skumulowanej. W badaniach Plato i wsp. (1995) i Robinsona i wsp. (1982) nie wykazano nowotworów układu oddechowego u pracowników narażonych na omawiane włókna. Ze względu na małą liczbę przypadków zgonów nie była też możliwa analiza według okresu zatrudnienia czy okresu latencji.

Sztuczne włókna mineralne bez rozróżnienia ich rodzaju

W 3 dużych badaniach autorzy nie wyróżnili rodzaju włókien i analizowali narażenie na którekolwiek z nich. Gustavsson i wsp. (1992) obserwując kohortę pracowników produkujących prefabrykaty do domków drewnianych, którzy mogli być narażeni na materiały zawierające sztuczne włókna mineralne, nie stwierdzili podwyższonego ryzyka zachorowania na raka płuca. Engholm i wsp. (1987) nie odnotowali wprawdzie zwiększonej liczby przypadków raka płuca wśród pracowników budownictwa, ale wykazali dwukrotnie podwyższone ryzyko wystąpienia międzybłoniaka opłucnej. W wielośrodkowym badaniu europejskim (Boffetta i wsp., 1992; 1997) w analizie ryzyka raka płuca w całej kohorcie narażonych, bez rozróżnienia typu włókien, stwierdzono jego istotny wzrost (SMR = 120,6; $p < 0,05$).

Wnikliwej analizie przeprowadzonych badań epidemiologicznych, dotyczących nowotworów płuc u narażonych na wełnę skalną i wełnę szklaną, dokonali Lipworth i wsp. (2009). Ich zdaniem, mimo nieznacznie zwiększonego ryzyka raka płuca u zatrudnionych przy produkcji sztucznych włókien mineralnych, nie istnieje podwyższone ryzyko u końcowych użytkowników, brak też jest jakiegokolwiek zależności ryzyka

od dawki. Ponadto potencjalnie współwystępujące czynniki zakłócające, takie jak palenie papierosów i narażenie na azbest w przeszłości, są argumentem przeciwko uznaniu, że sztuczne włókna mineralne, wełna skalna czy szklana, wykazują działanie rakotwórcze. Do podobnych wniosków doszli, używając na poparcie swojej tezy tych samych argumentów, eksperci NTP (2010). Stwierdzili, że w dostępnych badaniach przeprowadzonych u ludzi nie ma dostatecznych dowodów kancerogenności włókien wełny szklanej.

OCENA ZAGROŻEŃ WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA PYŁY TOWARZYSZĄCE WŁÓKNOM MINERALNYM WYSTĘPUJĄCYM W POWIETRZU NA STANOWISKACH PRACY (Szadkowska-Stańczyk i wsp., 2006; Bryła, 2011; Więcek, 2011; Grace, 2016)

W pracach monterskich na stanowiskach instalowania izolacji z wełny mineralnej powstaje duża ilość pyłu.

Pył to drobne cząstki ciała stałego, które mogą stosunkowo długo unosić się w powietrzu. Biologiczne oddziaływanie pyłu na organizm człowieka uzależnione jest od jego rodzaju i składu chemicznego, wielkości jego cząstek, stężenia i czasu narażenia, charakteru działania i sposobu przenikania do organizmu, ciężkości wykonywanej pracy, ale także od wrażliwości osobniczej pracownika, jego cech genetycznych i nabytych.

W skład pyłu powstającego na stanowiskach instalowania izolacji z wełny mineralnej wchodzi różne substancje chemiczne, przede wszystkim krzemionka bezpostaciowa, składniki spoiw, impregnatów, olejów, smarów czy materiałów budowlanych, różniące się wielkością cząstek. Z kolei wielkość cząstek zależy od tego, jaki materiał jest wykorzystywany i jakie narzędzia są używane do jego obróbki. Badania własne wykazały, że w pyłe pobranym na stanowiskach instalowania izolacji z wełny mineralnej nie oznaczono frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej, a stwierdzono wyłącznie obecność krzemionki bezpostaciowej. Krzemionka bezpostaciowa, w przeciwieństwie do krystalicznych odmian polimorficznych krzemionek, nie posiada regularnej sieci krystalicznej i nie przypisuje się jej właściwości rakotwórczych jak krzemionce krystalicznej, która jest uważana za czynnik zwiększający ryzyko rozwoju chorób nowotworowych, przede wszystkim raka płuca. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem nie klasyfikuje krzemionki bezpostaciowej pod względem działania rakotwórczego u ludzi.

Stąd pyły monitorowane na stanowiskach instalowania izolacji z wełny mineralnej można zaliczyć do grupy pyłów niesklasyfikowanych ze względu na toksyczność i można je podzielić – ze względu na rodzaj działania biologicznego, szkodliwego dla człowieka – na pyły o działaniu drażniącym na błony śluzowe dróg oddechowych, zwłókniającym i uczulającym.

Skutkiem przedostania się pyłów zwłókniających (dیتlenek krzemu, piasek, pyły ceramiczne, pyły zawierające włókna szklane) do płuc jest trwałe uszkodzenie pęcherzyków płucnych w postaci zwłóknienia tkanki płucnej, co powoduje wystąpienie pylicy. Pylica płuc to przewlekła choroba układu oddechowego, wywołana długotrwałym wdychaniem pyłów. Termin ten obejmuje szereg chorób, których nazwy pochodzą od wywołujących je pyłów. Pylica charakteryzuje się występowaniem przewlekłego zapalenia oskrzeli i postępowej rozedmy płuc; z czasem dochodzi do powstania tzw. serca płucnego i niewydolności krążenia. Krzemica to odmiana pylicy spowodowana narażeniem na pył dیتlenku krzemu.

Obecnie w Polsce podstawę stwierdzenia występowania zagrożenia pyłami zwłókniającymi w środowisku pracy stanowią wyniki pomiarów stężeń frakcji wdychalnej pyłu i oznaczenia zawartości krystalicznej krzemionki w pyłe. Oceną zwłókniającego działania krzemionek bezpostaciowych zajmowało się wielu badaczy. Uważa się, że nierozpuszczalne w wodzie odmiany krzemionki bezpostaciowej mogą wykazywać działanie zwłókniające, lecz jest ono słabsze niż działanie odmian czystej krzemionki krystalicznej. Jako powikłania krzemicy mogą wystąpić infekcje bakteryjne i grzybicze. Choroby te rozwijają się prawdopodobnie na skutek osłabienia funkcji makrofagów fagocytydujących krzemionkę.

Niektóre pyły, np. pyły pochodzenia organicznego, cząstki szkła, aluminium, żywic, pył kredy, węgla, charakteryzuje działanie drażniące. Pyły te mogą powodować podrażnienie górnych dróg oddechowych i wywoływać chroniczne zapalenie oskrzeli będące skutkiem ciągłego podrażnienia, które z kolei może prowadzić do przewlekłej rozedmy płuc. Narażenie na pyły drażniące może również prowadzić do zapalenia tchawicy, zapalenia płuc i obrzęku płuc. Działanie drażniące na drogi oddechowe manifestuje się występowaniem przewlekłego obturacyjnego schorzenia układu oddechowego, w tym: obniżeniem wartości wskaźników funkcji płuc, szczególnie pojemności życiowej (VC), nateżonej pojemności życiowej (FVC) i nateżonej objętości wydechowej pierwszosekundowej (FEV₁) – notowane szczególnie u palaczy tytoniu narażonych na krzemionkę. Czynnikiem odpowiedzialnym za rozwój przewlekłego zapalenia oskrzeli (PZO) jest odpowiedzialna frakcja pyłu zatrzymywana w oskrzelach,

charakteryzująca się rozmiarami cząstek powyżej 10 μm ; choroba występuje często po niezbyt długim (do 2 lat), ale intensywnym narażeniu na pył i wykazuje także związek z paleniem papierosów.

Pyły o działaniu uczulającym powodują wystąpienie odczynów alergicznych na skórze w miejscach ich kontaktu ze skórą oraz w układzie oddechowym. Pyły te to przede wszystkim pyły pochodzenia organicznego, pyły pochodzenia zwierzęcego, pyły metali. Nie stwierdzono, aby zwykły pył budowlany powodował astmę, ale jego obecność jest szczególnie dokuczliwa dla osób cierpiących na tę chorobę. Podczas kontaktu z pyłem budowlanym u wielu chorych dochodzi do nasilenia objawów astmy, co powoduje konieczność zwiększenia dawki przyjmowanych leków.

Choroby wywołane oddziaływaniem pyłów należą do najczęściej spotykanych chorób zawodowych w Polsce. Zgodnie z Centralnym Rejestrem Chorób Zawodowych Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi (IMP, 2014) w 2014 r. zarejestrowano 610 przypadków zachorowania na pylicę płuc, a w 2017 r. 415 przypadków. Dla porównania, choroby opłucnej lub osierdzia wywołane pyłem azbestu stanowiły w 2017 r. 37 przypadków.

Należy podkreślić, że istnieje też grupa pyłów nierozpuszczalnych lub słabo rozpuszczalnych w płynach ustrojowych, które nie wywołują pylicy płuc, lecz przy dostatecznie dużym stężeniu w środowisku pracy, zazwyczaj powyżej 10 mg/m^3 , mogą istotnie zmniejszać widzialność i gromadzić się w oczach oraz w uszach, powodując nieprzyjemne odczucia. Mogą także uszkodzić skórę lub błony śluzowe na skutek działania chemicznego czy mechanicznego, np. podczas intensywnego czyszczenia skóry. W przeszłości używano dla takich pyłów określenia „pyły powodujące uciążliwość”.

OCENA ZAGROZEŃ WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA INNE CZYNNIKI TOWARZYSZĄCE WŁÓKNOM MINERALNYM WYSTĘPUJĄCYM W POWIETRZU NA STANOWISKACH PRACY

Wełna mineralna może być stosowana jako materiał izolacyjny bez spoiwa jedynie w przypadkach, gdy nie jest wymagana wytrzymałość mechaniczna materiału izolacyjnego. Wełną stosowaną bez spoiwa jest podstawowa wełna szklana powstająca w procesie rozwłókniania, zwana również „luźną białą wełną”. Udział w rynku wełny mineralnej bez spoiwa jest stosunkowo mały – dominują wełny, do których w procesie produkcji dodawane jest

spoiwo. Spoiwa są wodnymi mieszaninami o złożonej formule, których podstawowym składnikiem jest reaktywna kompozycja termoutwardzalna. Spoiwa i zawarte w nich dodatki pozwalają na uzyskanie odpowiednich właściwości użytkowych wełny (wytrzymałość mechaniczna, małe przewodnictwo cieplne, ognioodporność, itd.). Poniżej opisano najważniejsze składniki spoiw i procesy zachodzące, zarówno podczas ich otrzymywania, jak i podczas utwardzania z włóknami wełny, ze wskazaniem najważniejszych substancji emitowanych z wełny mineralnej w wyniku stosowania tych spoiw (Kowatsch, 2010).

Najbardziej popularne są spoiwa na bazie żywicy fenolowej; rzadziej stosuje się inne substancje wiążące, takie jak szkło wodne (tj. krzemiany sodu), poliestry, poliamidy, żywice furanowe, melaminowo-mocznikowo-formaldehydowe, hybrydowe organiczno-nieorganiczne spoiwa polisiloksanowo-poliolowe. Według danych z 2007 r. do produkcji wyrobów z wełny mineralnej używano około 400 000 ton/rok żywicy (Kowatsch, 2010).

Na skalę przemysłową żywice izolacyjne uzyskuje się przez kondensację aromatycznych pochodnych hydroksylowych i aldehydów – najczęściej fenolu i formaldehydu – przy czym ze względów praktycznych formaldehyd (będący w warunkach normalnych gazem) stosuje się w postaci stężonego roztworu wodnego nazywanego zwyczajowo formaliną. Żywice fenolowo-formaldehydowe (PF) można podzielić na rezole i nowolaki różniące się strukturą łańcucha polimerowego. Jako spoiwa wełny mineralnej znalazły zastosowanie głównie rezole, które powstają w reakcji fenolu z nadmiarem formaldehydu w środowisku zasadowym. Żywice rezolowe zawierają przede wszystkim trihydroksymetylową pochodną fenolu oraz dimer, w mniejszych ilościach pochodne di- i monohydroksymetylowe, a także trimer. Rezole są dobrze rozpuszczalne w wodzie i termoutwardzalne. Z kolei w środowisku kwaśnym z fenolu i formaldehydu powstają nowolaki charakteryzujące się brakiem wolnych grup hydroksymetylowych w łańcuchu polimerowym. Nowolaki nie utwardzają się pod wpływem ogrzewania; konieczny jest dodatek środka sieciującego. Są one dużo rzadziej stosowane w procesie produkcji wełny mineralnej (Chemia Stosowana w Drzewnictwie III, 2006/2007; Kowatsch, 2010).

Jak już wspomniano, żywice rezolowe powstają w środowisku zasadowym, najczęściej przy pH 8–9. Aby uzyskać odczyn zasadowy stosuje się, zarówno katalizatory nieorganiczne, jak i organiczne (Kowatsch, 2010).

Katalizatorami nieorganicznymi dla żywic komercyjnych są najczęściej wodorotlenki litu, sodu, potasu, wapnia i baru. Zaletą katalizy

z wodorotlenkami nieorganicznymi jest ich niski koszt, jednak żywice te są podatne na wytrącanie nierozpuszczalnego tetradimeru. Katalizatory nieorganiczne nie są lotne, są więc stosunkowo bezpieczne dla ludzi i środowiska podczas ich stosowania, ale ponieważ pozostają w żywicy, wymagane jest zastosowanie kwasowego utwardzacza. Utwardzacz, np. siarczan(VI) lub fosforan(V) amonu, neutralizuje katalizator, a po utwardzeniu odpowiednie siarczany(VI) i fosforany(V) metali alkalicznych lub metali ziem alkalicznych znajdują się w usieciowanym polimerze, który jest związany z włóknami. Należy tu podkreślić, że jednocześnie powstaje także wodorotlenek amonu, co skutkuje emisją amoniaku. Wszystkie rozpuszczalne sole nieorganiczne obecne w utwardzonej matrycy włókien z wełny mineralnej powodują pogorszenie wytrzymałości na rozciąganie. Im mniejsza rozpuszczalność uzyskanej soli w wodzie, tym większa wytrzymałość wełny włókninowej na rozciąganie. Pod tym względem żywice katalizowane wodorotlenkiem litu wykazują lepszą wytrzymałość na rozciąganie na mokro niż żywice katalizowane wodorotlenkami sodu lub potasu, utwardzone siarczanem(VI) lub fosforanem(V) amonu. Wynika to z mniejszej rozpuszczalności w wodzie siarczanu(VI) i fosforanu(V) litu w porównaniu z ich analogami sodu lub potasu. Także w przypadku żywic katalizowanych wodorotlenkiem wapnia lub baru powstają nierozpuszczalne sole, a ponadto istnieją technologie pozwalające wytrącać związki wapnia lub baru kwasem siarkowym(VI) lub ditlenkiem węgla. Odzyskane w ten sposób siarczany(VI) lub węglany wapnia czy baru można następnie wykorzystać do innych zastosowań przemysłowych (Kowatsch, 2010).

Zastosowanie katalizatorów organicznych daje bezpopiołową żywicę o doskonałej wytrzymałości i dobrej odporności na wilgoć. Ponadto żywice katalizowane organicznie mają lepszą trwałość podczas przechowywania pod względem wytrącania tetradimeru. Katalizatorami organicznymi są trzeciorzędowe alkiloaminy, takie jak trietyloamina (TEA), i trzeciorzędowe alkanoloaminy, takie jak dimetyloetanolamina (DMEA). Żywice katalizowane katalizatorami organicznymi są samoutwardzalne, czyli ich utwardzanie nie wymaga katalizatora kwasowego, koniecznego w przypadku stosowania katalizatorów nieorganicznych. Na przykład TEA ma temperaturę wrzenia 90°C, w związku z czym ulatnia się podczas utwardzania, przesuwając pH żywicy do zakresu kwasowego (kwasowość po odparowaniu wynika ze związków fenolowych). Jediną wadą tej żywicy są toksyczne emisje TEA podczas produkcji wełny. DMEA ma nieznacznie większą temperaturę wrzenia (133°C). Jej zastosowanie pozwala uzyskać żywicę o bardzo zbliżonych właściwościach do tej otrzymanywanej przy użyciu

TEA, ale okazało się, że emisja alkanoloaminy przy jej produkcji jest mniejsza. Wykazano, że trzeciorzędowe alkanoloaminy o większej liczbie atomów węgla w cząsteczce, takie jak 2-dimetyloamino-2-metylopropan-1-ol i 2-(dimetyloamino)-2-(hydroksymetylo)propano-1,3-diol, praktycznie nie ulatniają się podczas utwardzania. Najprawdopodobniej grupa alkanolowa uczestniczy w reakcji sieciowania i jest, przynajmniej częściowo, kowalencyjnie związana z usieciowaną matrycą żywiczną – a więc alkanoloaminy nie są typowymi katalizatorami, chociaż spełniają rolę środków alkalizujących. Wiązanie chemiczne katalizatora z matrycą polimerową ogranicza emisję katalizatora z gotowego produktu. Dodatkową zaletą alkanoloamin jest to, że obecność grupy hydroksylowej w cząsteczce aminoalkoholu powoduje, że działa on jako plastyfikator i zwiększa przepływ gorącej stopionej żywicy, podwyższając w ten sposób wydajność żywicy i pozwalając na silniejsze jej związanie z włóknami (Kowatsch, 2010).

Uzyskana żywica PF (przed utwardzeniem) zawiera pozostałości nieprzereagowanego fenolu pomimo stosowania nadmiaru formaldehydu. W żywicach niskofenolowych zawartość ta wynosi poniżej 0,4%. Jednak ze względu na duże ilości stosowanej żywicy emisja fenolu do środowiska jest dla producentów wełny istotnym problemem. Teoretycznie zastosowanie jeszcze większego nadmiaru formaldehydu może spowodować dalsze zmniejszenie zawartości fenolu, ale jednocześnie zwiększa się ilość nierozpuszczalnych struktur oligomerycznych powstających w wyniku reakcji kondensacji. Oligomery zmniejszają rozpuszczalność żywicy w wodzie i wytrącają się z roztworów wodnych, co jest zjawiskiem niepożądanym w procesie produkcji wełny (Kowatsch, 2010).

Surowe żywice zawierają dużą ilość wolnego nieprzereagowanego formaldehydu (5–15%). Gdyby stosowano je do produkcji wełny mineralnej bez dalszej obróbki, emisja formaldehydu spowodowałaby zanieczyszczenie środowiska na dużą skalę. Aby zminimalizować poziom wolnego formaldehydu, do żywicy rezolowej PF dodaje się zmiatacze formaldehydu, czyli związki zawierające grupy aminowe zdolne do reagowania z wolnym formaldehydem. Najtańszym zmiataczem formaldehydu, a przy tym charakteryzującym się małą toksycznością, jest mocznik. Dlatego jest on najczęściej stosowany, a otrzymane przy jego udziale żywice są nazywane żywicami fenolowo-formaldehadowo-mocznikowymi (PFU). Zmiataczem formaldehydu może być także amoniak, ale ze względu na jego toksyczność jest rzadziej stosowany. Często stosowanymi zmiataczami są także melamina i dicyjanodiamid (Kowatsch, 2010).

Oprócz opisanych powyżej składników spoiwo zawiera także szereg innych, poprawiających właściwości użytkowe wełny. Przykładowo jako środki zmniejszające pylenie i zwiększające właściwości hydrofobowe stosuje się oleje mineralne o wysokiej temperaturze zapłonu. Do spoiw dodawane są emulgatory, których zadaniem jest utworzenie stabilnej emulsji wodnej frakcji spoiwa w połączeniu z olejem mineralnym, przynajmniej do czasu, gdy spoiwo zostanie użyte do produkcji wełny mineralnej. Dodatek niewielkich ilości silanów zwiększa wytrzymałość wełny mineralnej na rozciąganie. Najczęściej stosowany jest γ -aminopropylotrietoxydimetyloetyloamoniowy, który w warunkach zasadowych lub kwasowych ulega hydrolizie, tworząc γ -aminopropylodimetyloetyloamoniol. Jako wypełniacze używane są np. węglowodany, kwas poliakrylowy, melamina, dicyjanodiamid, klej do kości zwierzęcych, alkohol poliwinylowy i ligniny. Wypełniacze zmniejszają koszt spoiwa, a także emisję lotnych związków organicznych. Ponieważ jednocześnie zmniejszają wytrzymałość wełny mineralnej na rozciąganie, stosuje się je w niewielkich ilościach (Kowatsch, 2010).

Dane literaturowe wskazują na możliwość emisji wielu lotnych związków organicznych (LZO) pochodzących ze spoiw w miejscach produkcji wełny mineralnej. Należą do nich m.in. fenol, hydroksymetylofenol, formaldehyd oraz amoniak i trimetyloamina. Emisja fenolu wynika z obecności jego pozostałości w żywicy. Emisja formaldehydu jest związana, zarówno z obecnością pozostałości formaldehydu w żywicy, jak i z jego powstawaniem podczas utwardzania żywicy. Amoniak pochodzi z reakcji, którym w procesie utwardzania ulega mocznik, a także z wodorotlenku amonu – wodorotlenek amonu powstaje w wyniku reakcji siarczanu(VI) lub fosforanu(V) amonu z nieorganicznymi katalizatorami zasadowymi. Bywa też dodawany do spoiwa w celu uzyskania odczynu zasadowego i stabilizacji oligomerów. Siarczan(VI) amonu może wchodzić w reakcję z wolnym formaldehydem, prowadząc do powstania siarczanu heksametyloheksametyloaminy. W wysokich temperaturach, powyżej 350°C, w wyniku reakcji z azotem obecnym w powietrzu, mogą również powstawać izocyjaniany, głównie izocyjanian metylu. Za czynniki, w przypadku których redukcja emisji jest szczególnie istotna, uważa się amoniak, formaldehyd i fenol, dlatego poniżej opisano bardziej szczegółowo działanie tych substancji na zdrowie człowieka (Kowatsch, 2010). Dla substancji tych są określone wartości NDS w powietrzu środowiska pracy w Polsce. Dodatkowo omówiono działanie trimetyloaminy, która również ma ustaloną wartość NDS (rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018). Należy podkreślić, że opisane w piśmiennictwie emisje dotyczą procesu produkcji wełny mineralnej. W piśmiennictwie nie znaleziono

informacji o ewentualnych stężeniach emitowanych lotnych związków organicznych w warunkach stosowania wyrobów z wełny mineralnej. W gotowych wyrobach zawartość żywicy wynosi zwykle mniej niż 15%, oleju mineralnego mniej niż 1%, pozostałości innych substancji zastosowanych w procesie produkcji są śladowe – mniej niż 0,1%. Producenci wełny mineralnej zwracają uwagę na możliwość uwolnienia i rozkładu termicznego substancji tworzących spoiwo wełny mineralnej podczas ekspozycji wełny na podwyższoną temperaturę – uwolnione substancje w wysokich stężeniach mogą podrażniać oczy i układ oddechowy (ICANZ Insulation Council of Australia and New Zealand, 2009; Knauf Insulation, 2019).

Formaldehyd (Kupczewska-Dobacka, 2008)

Główne skutki działania formaldehydu obejmują działanie drażniące, cytotoksyczne i genotoksyczne oraz rakotwórcze. Zgodnie z opinią grup eksperckich, u pracowników przewlekle narażonych na formaldehyd istotne podrażnienie błon śluzowych nosa obserwowano po narażeniu na formaldehyd o średnim stężeniu $1,23 \text{ mg/m}^3$, a stężenie $0,26 \text{ mg/m}^3$ uznano za stężenie, w którym działanie drażniące może wystąpić u niewielkiej, lecz znaczącej liczby narażonych pracowników. Działanie rakotwórcze formaldehydu jednoznacznie wykazano na podstawie wyników badań na szczurach w kilku eksperymentach inhalacyjnych. Nowotwory, w przeważającej większości raki płaskonabłonkowe nosa, ale również brodawczaki i polipy gruczolakowate, pojawiały się we wszystkich grupach szczurów narażonych na formaldehyd o stężeniu około 17 mg/m^3 przez co najmniej 1,5 roku. Najmniejsze stężenie formaldehydu, po którym pojawiły się u szczurów raki płaskonabłonkowe nosa, wynosiło $6,8 \text{ mg/m}^3$. W badaniach na zwierzętach wyznaczono wartości NOAEC/LOAEC dla następujących skutków działania formaldehydu:

- dla regeneracyjnej replikacji/prolifracji komórek wynikającej z podrażnienia cytotoksycznego u gryzoni: NOAEC – 2 ppm ($2,46 \text{ mg/m}^3$) i LOAEC – 4 ppm ($4,92 \text{ mg/m}^3$),
- dla uszkodzenia nabłonka nosa – wyrażonego zmianami histopatologicznymi jak: hiperplazja i dysplazja komórek nabłonka, metaplazja płaskonabłonkowa, katar, nacieczenie komórek i obrzęki: NOAEC – 1 ppm ($1,23 \text{ mg/m}^3$) (LOAEC nie wyznaczono),
- dla istotnego wzrostu przypadków płaskonabłonkowego raka nosa: NOAEC – 2 ppm ($2,46 \text{ mg/m}^3$) i LOAEC – 6 ppm ($7,38 \text{ mg/m}^3$).

Badania epidemiologiczne pracowników zawodowo narażonych na formaldehyd są obecnie liczne i dotyczą zasadniczo 3 subpopulacji, tj. badania kohortowe grupy zatrudnionych w przemyśle (głównie produkcja i przetwórstwo formaldehydu i żywic formaldehydowych, przemysł chemiczny i przemysł drzewny) oraz badania kliniczno-kontrolne grupy typowanej z kohort przemysłowych bądź z populacji ogólnej oraz grupy osób pracujących w zawodach nieprzemysłowych w kontakcie z formaldehydem (np. zatrudnieni w szpitalach, laboratoriach i prosektoriami). Badania te, choć liczne, dają niejednoznaczne wyniki i nie pozwalają na pełną i niepodważalną ocenę rakotwórczości formaldehydu dla ludzi. W 2012 r. Europejska Agencja ds. Chemikaliów zaklasyfikowała formaldehyd według klas i/lub kategorii zagrożenia CLP do klasy „Rakotwórczość” Carc. 1B: Substancje, co do których wiadomo lub istnieje domniemanie, że są rakotwórcze dla człowieka. W przypadku ludzi oceniono, że istniejące dowody na zwiększone ryzyko wystąpienia raka nosogardła są niewystarczające, a obecnie nie istnieją spójne i silne epidemiologiczne dowody, że formaldehyd jest związany przyczynowo z jakimkolwiek nowotworem układu krwiotwórczego. Obliczono, że narażenie zawodowe na formaldehyd w stężeniu $0,37 \text{ mg/m}^3$, przy obciążeniu „lekką pracą” zawodową 8 godz./dzień, 5 dni/tydz. przez 40 lat, przy założeniu 80 lat życia, w narażeniu środowiskowym na stężenie 4 ppb generuje ryzyko dodatkowego nowotworu nosa na poziomie $4,14 \cdot 10^{-6}$ dla palących i $1,79 \cdot 10^{-7}$ dla niepalących.

Formaldehyd jest związkiem działającym uczulająco na skórę. Częstym następstwem zawodowego kontaktu z gazowym formaldehydem lub jego roztworami są miejscowe odczyny skórne. Najczęściej spotykane są kontaktowe dermatozy i egzemy skóry dłoni, rąk, twarzy (również powiek) i szyi. Mogą one pojawić się po kilku dniach lub dopiero po kilkunastu latach zatrudnienia. Niekiedy alergiczne odczyny powstają natychmiastowo jako swędzące pokrzywki. Objawy skórne obserwowano u pracowników produkujących żywice formaldehydowe i u personelu szpitalnego.

Istnieją doniesienia mówiące o przypuszczalnym związku etiologicznym pomiędzy narażeniem na formaldehyd a dolegliwościami astmatycznymi i zmianami obturacyjnymi oskrzeli. Niewielkie obniżenie natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej (FEV_1), maksymalnie o około 5%, stwierdzono u niepalących narażonych na formaldehyd podczas znacznego wysiłku.

W Polsce obowiązuje wartość NDS formaldehydu 0,37 mg/m³ oraz NDSch 0,74 mg/m³ (rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018).

Fenol (Jakubowski, 2003)

Fenol jest związkiem działającym silnie drażniąco i żrąco na skórę i błony śluzowe, głównie w miejscu kontaktu, powodując zaczerwienienie, stany zapalne skóry, odbarwienia, wypryski i martwicę. Zatrucia przewlekłe fenolem wywoływały brak apetytu i spadek masy ciała, zawroty głowy, łzawienie oraz ciemne zabarwienie moczu. W niektórych przypadkach występowało odkładanie się ciemnego barwnika w twardówce oczu oraz w skórze nosa.

Fenol, zarówno w postaci par, jak i cieczy, może ulegać wchłanianiu przez płuca, z przewodu pokarmowego i przez skórę. Retencja par fenolu w płucach wynosi u ludzi około 60–80%. Związek ten ulega wchłanianiu przez skórę z dużą wydajnością, zarówno w przypadku bezpośredniego kontaktu, jak i w postaci par. Ilości fenolu wchłoniętego w postaci par przez skórę były proporcjonalne do stężenia fenolu w powietrzu. Obliczony współczynnik wchłaniania wynosił około 0,35 m³/godz. Szybkość wchłaniania fenolu przez skórę z roztworów wodnych wynosiła 0,08–0,3 mg/cm²/godz. w zakresie stężeń 2,5–10 g/l.

Do ostrych zatruc, a nawet zgonu, może prowadzić kontakt skóry z fenolem lub jego roztworami. Przypadki zgonu miały miejsce np. w wyniku stosowania okładów z 2% wodnego roztworu fenolu na 30% powierzchni ciała w celu zapobiegania infekcji po oparzeniu. Wchłanianie fenolu przez skórę prowadziło także do działania układowego: arytmii serca, obniżenia ciśnienia krwi, uszkodzenia nerek, bezmoczności i wzrostu stężenia kreatyniny w surowicy, zmiany koloru moczu na ciemnozielony, dezorientacji, zawrotów głowy, omdleń. Miejscowe efekty działania fenolu na skórę obejmują rumień i bezbolesne blednięcie, a w cięższych przypadkach nadżerki i martwicę. Obserwowano przypadki niebieskoczarowego zabarwienia skóry oraz zmniejszenia czucia bólu w miejscu kontaktu z fenolem.

Fenol wywiera działanie drażniące na układ oddechowy. Wartość RD₅₀ (dawka powodująca redukcję akcji oddechowej do 50% wartości należnej), określona w eksperymentach na myszach, wyniosła 624 mg/m³.

Wyniki badań mutagenności nie są jednoznaczne, co wskazuje, że w niektórych przypadkach przy zastosowaniu wysokich dawek fenol lub jego metabolity mogą działać mutagennie i genotoksycznie. W eksperymentach na zwierzętach przeprowadzonych przez National Cancer Institute (NCI) fenol wywoływał statystycznie istotny wzrost liczby przypadków guzów chromochłonnych gruczołów nadnerczy, białaczek i chłoniaków w 1 grupie u samców szczura po dawce 322/mg/kg/dzień. Nie potwierdzono działania rakotwórczego fenolu u ludzi.

W Polsce obowiązuje wartość NDS fenolu 7,8 mg/m³ oraz NDSC 16 mg/m³ (rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018).

Amoniak (Tarkowski i Tarkowski, 2003)

Amoniak jest bezbarwnym gazem o ostrym, odpychającym zapachu wyczuwalnym w zakresie stężeń od 0,6 do 40 mg/m³. Działa silnie drażniąco na błony śluzowe dróg oddechowych, oczy oraz skórę. Skutki powtarzanego narażenia na amoniak są przede wszystkim związane z jego działaniem drażniącym na górne drogi oddechowe. Wywołuje przykre uczucie pieczenia w gardle, kaszel, ślinotok, nudności, łzawienie i bóle głowy. Szczególnie niebezpieczny jest dla rogówki oka, powodując jej nieodwracalne zmętnienie i owrzodzenie. Najniższe stężenie, w którym obserwowano drażnienie górnych dróg oddechowych i oczu oraz pogorszenie funkcji oddechowej płuc wynosiło 70 mg/m³ (LOAEL).

U ochotników eksponowanych na amoniak w stężeniu 94 mg/m³ przez 5 min stwierdzono silne podrażnienie śluzówki nosa. W stężeniu 35 mg/m³ niektóre osoby narzekały na wysuszenie błon śluzowych nosa. Ekspozycja 30-sekundowa na amoniak w stężeniu 70 mg/m³ powodowała wzrost oporu dróg oddechowych. W innym badaniu 10-minutowa ekspozycja na amoniak w stężeniu 35 mg/m³ wywołała u 4 spośród 6 osób umiarkowane podrażnienie nosa. Ponadto ostre narażenie na wysokie stężenia amoniaku może być przyczyną rozwoju takich schorzeń jak rozstrzenie oskrzeli, zapalenie zatok, i słabiej udokumentowanych chronicznej obturacyjnej choroby płuc i astmy.

Wielu przypadkom ekspozycji inhalacyjnej na amoniak towarzyszy narażenie dermalne. Skutkiem narażenia na pary stężonego amoniaku są poparzenia, tworzenie się pęcherzy, uszkodzenie skóry.

Narażenie na amoniak drogą inhalacyjną może wywierać szkodliwy wpływ na układy sercowo-naczyniowy, szkieletowo-mięśniowy, a także zmieniać morfologię krwi – ale tylko gdy dochodzi do ekspozycji ostrej na wysokie stężenia tego związku.

W piśmiennictwie brak jest informacji o teratogennym, genotoksycznym lub kancerogennym działaniu amoniaku.

W Polsce obowiązuje wartość NDS amoniaku 14 mg/m^3 oraz NDSch 28 mg/m^3 (rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018).

Trimetyloamina (Jankowska i Czerczak, 2018)

Trimetyloamina (TMA) jest palnym gazem o ostrym charakterystycznym zapachu zepsutych ryb. Próg zapachowy TMA znajduje się w przedziale $0,5\text{--}1,9 \text{ }\mu\text{g/m}^3$. Trimetyloamina bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie. Głównym skutkiem jej ostrego i przewlekłego działania u zwierząt i ludzi jest działanie drażniące. Trimetyloamina może być szkodliwa dla ludzi narażonych drogą inhalacyjną, pokarmową lub przez skórę. Narządami krytycznymi w przypadku narażenia na TMA są oczy, skóra i górne drogi oddechowe. Próg działania drażniącego TMA u ludzi narażonych jednorazowo został ustalony na $1\,481 \text{ mg/m}^3$ (mediana). U narażonych zawodowo na związek o stężeniu $48,5 \text{ mg/m}^3$ i większym obserwowano umiarkowane skutki działania drażniącego na układ oddechowy i oczy oraz skórę. U ludzi narażonych na związek w stężeniach $0,24\text{--}19,5 \text{ mg/m}^3$ (głównie poniżej 12 mg/m^3), nie obserwowano skutków zdrowotnych narażenia.

Trimetyloamina nie wykazuje działania mutagennego ani genotoksycznego. W dostępnym piśmiennictwie i bazach danych nie znaleziono informacji odnośnie jej rakotwórczego działania.

W badaniu na działanie drażniące sensoryczne (czuciowe) na myszach wyznaczona wartość RD_{50} dla TMA w teście przeprowadzonym na samcach myszy Swiss OF1 wynosi $147,62 \text{ mg/m}^3$.

W Polsce obowiązuje wartość NDS trimetyloaminy 12 mg/m^3 oraz NDSch 24 mg/m^3 (rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018).

OCENA POTENCJALNEGO DZIAŁANIA RAKOTWÓRCZEGO WEŁNY MINERALNEJ NOWEGO TYPU W ZALEŻNOŚCI OD JEJ SKŁADU, W ŚWIETLE AKTUALNYCH BADAŃ

W wyniku intensywnych badań nad skutkami zdrowotnymi sztucznych włókien mineralnych produkowanych w latach 80. oraz 90., ich skład został zmodyfikowany w celu zredukowania ich potencjału fibrogennego i kancerogennego poprzez zmniejszenie biotrwałości. **Stwierdzono, że większość badanych sztucznych włókien mineralnych nowego typu może być sklasyfikowana jako „wełna wysokoglinowa, niskokrzemowa”. Jednak okazało się, że średni skład wełny skalnej nowego typu różni się od historycznej biotrwałej w mniejszym stopniu, niż się spodziewano.** Biorąc pod uwagę, że współczesne sztuczne włókna mineralne ze spoiwem mają rzeczywiste szybkości biorozpuszczania w zakresie 6–171 ng/cm²/godz. (graniczny zakres skorelowany z początkiem zwłóknienia płuc i guzów klatki piersiowej) (IARC, 2002) oraz zawartość frakcji respirabilnej wdychanych włókien, ocena ryzyka dotycząca współczesnej wełny skalnej może wymagać ponownej weryfikacji.

Należy podkreślić, że w badaniach sprzed 1995 r. celowo usuwano spoiwo z produktów komercyjnych poprzez zimne spopielanie w ozonie i wówczas badano bioodporność włókna. W badaniach *in vivo* prowadzonych w latach 2000–2002, które były kluczowe dla WHO oraz IARC, w ocenie wełen wysokoglinowych i niskokrzemowych używano włókien wyprodukowanych bez spoiwa oraz oleju.

Wohlleben i wsp. (2017) przedstawili dowody wskazujące, że **nie można wykluczyć narażenia inhalacyjnego pracowników na włókna respirabilne wełny mineralnej nowego typu.**

Strategia badaczy polegała na ocenie:

- składu obecnie stosowanych na placach budów sztucznych włókien mineralnych,
- szybkości biorozpuszczania (rozpuszczania *in vitro*) sztucznych włókien mineralnych nowego typu,
- wielkości frakcji respirabilnej, która powstaje podczas pracy z włóknami nowego typu oraz porównaniu obecnie stosowanych na placach budów sztucznych włókien mineralnych z literaturowymi materiałami odniesienia MMVF21, tj. włókno o niskiej biorozpuszczalności produkowane przed 1995 r. i MMVF34, tj. inaczej identyfikowane jako

welna mineralna HT lub welna kamienna o wysokiej biorozpuszczalności (CAS: 287922-11-6). Najwyższą biorozpuszczalność miał MMVF34, badany bez spoiwa.

Wohlleben i wsp. (2017) przedstawili badania składu 23 nowego typu sztucznych włókien mineralnych z Niemiec, Finlandii, Wielkiej Brytanii, Danii, Rosji, Chin (5 różnych producentów) oraz 1 włókna mineralnego sprzed 1995 r. Naukowcy pozyskali sztuczne włókna mineralne bezpośrednio z placów budowy i zbadali ich właściwości bez dalszych modyfikacji.

Wszystkie zbadane materiały zawierały SiO₂ o wąskim zakresie stężenia od 40% do 44%, średnio 42%. Poza składnikami nieorganicznymi we wszystkich MMVF wykryto związki organiczne w ilości 0,9–4,2% całkowitej masy próbek. Składniki organiczne zostały zidentyfikowane jako spoiwo, olej, żywice, itp. pokrywające powierzchnie włókien. Stwierdzono polidispersyjny rozkład średnicy włókien, która wynosiła od poniżej 2 μm do powyżej 20 μm. Włókna często zawierały duże niewłókniste cząstki o rozmiarze rzędu 200 μm.

Zauważono, że większość dostępnych badań biorozpuszczalności obejmuje analizę włókien mineralnych z usuniętym spoiwem. Wohlleben i wsp. (2017) oszacowali biorozpuszczalność 14 włókien mineralnych ze spoiwem i bez spoiwa. Za biotrwale włókno referencyjne uznano włókno MMVF21, natomiast za włókno referencyjne nowego typu uznano włókno o wysokiej biorozpuszczalności, nierakotwórcze, niepowodujące ujemnych skutków zdrowotnych po długotrwałej inhalacji – włókno MMVF34 (Kamstrup, 2002). W badaniach wykazano, że stopień biorozpuszczalności biotrwałego włókna MMVF21 bez spoiwa wynosił 47 ng/cm²/godz., a włókna MMVF34 bez spoiwa – 831 ng/cm²/godz. (przy pH = 4,5). W tych samych warunkach stopień rozpuszczenia sztucznych włókien mineralnych nowego typu w postaci handlowej ze spoiwem wynosił średnio 41 ng/cm³/godz. (tab. 3.) (Wohlleben i wsp., 2017). Można stwierdzić, że spoiwo ma znaczący wpływ na biorozpuszczalność włókna. Welny mineralne nowego typu były pokryte w 2,8 ± 1,0% środkiem wiążącym.

Według Wohlleben i wsp. (2017) wyniki bezpośredniego porównania kinetyki rozpuszczania dowodzą istotnego przyspieszenia rozpuszczania welny kamiennej po usunięciu spoiwa. Usunięcie spoiwa zwiększało znacząco rozpuszczalność, jednak nie do poziomu rozpuszczania referencyjnego, biorozpuszczalnego MMVF34. Szybkości rozpuszczania przy pH 4,5 dla włókien produkowanych w latach 90. są o rząd wielkości mniejsze niż te, które wyznaczono dla biorozpuszczalnego MMVF34.

Pomimo zmniejszenia zawartości SiO₂ w przeciętnym MMVF nowego typu w porównaniu do historycznego wzorcowego MMVF21, zmierzone średnie szybkości rozpuszczania przy pH, zarówno 7,4, jak i 4,5, są w granicach 20% identyczne z MMVF21. Wyjaśniano to obecnością środka wiążącego (do 4%), który powleka MMVF i ma znaczący wpływ na rozpuszczanie, prawdopodobnie poprzez sprzyjanie tworzenia się warstwy żeluz. Powstawanie żeluz podczas rozpuszczania MMVF ze spoiwem odnotowano już w 1984 r. w materiałach WHO, w których szczegółowo omówiono jego wpływ na spowolnienie procesu rozpuszczania. Guldberg i wsp. (2002) podkreślili w swoich badaniach rozpuszczania (*degradacji*) wysokoglinowych MMVF o niskiej zawartości krzemionki, testowanych bez spoiwa, że formowanie żeluz zostało zredukowane, co przypisali wzrostowi stosunku Al/(Al+Si).

Tabela 3.

Porównanie średniego składu i biorozpuszczalności sztucznych włókien mineralnych nowego typu z Niemiec, Finlandii, Wielkiej Brytanii, Danii, Rosji, Chin (zestaw testowy ze spoiwem), historycznego włókna (MMVF21) i włókna HT (MMVF34)

Skład	MMVF34 (włókno HT o dużej biorozpuszczalności) bez spoiwa	MMVF21 (włókno o małej biorozpuszczalności) bez spoiwa	Zestaw testowy ze spoiwem		
			średnio	min.	maks.
Skład					
SiO ₂	39	46	42	40	44
Al ₂ O ₃	23	13	19	15	24
CaO	15	17	28	16	33
MgO	10	9			
Fe _x O _y	7	6	7	1	10
$\frac{Al}{Al + Si}$	0,41	0,25	0,34	0,29	0,38
Biorozpuszczalność					
pH 4,5	831	47	41	17	171
pH 7,4	58	23	20	6	35

W pracy zasymulowano tworzenie się aerozolu MMVF podczas użytkowania lub usuwania wełny i zmierzono rozmiar frakcji aerozolowej. Respirabilna frakcja nowego typu MMVF, która jako frakcja deponowana w obszarze wymiany gazowej ma największe znaczenie w przypadku pylicy płuc, jest mała, jednak nie mniejsza niż w przypadku włókien sprzed 1995 r. Obszar wymiany gazowej – pęcherzyki płucne i związane z nimi przewody pęcherzykowe – nie posiadają migawek. Cząstki pyłu usuwane są bardzo powoli przez dyfuzję. Niektóre cząstki są pochłaniane przez komórki zwane fagocytami, inne wnikają w ścianki pęcherzyków i trafiają do układu

limfatycznego; część ulega rozpuszczeniu. Ponieważ cząstki zanieczyszczeń pozostają tu przez długi czas, mogą doprowadzić do wielu chorób, np. rozedmy płuc, pylicy, a nawet nowotworów.

Aby zasymulować pracę z MMVF, próbki o masie pomiędzy 100 g a 400 g były rozdrabniane w młynie obrotowym. Rozkład rozmiaru cząstek tak otrzymanego pyłu MMVF określono następnie poprzez pomiary w kaskadzie cyklonów. Dla wszystkich zbadanych próbek MMVF około 59–75% całkowitej masy pyłu ma średnicę aerodynamiczną większą niż 10 μm . Dla MMVF nowego typu udział frakcji cyklonowych o średnicach aerodynamicznych poniżej 7,6 μm waha się w granicach 0,29–6,29% zmielonej masy MMVF. Rozrzut wyników dla tej frakcji jest znaczny, jednak średnio nie różni się on od wartości 3,65% odczytanej dla pyłu historycznego MMVF#17, wyprodukowanego przed 1995 r. Rozrzut wyników dla kolejnej frakcji o średnicach aerodynamicznych poniżej 4,2 μm wynosi 0,02–0,22% dla współczesnych MMVF, a dla MMVF#17 – 0,04%. Jedno z włókien nowego typu MMVF#5 charakteryzowało się znacząco mniejszą pylistością, ponieważ było miękkie i grudkowate już w trakcie mielenia (tab. 4.).

Tabela 4.

Frakcjonowanie aerozolu MMVF – udziały masowe frakcji w odniesieniu do całkowitej początkowej masy

Średnica aerodynamiczna włókna	MMVF#2	MMVF#5	MMVF#12	MMVF#17 (sprzed 1995 r.)
< 7,6 μm	2,4%	0,29%	6,29%	3,65%
< 4,1 μm	0,22%	0,02%	0,13%	0,04%
< 1,2 μm	0,08%	0,01%	0,08%	0,01%
< 0,3 μm	0,03%	<< 0,01%	0,04%	<< 0,01%
< 0,1 μm	<< 0,01%	<< 0,01%	<< 0,01%	<< 0,01%

Wohlleben i wsp. (2017) wnioskuje, że frakcja respirabilna współczesnych MMVF, oceniana przez granicę 4 μm , jest nie mniejsza niż w MMVF sprzed 1995 r. Należy przypomnieć, że IARC (2002) zebrała dowody na powstawanie pyłu respirabilnego, zawierającego włókna w szerokim przedziale stężeń 0,01–1 włókna/ cm^3 , zarówno przy produkcji MMVF, jak i podczas ich instalacji na budowach. **Podsumowując, nie można zatem wykluczyć narażenia inhalacyjnego na włókna respirabilne nowego typu włen mineralnych.**

KLASYFIKACJA DZIAŁANIA RAKOTWÓRCZEGO SZTUCZNYCH WŁÓKIEN MINERALNYCH WEDŁUG MIĘDZYNARODOWEJ AGENCJI BADAŃ NAD RAKIEM (2002)

Na podstawie analizy dostępnej literatury w 2002 r. grupa robocza IARC zaklasyfikowała izolacyjną wełnę szklaną, szklane włókna ciągłe, wełnę skalną i wełnę żuźlową do grupy 3, czyli do czynników, które nie mogą być klasyfikowane pod względem działania rakotwórczego dla ludzi (tab. 5.) (IARC, 1988; 2002).

Tabela 5.
Klasyfikacja działania rakotwórczego włókien mineralnych według IARC

Rodzaj włókien	Grupa rakotwórczości
Wełna szklana	Grupa 3: czynniki, które nie mogą być klasyfikowane pod względem działania rakotwórczego dla ludzi
Wełna skalna	Grupa 3: czynniki, które nie mogą być klasyfikowane pod względem działania rakotwórczego dla ludzi
Włókna HT	brak klasyfikacji

Wyniki najnowszych badań kohortowych i kliniczno-kontrolnych pracowników narażonych na działanie wełny szklanej i ciągłego włókna szklanego oraz wełny kamiennej i żuźlowej nie dostarczyły spójnych dowodów na związek między narażeniem na włókna i ryzykiem raka płuca lub międzybłoniaka u ludzi.

Badania te, podobnie jak wszystkie badania epidemiologiczne, mają ograniczenia, o których należy pamiętać podczas interpretowania ich wyników. Chociaż stosowane w nich metody oceny narażenia są znacznie lepsze niż w większości badań epidemiologicznych, nadal istnieje możliwość błędnego klasyfikowania narażenia. Warto zauważyć, że badania te nie mogły w pełni zanalizować wszystkich zagrożeń dla pracowników narażonych na działanie włókien. W niektórych pracach uwzględniono informacje na temat palenia papierosów przez pracowników i dane o innych potencjalnych czynnikach zakłócających, jednak nie zawsze zostały one skorygowane poprawnie, co mogło mieć wpływ na ocenę. Obawy budzi również fakt, że przeprowadzone oszacowania opierały się głównie na informacjach o zgonach narażonych pracowników. Zwrócono także uwagę na błędne klasyfikowanie międzybłoniaka opłucnej. **Wreszcie, chociaż badania epidemiologiczne były szeroko zakrojone, ich wiarygodność w świetle standardów epidemiologicznych może być ograniczona przez**

fakt, że poziomy ekspozycji na włókna respirabilne były niskie w przypadku większej części badanej populacji.

Największe obawy dotyczą oceny ryzyka raka płuca dla pracowników w branży budowlanej, którzy używają lub usuwają produkty z wełny skalnej i żuźlowej i mogą być narażeni na wysokie stężenia włókien w krótszych odstępach czasu. W przypadku tej populacji dostępne do oceny ryzyka dane są bardzo ograniczone. Wnioski i konkluzje IARC dotyczące rakotwórczości sztucznych włókien mineralnych zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6.

Wnioski i konkluzje IARC dotyczące rakotwórczości sztucznych włókien mineralnych

U ludzi	U zwierząt
WEŁNA SZKLANA	
<p>Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem oceniła, że nie ma wystarczających dowodów na działanie rakotwórcze wełny szklanej u ludzi.</p> <p>Wyniki badań kohortowych nie dostarczyły dowodów na występowanie dodatkowych przypadków nowotworów u pracowników narażonych przewlekłe (tj. więcej lub równo 5 lat). Zauważono, że palenie tytoniu może wyjaśniać nadwyżkę raka dróg oddechowych obserwowanego głównie w kohorcie męskiej narażonej na włókna szklane (wata szklana i ciągłe włókno szklane). Standaryzowane współczynniki umieralności z powodu raka układu oddechowego nie były związane z okresem trwania zatrudnienia, z czasem trwania ekspozycji, skumulowanym narażeniem lub średnią intensywnością ekspozycji na respirabilne włókna szklane. Nie stwierdzono nadwyżki międzybłoniaka opłucnej lub nowotworów innych narządów.</p> <p>Europejskie badanie kohortowe pracowników narażonych na wełnę szklaną wykazało zwiększoną śmiertelność z powodu raka płuca, ale nie wykazywało trendu w zależności od czasu pierwszego zatrudnienia i okresu zatrudnienia. W tej kohorcie zaobserwowano 1 przypadek śmierci z powodu międzybłoniaka opłucnej. W badaniu nie było dostępnych informacji o narażeniu łącznym z innymi substancjami chemicznymi oraz o zwyczajach palenia tytoniu u pracowników.</p>	<p>Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem oceniła, że istnieją ograniczone dowody na działanie rakotwórcze wełny szklanej u zwierząt doświadczalnych.</p> <p>Wełna szklana izolacyjna została przetestowana w dobrze zaprojektowanych, długotrwałych badaniach inhalacyjnych u szczurów i chomików. Nie zaobserwowano znaczącego wzrostu częstości występowania guzów płuc i międzybłoniaka u zwierząt. Jako kontrolę pozytywną stosowano 2 różne rodzaje azbestu.</p> <p>Dwie izolacyjne wełny szklane, które nie powodowały wzrostu nowotworów po podaniu wziewnym, wywoływały międzybłoniaki po wstrzyknięciu do jamy otrzewnowej szczurów w dużych dawkach (około 10⁹ włókien).</p>

U ludzi	U zwierząt
WEŁNA KAMIENNA (SKALNA) I ŻUŻŁOWA	
<p>Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem oceniła, że nie ma wystarczających dowodów na działanie rakotwórcze wełny skalnej (kamiennej), żużła kamiennego u ludzi.</p> <p>Obecna ocena opiera się głównie na badaniach kohortowych i kliniczno-kontrolnych, w których ekspozycja na wełnę kamienną i ekspozycja na wełnę żużłową nie były rozpatrywane osobno.</p> <p>Rozszerzona obserwacja kohorty amerykańskiej wykazała, że ryzyko wystąpienia raka dróg oddechowych w kohorcie jest porównywalne z ryzykiem szacowanym przy zastosowaniu krajowych lub lokalnych wskaźników porównawczych. Nie znaleziono związku z czasem ekspozycji lub czasem od pierwszej ekspozycji. Zagnieżdżone badanie kliniczno-kontrolne nie wykazało związku między rakiem dróg oddechowych a szacunkową skumulowaną ekspozycją na włókna respirabilne.</p> <p>Rozszerzona kontynuacja europejskiego badania kohortowego wskazała na ogólne podwyższone ryzyko wystąpienia raka płuca, gdy stosowano krajowe wskaźniki porównania. Badanie to wykazało rosnące ryzyko raka płuca w czasie licznym od pierwszej ekspozycji. Najwyższy standaryzowany wskaźnik śmiertelności stwierdzono wśród pracowników zatrudnionych najdłużej od pierwszego zatrudnienia oraz wśród osób zatrudnionych po raz pierwszy we „wczesnej fazie technologicznej”, tj. przed wprowadzeniem oleju i środków wiążących oraz zastosowaniem metody przetwarzania wsadowego. Jednak w badaniu kliniczno-kontrolnym zawierającym szczegółowe informacje na temat narażenia na włókna, uwzględniającym nawyk palenia tytoniu i potencjalne zawodowe czynniki zakłócające, nie stwierdzono zwiększonego ryzyka raka płuca. Nie wykazano zwiększonego ryzyko wystąpienia międzybłoniaków opłucnej lub innych nowotworów.</p>	<p>Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem oceniła, że istnieją ograniczone dowody na działanie rakotwórcze wełny skalnej u zwierząt doświadczalnych.</p> <p>Wełna skalna nie powodowała znaczącego wzrostu guzów płuc i międzybłoniaka u szczurów w wiarygodnym, dobrze zaprojektowanym długoterminowym badaniu inhalacyjnym. Jako kontrolę pozytywną stosowano krokidolit.</p> <p>W 2 badaniach podawano do tchawicy wełnę kamienną i nie stwierdzono istotnego zwiększenia częstości występowania guzów płuc lub międzybłoniaka. Tremolit użyty jako kontrola pozytywna spowodował wzrost częstości występowania guzów płuca.</p> <p>W kilku badaniach obserwowano znaczny wzrost częstości występowania międzybłoniaka po wstrzyknięciu dootrzewnowo wełny skalnej w dużych dawkach, tj. około 10⁹ włókien. Badania wykazały, że im bardziej biotrwała była zastosowana w badaniu wełna kamienna, tym większa była częstość występowania nowotworów w stosunku do wyników badań z użyciem włókien o niższej biotrwałości.</p>

U ludzi	U zwierząt
WŁÓKNA HT	
<p>Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem nie oceniała działania rakotwórczego włókien HT u ludzi.</p>	<p>Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem oceniła, że brakuje wystarczających dowodów na rakotwórczość włókien HT u zwierząt doświadczalnych.</p> <p>Nowoopracowane, mniej biotrwale włókno o wysokiej zawartości tlenku glinu i niskiej zawartości krzemionki zostało przetestowane w dobrze zaprojektowanym, długoterminowym badaniu inhalacyjnym na szczurach. Włókno HT nie spowodowało znaczącego wzrostu zachorowalności na nowotwory płuca i międzybłoniaki.</p> <p>W badaniu na szczurach po podaniu włókna HT we wstrzyknięciu dootrzewnowym w dużej dawce (około 10⁹ włókien) nie obserwowano nowotworów jamy brzusznej.</p>

OCENA DZIAŁANIA RAKOTWÓRCZEGO SZTUCZNYCH WŁÓKIEŃ MINERALNYCH W UNII EUROPEJSKIEJ

W części 3. Załącznika VI do Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. *w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniającego i uchylającego dyrektywy 67/648/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniającego rozporządzenie WE nr 1907/2006*, zwanego dalej rozporządzeniem CLP (rozporządzenie WE nr 1272/2008), w wykazie substancji stwarzających zagrożenie wraz ze zharmonizowaną klasyfikacją i oznakowaniem pod numerem indeksowym 650-016-00-2 została umieszczona wełna mineralna, z wyjątkiem tych wymienionych gdzie indziej w niniejszym załączniku [Syntetyczne włókna ceramiczne (krzemianowe) bez określonej orientacji z zawartością tlenków alkalicznych i metali ziem alkalicznych (Na₂O+K₂O+CaO+MgO+BaO) powyżej 18% wag.]. Jest ona klasyfikowana jako rakotwórcza kategorii 2., tj. jako substancja, co do której podejrzewa się, że jest rakotwórcza dla człowieka, jednak dowody takiego działania, pochodzące z informacji dotyczących ludzi lub z badań na zwierzętach, nie są wystarczające do umieszczenia substancji w kategorii 1A lub 1B. Substancji przypisano zwrot rodzaju zagrożenia H351: „**Podejrzewa się, że powoduje raka**”. Należy podkreślić, że pomimo umieszczenia wełny mineralnej w wykazie, nie zawsze musi być ona klasyfikowana jako substancja rakotwórcza według prawa Unii Europejskiej. W wykazie substancji stwarzających zagrożenie dodano

bowiem uwagi Q i R, określające warunki, po spełnieniu których można nie stosować klasyfikacji wełny mineralnej jako rakotwórczej. Uwaga Q bazuje na badaniach biotrwałości i toksyczności włókien, a uwaga R odnosi się do wymiarów włókien. Włókna spełniające warunki uwagi Q są określane jako biorozpuszczalne. Szczegółową treść uwag Q i R oraz skutki wynikające z ich stosowania opisano szerzej w rozdziałach „Wełna mineralna jako substancja chemiczna” i „Wełna mineralna jako mieszanina”.

Warto wspomnieć, że w powyższym wykazie znajdują się również inne MMMF:

- ogniotrwałe włókna ceramiczne, do specjalnych celów, z wyjątkiem tych wymienionych gdzie indziej w niniejszym załączniku [syntetyczne włókna ceramiczne (krzemianowe) bez określonej orientacji z zawartością tlenków alkalicznych i metali ziem alkalicznych (nr indeksowy 650-017-00-8) [(Na₂O+K₂O+CaO+MgO+BaO) mniejszą lub równą 18% wag.],
- mikrowłókna szkła borokrzemowego niskoalkalicznego o reprezentatywnym składzie [włókna wapniowo-glinowo-krzemianowe ułożone losowo o reprezentatywnym składzie (w % masy) (nr indeksowy 014-046-00-4): [SiO₂ 50,0–56,0%; Al₂O₃ 13,0–16,0%; B₂O₃ 5,8–10,0%; Na₂O < 0,6%; K₂O < 0,4%; CaO 15,0–24,0%; MgO < 5,5%; Fe₂O₃ < 0,5%; F₂ < 1,0%. Proces: zazwyczaj wytwarzane przez snucie i obracanie. (Dodatkowe pojedyncze pierwiastki mogą być obecne w małych ilościach; wykaz składników obecnych w procesie nie wyklucza innowacji.)].

Obie te substancje zostały zaklasyfikowane do wyższej kategorii rakotwórczości niż wełna mineralna, tj. jako rakotwórcze kategorii 1B z przypisanym zwrotem H350i „Wdychanie może powodować raka”, przy czym w przypadku ogniotrwałych włókien ceramicznych klasyfikacji nie stosuje się, jeżeli są spełnione wymogi uwagi R. W niniejszym opracowaniu autorzy nie zajmują się szczegółowo włóknami ceramicznymi ani mikrowłóknami, dlatego w dalszej części opisano wyłącznie wełnę mineralną o numerze indeksowym 650-016-00-2.

OCENA ZAGROZEŃ DLA ŚRODOWISKA

Włókna mogą dostawać się do powietrza, wody i gleby podczas produkcji, stosowania i usuwania. Nie rozpuszczają się w wodzie. Nie wchodzą w reakcje z innymi związkami w środowisku i pozostają w zasadzie w postaci niezmienionej przez długi okres czasu. Syntetyczne włókna

szklane są właściwie obojętne i uważa się, że nie są transportowane w środowisku i nie podlegają procesom degradacji (WHO, 2004). Włókna szklane mogą ulec rozkładowi wyłącznie w silnie kwaśnym lub silnie zasadowym środowisku wodnym lub w glebie.

Kinetyka transportu i rozkładu oraz przemiany sztucznych włókien mineralnych w środowisku nie były badane. Transport włókien w powietrzu jest regulowany przez procesy, które mają zastosowanie do wszystkich cząstek stałych, a procesy te zostały dość dobrze poznane (WHO, 2004). Włókna mineralne o małej średnicy pozostają w stanie zawieszonym w powietrzu przez długi czas. Badano wielkość włókien w zależności od odległości od źródła emisji i stwierdzono, że im większa od niego odległość, tym zawieszona w powietrzu włókna stają się krótsze i cieńsze. Podczas instalowania mat z wełny mineralnej zaobserwowano, że frakcja respirabilna włókien stanowiła 67% wszystkich włókien zawieszonych w pyłe, natomiast w większej odległości – około 5 m od źródła – około 90% (Tarkowski i wsp., 2001). Jest możliwe, że adsorpcja włókien na innych cząstkach pyłu może mieć wpływ na miejsce osadzania w drogach oddechowych, a nawet na odpowiedź komórkową.

Brak jest badań wskazujących na biokumulację włókien w łańcuchu pokarmowym, jednakże nie przewiduje się, żeby organizmy wodne lub żyjące w ziemi gromadziły znaczące ilości włókien w tkankach. W związku z tym biokumulacja w łańcuchu pokarmowym lub biomagnifikacja nie wydaje się problematyczna. Dane dotyczące poziomów stężeń włókien syntetycznych w powietrzu atmosferycznym wskazują, że są one bardzo niskie (Balzer i wsp., 1971; NIOSH, 1976; Jacob i wsp., 1993; Switala i wsp., 1994). Brak jest danych nt. wielkości narażenia w innych mediach, takich jak woda czy gleba.

Włókna o małej średnicy przedostają się do powietrza łatwiej niż grube i mogą być przenoszone przez wiatr na duże odległości. Brak jest danych o emisji sztucznych włókien mineralnych z urządzeń produkcyjnych w Polsce. Poziomy włókien emitowanych z zakładów produkujących włókno szklane i wełnę mineralną w Niemczech wynosiły około 10^{-3} włókna/cm³. Na podstawie tych danych oszacowano całkowitą emisję pyłu włóknistego z zakładów produkujących sztuczne włókna mineralne w Niemczech na około 1,8 ton/rok (Tarkowski i wsp., 2001). Oceniono, że głównym źródłem emisji włókien mineralnych (głównie włókna szklanego) do powietrza są izolacje w budynkach użyteczności publicznej i w domach mieszkalnych. **Emisje są prawdopodobnie największe wkrótce po instalacji izolacji lub po jej uszkodzeniu.** Poziomy stężeń włókien szklanych o średnicy

0,10–17,7 μm w układach wentylacyjnych i w powietrzu z różnych miejsc w Kalifornii nie przekraczały $9 \cdot 10^{-3}$ włókna/ cm^3 (Toxicological Profile, 2004).

WEŁNA POPRODUKCYJNA I ODPADY Z WEŁNY

Biorąc pod uwagę fakt, że wełna mineralna ze względu na cechy fizyczne nie ulega degradacji wskutek użytkowania, poprodukcyjna wełna mineralna tworzy odpady, które zwykle trafiają na dzikie wysypiska i mogą stanowić poważne zagrożenie dla ludzi i środowiska. Oszacowano, że w 2010 r. w Unii Europejskiej powstało 2,3 miliona ton odpadów z wełny mineralnej (Vantsi i Karki, 2014). Teoretycznie sztuczne włókna mineralne wolno składować wyłącznie w postaci związanej lub zapakowane w tworzywa sztuczne, np. w odpornych na rozerwanie i pyłoszczelnych workach. Podczas transportu i składowania na wysypisku należy unikać uwalniania włókien mineralnych do otoczenia. Liczne dane wskazują, że problem poprodukcyjnej wełny mineralnej nadal nie został rozwiązany. Zazwyczaj odpady takie składowane są na wysypisku w obrębie gospodarstwa lub nielegalnie porzuca w innych miejscach, np. w lesie czy przy drodze; bywają one także rozdrabniane rozrzutnikami i przeorywane w polu. Obecnie trudno jest dotrzeć do źródła zawierającego czytelną informację dotyczącą ilości tego odpadu i sposobu jego unieszkodliwiania.

Surowcami do produkcji wełny skalnej są naturalne skały bazaltowe, dolomit, magnezyt, diabaz, jednak nie można tego powiedzieć już o wełnie szklanej czy też żużlowej. Ponadto we wszystkich procesach produkcji wełny stosowane są różnego rodzaju szkodliwe dodatki. Zatem ze względu na domieszkę substancji chemicznych w składzie wełen tego rodzaju, zdecydowanie odradza się składowanie takich materiałów.

Wełna mineralna to odpad, który podlega recyklingowi. Z rozdrobnionych odpadów wełny powstaje specjalny granulaty wykorzystywany jako dodatek do materiałów takich jak cement czy cegły. Opatentowano metodę brykietowania odpadów wełny z materiałami wykorzystującymi spoiwa hydrauliczne, np. cementem portlandzkim, gliną i szkłem wodnym. Zbadano możliwość wykorzystania odpadów z wełny skalnej w kompozytach na bazie cementu do wykorzystania jako kruszywo grube, kruszywo drobnoziarniste, materiał cementowy lub najdrobniejszy wypełniacz w betonie, w zależności od składu chemicznego odpadów wełny skalnej i wielkości cząstek (Nowak i wsp., 2013; Vantsi i Karki, 2014).

Sposób postępowania z odpadami w sposób zapewniający ochronę życia i zdrowia ludzi oraz ochronę środowiska zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju określono w ustawie o *odpadach* (Ustawa, 2012). Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. *w sprawie katalogu odpadów* (rozporządzenie Ministra Środowiska, 2014) odpady wełny mineralnej można zaklasyfikować do jednej z wybranych grup w zależności od rodzaju i źródła powstawania odpadu:

- do grupy nr 10: „Odpady z procesów termicznych”, gdzie znajdują się „Odpady włókna szklanego i tkanin z włókna szklanego” (kod 10 11 03). Odpad ten nie jest oznakowany jako odpad niebezpieczny,
- do grupy nr 17: „Odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych)”, gdzie pod kodem 17 06 03* znajdują się „Inne materiały izolacyjne zawierające substancje niebezpieczne”, a pod kodem 17 09 03* „Inne odpady z budowy, remontów i demontażu (w tym odpady zmieszane)” zawierające substancje niebezpieczne. Odpady te są oznakowane jako odpady niebezpieczne.

Ze względu na dużą objętość powstających odpadów oraz fakt, że w procesie ocieplania budynku wykorzystywana jest nie tylko wełna mineralna, ale również cały szereg innych materiałów, najlepszym rozwiązaniem jest korzystanie z tzw. kontenerowego wywozu odpadów prowadzonego przez specjalistyczne firmy w celu recyklingu.

WĘLNA MINERALNA – SUBSTANCJA, MIESZANINA CZY WYRÓB – WYBRANE ASPEKTY PRAWNE

Dwa podstawowe unijne akty prawne dotyczące substancji chemicznych i ich mieszanin to:

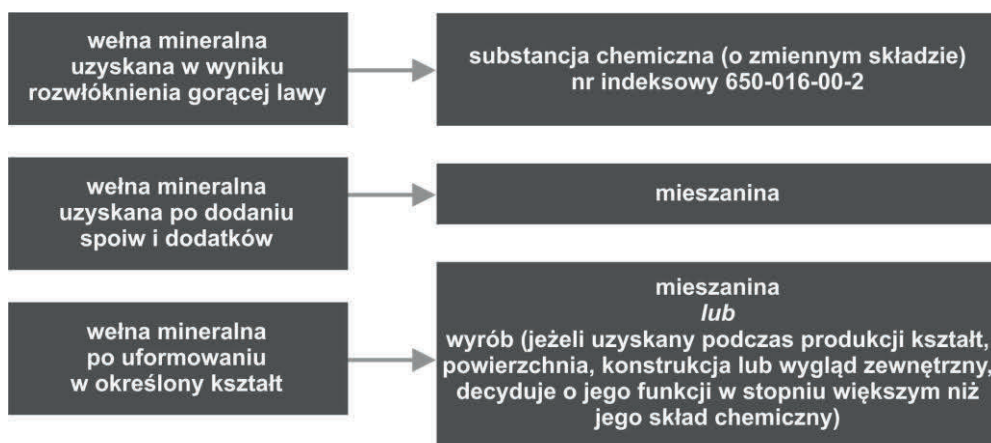
- Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. *w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniającym dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylającym rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE* (w wersji sprostowanej Dz. Urz. UE L 136 z 29.05.2007 r. str. 3, wraz z późn. zm.), zwane dalej rozporządzeniem REACH (rozporządzenie WE nr 1907/2006),
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. *w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniającego i uchylającego dyrektywę 67/648/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniającego rozporządzenie WE nr 1907/2006* (Dz. Urz. UE L 353 z 31.12.2008 r. str.1 z późn. zm.), zwane dalej rozporządzeniem CLP (rozporządzenie WE nr 1272/2008).

Oba akty prawne są rozporządzeniami, co oznacza, że obowiązują bezpośrednio w państwach członkowskich Unii Europejskiej. Należy również zauważyć, że rozporządzenia te są na bieżąco aktualizowane i dostosowywane do postępu technicznego – przez 12 lat od wejścia w życie REACH oraz 10 lat od wejścia w życie CLP ukazało się wiele sprostowań i zmian w tych rozporządzeniach.

Zarówno rozporządzenie REACH, jak i rozporządzenie CLP, dotyczą szeroko pojętego obszaru chemikaliów – substancji chemicznych występujących w postaci własnej lub jako składniki mieszanin, substancji zawartych w wyrobach, produktów będących mieszaninami chemicznymi 2 lub więcej

substancji. Należy podkreślić, że to właśnie rozporządzenie REACH – pomimo że dotyczy głównie substancji chemicznych i ich mieszanin – zdefiniowało także pojęcie „wyróbu” oraz wprowadziło obowiązki i wymagania odnoszące się do wytwórców wyrobów zawierających substancje chemiczne, co w momencie wejścia w życie tego aktu prawnego było całkowicie nowym rozwiązaniem.

Wełna mineralna w zależności od etapu produkcji i uzyskanego produktu może być rozpatrywana jako substancja chemiczna, mieszanina substancji lub wyrób (ryc. 2.).



Ryc. 2. Wełna mineralna, jako substancja chemiczna, mieszanina substancji lub wyrób

Pojęcia te zostały szczegółowo zdefiniowane w rozporządzeniu REACH. Sytuację komplikuje fakt, że terminem „wełna mineralna” określa się, zarówno substancję uzyskiwaną bezpośrednio po rozwłóknieniu gorącej lawy, jej mieszaniny ze spoiwem i dodatkami, jak i gotowe wyroby z wełny mineralnej. Decyzja, czy wprowadzany dalej do obrotu produkt jest substancją chemiczną, mieszaniną czy wyrobem, jest kluczowa dla określenia dalszych obowiązków dostawców wełny mineralnej. Nie ma wątpliwości, że na etapie otrzymywania wełny mineralnej, polegającym na rozwłóknieniu gorącej lawy, powstaje substancja chemiczna. Należy jednak zwrócić uwagę na specyfikę procesu produkcyjnego: wełna mineralna w takiej postaci nie jest wprowadzana do obrotu, ponieważ na etapie produkcji do wytworzonego kobierca z wełny mineralnej dodawane są spoiwa (żywice) oraz inne substancje zapewniające pożądane właściwości

użytkowe. Ostatnim etapem produkcyjnym jest uformowanie z wytworzonej wełny mineralnej gotowych rulonów, płyt, arkuszy itp. W tej postaci wełna mineralna jest wprowadzana do obrotu. Podobnie jak w przypadku innych substancji i mieszanin będących ciałami stałymi trudno precyzyjnie określić granicę pomiędzy mieszaniną w postaci stałej a wyrobem. Ze względu na zakres tego opracowania w dalszej części rozdziału zostanie omówiona wyłącznie wełna mineralna. Nie uwzględniono opisu ogniotrwałych włókien ceramicznych ani mikrowłókien szkła borokrzemowego niskoalkalicznego.

Zgodnie z podstawowym założeniem aktualnej polityki Unii Europejskiej w obszarze chemikaliów odpowiedzialność za zarządzanie ryzykiem związanym z substancjami chemicznymi powinni ponosić ich producenci, importerzy, osoby wprowadzające substancje chemiczne do obrotu lub stosujące je w działalności gospodarczej. W związku z tym na producentów, importerów, dostawców i odbiorców substancji chemicznych oraz ich mieszanin, a także w pewnym zakresie wyrobów je zawierających, obowiązujące akty prawne nakładają szereg obowiązków.

W niniejszym rozdziale przedstawiono różnice pomiędzy substancją chemiczną i mieszaniną oraz omówiono podstawowe obowiązki ich producentów i importerów oraz dostawców w świetle powyższych aktów prawnych. W rozdziale „Wyroby z wełny mineralnej – aspekty prawne, obowiązki producenta wyrobu w świetle rozporządzenia REACH, inne akty prawne i zharmonizowane normy wyrobów” omówiono obowiązki wytwórców wyrobów.

WEŁNA MINERALNA JAKO SUBSTANCJA CHEMICZNA LUB MIESZANINA – KLASYFIKACJA, KARTA CHARAKTERYSTYKI I OZNAKOWANIE WYMAGANE PRZEPISAMI DOTYCZĄCYMI CHEMIKALIÓW

Wełna mineralna jako substancja chemiczna

Wełna mineralna jest zbudowana głównie z tlenków krzemu, glinu, żelaza, boru oraz tlenków metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych (sodu, potasu, wapnia, magnezu i baru). Zawartość procentowa poszczególnych tlenków zmienia się nie tylko w zależności od rodzaju wełny mineralnej (szklana, skalna, żuźlowa) – również w ramach jednego rodzaju różnice w składzie mogą wynosić kilkanaście, a w przypadku zawartości tlenu krzemu w wełnie szklanej, nawet kilkadziesiąt procent masowych (Tarkowski i wsp., 2001). Pomimo złożonego i zmiennego w pewnym

zakresie składu chemicznego, wełna mineralna jest prawnie zaliczana do substancji chemicznych. Wynika to z definicji substancji zawartej w rozporządzeniu REACH. Substancjami są „pierwiastki lub ich związki w stanie, w jakim występują w przyrodzie lub zostają uzyskane za pomocą procesu produkcyjnego, z wszelkimi dodatkami wymaganymi do zachowania ich trwałości oraz wszelkimi zanieczyszczeniami powstałymi w wyniku zastosowanego procesu, wyłączając rozpuszczalniki, które można oddzielić bez wpływu na stabilność i skład substancji”. Tak sformułowana definicja obejmuje m.in. substancje o nieokreślonym ściśle i zmiennym w pewnym zakresie składzie, nazywane skrótowo substancjami UVCB, takie jak wełny mineralne.

Klasyfikacja wełny mineralnej jako substancji chemicznej

Producent lub importer substancji chemicznej, a także w pewnych przypadkach jej dalszy użytkownik, mają obowiązek rozpoznania i oceny zagrożeń stwarzanych przez tą substancję dla ludzi i dla środowiska. W celu ujednoczenia sposobu i kryteriów takiej oceny powstał system klasyfikacji substancji CLP (rozporządzenie WE nr 1272/2008) bazujący na Globalnie Zharmonizowanym Systemie (GHS) klasyfikacji opracowanym przez ONZ. Ocenę substancji przeprowadza się, wykorzystując wyniki badań właściwości fizykochemicznych, toksyczności i ekotoksyczności. Dostępne informacje należy porównać z kryteriami klasyfikacji substancji chemicznych w celu ustalenia, czy ewaluowana substancja wymaga klasyfikacji jako substancja stwarzająca zagrożenie.

Wełna mineralna została umieszczona w wykazie zharmonizowanej klasyfikacji i oznakowania obowiązującym w krajach Unii Europejskiej pod numerem indeksowym 650-016-00-2 wraz z dodatkową informacją ułatwiającą identyfikację substancji „syntetyczne włókna ceramiczne (krzemianowe) bez określonej orientacji z zawartością tlenków alkalicznych i metali ziem alkalicznych ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{BaO}$) powyżej 18% wag.” (rozporządzenie WE nr 1272/2008). Jak wynika z zestawienia składów różnych rodzajów wełny mineralnej (Tarkowski i wsp., 2001), zawartość tlenków metali alkalicznych (sodu i potasu) i tlenków metali ziem alkalicznych (wapnia i magnezu) w wełnie szklanej jest zbliżona, natomiast w wełnie skalnej i żuźlowej przeważają tlenki metali ziem alkalicznych. We wszystkich rodzajach wełny mineralnej łączna zawartość tych tlenków przekracza 18%, co pozwala uznać, że są one objęte ww. numerem indeksowym. Należy podkreślić, że w polskiej wersji językowej rozporządzenia CLP nazwy chemiczne oraz informacje dodatkowe

(umieszczone w nawiasach kwadratowych) funkcjonowały dotychczas w wersji angielskiej: „*Mineral wool, with the exception of those specified elsewhere in this Annex; [Man-made vitreous (silicate) fibres with random orientation with alkaline oxide and alkali earth oxide (Na₂O+K₂O+CaO+MgO+BaO) content greater than 18% by weight]*”, co stwarzało spore problemy polskim przedsiębiorcom, zwłaszcza że jednocześnie zapis art. 17 ust. 2 jednoznacznie wprowadził obowiązek sporządzania etykiety w języku urzędowym państwa, w którym substancja jest wprowadzona do obrotu. Dopiero rozporządzenie Komisji (UE) 2018/669 z dnia 16 kwietnia 2018 r. zmieniające rozporządzenie CLP wprowadziło nazwy chemiczne w języku polskim. Umieszczone w nawiasach kwadratowych informacje dodatkowe nie stanowią integralnej części nazwy i nie muszą być umieszczane na oznakowaniu, ale są bardzo istotne podczas ustalania, jaką substancję obejmuje dany numer indeksowy. Należy zwrócić uwagę, że wełna mineralna ma przypisaną w wykazie uwagę A, która odnosi się do nazewnictwa stosowanego na oznakowaniu substancji – w przypadku, gdy nazwa podana w wykazie stanowi ogólny opis, dostawca jest zobowiązany do podania na oznakowaniu prawidłowej, doprecyzowanej nazwy substancji.

Należy podkreślić, że pomimo umieszczenia wełny mineralnej we wspomnianym wykazie, nie zawsze musi być ona kategoryzowana jako substancja stwarzająca zagrożenie. Poniżej omówiono klasyfikację i oznakowanie wełny mineralnej zgodnie z klasyfikacją zharmonizowaną oraz warunki, w których w ogóle można zrezygnować z klasyfikacji i nie traktować wełny mineralnej jako substancji stwarzającej zagrożenie.

Zamieszczona w wykazie zharmonizowana klasyfikacja wełny mineralnej według systemu klasyfikacji CLP obejmuje jedynie klasę zagrożenia „rakotwórczość”. Bardzo istotne jest dalsze zróżnicowanie klasy zagrożenia na kategorie zagrożenia. Klasa zagrożenia „rakotwórczość” obejmuje 2 kategorie, przy czym kategoria 1 dodatkowo dzieli się na kategorie 1A i 1B. Do kategorii 1A należą substancje, których działanie powodujące raka lub zwiększenie częstotliwości tej choroby udowodnione jest badaniami epidemiologicznymi. Klasyfikacja do kategorii 1B bazuje głównie na wynikach badań na zwierzętach – w obu kategoriach (1A i 1B) stosuje się zwrot wskazujący rodzaj zagrożenia „Może powodować raka” (H350). Natomiast kategoria 2 obejmuje te substancje, które podejrzewa się, że są rakotwórcze dla człowieka, ale dowody na ich działanie rakotwórcze, pochodzące z informacji dotyczących ludzi lub z badań na zwierzętach, nie są wystarczające do skategoryzowania substancji jako 1A lub 1B. Znalazło

to odzwierciedlenie w treści przypisanego tej kategorii zwrotu wskazującego rodzaj zagrożenia – „Podejrzewa się, że powoduje raka” (H351). Wełnę mineralną zaklasyfikowano w klasie „rakotwórczość” właśnie do kategorii zagrożenia 2 (Carc. 2).

Pomimo opisanej powyżej klasyfikacji zharmonizowanej wełna mineralna nie zawsze musi być klasyfikowana jako rakotwórcza. W wykazie substancji stwarzających zagrożenie umieszczono bowiem dodatkowe uwagi Q i R, określające warunki, po spełnieniu których można nie stosować klasyfikacji wełny jako rakotwórczej. Uwaga Q opiera się na badaniach biotrwałości i toksyczności włókien, a uwaga R odnosi się do wymiarów włókien.

Zgodnie z uwagą Q nie jest wymagane zaklasyfikowanie wełny mineralnej jako rakotwórczej, jeżeli można wykazać, że spełnia ona którykolwiek z następujących 4 warunków:

- w krótkoterminowych badaniach inhalacyjnych biotrwałości wykazano, że połowiczny zanik włókien o długości większej niż 20 μm wynosi mniej niż 10 dni; lub
- w krótkoterminowych badaniach biotrwałości poprzez podanie dotchawicze wykazano, że okres połowicznego zaniku włókien o długości większej niż 20 μm wynosi 40 dni; lub
- w odpowiednich badaniach, po podaniu do jamy otrzewnej, nie wykazano działania rakotwórczego; lub
- nie wykazano zmian geoplastycznych lub stosownych zmian patogenicznych w długoterminowych badaniach toksyczności inhalacyjnej.

Włókna spełniające warunki uwagi Q są określane jako biorozpuszczalne.

W grudniu 1997 r. Komisja Europejska (WE) przyjęła dyrektywę 97/69/WE, w której po raz pierwszy ustalono kryteria klasyfikacji i oznakowania syntetycznych włókien mineralnych. Dyrektywa została uchylona w dn. 31.05.2015 r. w sposób domniemany przez rozporządzenie CLP. Dyrektywa została opracowana na podstawie obszernego programu oceniającego aktualną wiedzę naukową na temat patogeniczności włókien i jej związku z biologiczną długością włókien. W tym kontekście stwierdzono, że biotrwałość włókien dłuższych niż 20 μm jest dobrym predyktorem obciążenia płuc i wczesnych zmian patologicznych w przewlekłych badaniach inhalacyjnych, jak również odpowiedzi nowotworowej po dootrzewnowym podaniu włókien. Bernstein i wsp. (2001) po badaniach przeprowadzonych na szczurach stwierdzili, że krótkoterminowe badania inhalacyjne biotrwałości włókien o długości

większej niż 20 μm i krótkoterminowe badania biotrwałości włókien przy ich podaniu dotchawicznym (porównywano okresy półtrwania) są również dobrymi predyktorami zmian w płucach, co wyniki badań po podaniu dootrzewnowym włókien o analogicznej długości.

Rezygnację z klasyfikacji wełny mineralnej pod kątem rakotwórczości umożliwia również uwaga R. W polskiej wersji językowej rozporządzenia CLP występuje błędne tłumaczenie tej uwagi, które powinno zostać sprostowane. W wersji angielskiej uwaga R brzmi: „*The classification as a carcinogen need not apply to fibres with a length weighted geometric mean diameter less two standard geometric errors greater than 6 μm* ”. W wersji polskiej tłumaczenie tej noty powinno więc brzmieć: „Klasyfikacja substancji jako rakotwórczej nie musi mieć zastosowania, jeżeli średnia geometryczna średnica włókien ważona długością pomniejszoną o 2 standardowe błędy geometryczne jest większa niż 6 μm ”.

Reasumując, jeżeli producent lub importer wełny mineralnej dysponuje odpowiednimi wynikami badań, umożliwiającymi skorzystanie z uwag Q lub R, może nie zaklasyfikować wełny jako substancji rakotwórczej. W takim przypadku ta konkretnie wełna mineralna nie będzie uznana za substancję stwarzającą zagrożenie. Jeżeli natomiast nie są dostępne wyniki badań pozwalające na skorzystanie z ww. uwag, wełna mineralna musi zostać zaklasyfikowana do klasy „rakotwórczość” kategorii 2 (według systemu CLP).

Z drugiej strony należy pamiętać, że harmonizacja klasyfikacji określonej substancji dotyczy jedynie wymienionych w wykazie klas i kategorii, natomiast dostawca ma obowiązek doklasyfikowania substancji, jeżeli posiada wyniki badań świadczące o innych zagrożeniach stwarzanych przez tę substancję. Dostępne dane nie wskazują jednak na żaden kierunek działania wełny mineralnej, który wymagałby takiego doklasyfikowania. Warto przypomnieć, że w pierwszej wersji rozporządzenia CLP, z 2008 r. wełna mineralna była zaklasyfikowana również jako substancja drażniąca ze względu na działanie drażniące na skórę – ale w pierwszej nowelizacji tego rozporządzenia, tzw. 1 ATP do rozporządzenia CLP (rozporządzenie WE nr 790/2009), klasyfikacja ta uległa zmianie. Ekspertcy uznali bowiem, że działanie drażniące wełny mineralnej jest spowodowane wyłącznie drażnieniem mechanicznym i nie jest związane z właściwościami chemicznymi wełny. W związku z tym wełna mineralna nie spełnia kryteriów klasyfikacji jako substancja drażniąca – dlatego utrzymano jedynie klasyfikację ze względu na jej potencjalne działanie rakotwórcze.

Opisane powyżej zagadnienia dotyczące klasyfikacji wełny mineralnej jako substancji chemicznej są odzwierciedleniem oceny zagrożeń stwarzanych przez wełnę mineralną bez uwzględnienia spoiw i dodatków. Wełna mineralna w takiej postaci nie jest zazwyczaj wprowadzana do obrotu, ale ustalenie jej klasyfikacji ma kluczowe znaczenie dla dalszej oceny zagrożeń dla zdrowia stwarzanych przez mieszaniny i wyroby zawierające tę substancję.

Oznakowanie wełny mineralnej jako substancji chemicznej oraz wymóg sporządzania karty charakterystyki

Zaklasyfikowanie substancji chemicznej do jakiegokolwiek klasy zagrożenia oznacza, że jest to substancja stwarzająca zagrożenie dla zdrowia ludzi lub dla środowiska. Zgodnie z rozporządzeniem REACH dostawca takiej substancji ma wówczas obowiązek sporządzenia i przekazania odbiorcy karty charakterystyki (wymagania dotyczące sporządzania i przekazywania karty charakterystyki w łańcuchu dostaw, wzór oraz szczegółowe wytyczne dotyczące sporządzania kart zostały określone w art. 31 rozporządzenia REACH oraz w załączniku II), a zgodnie z rozporządzeniem CLP wymagane jest właściwe opakowanie i oznakowanie substancji stwarzających zagrożenie.

Rozporządzenie CLP szczegółowo określa wymagania dotyczące opakowań substancji stwarzających zagrożenie, wielkość i sposób umieszczenia oznakowania oraz rozmiar piktogramu. Należy też pamiętać o prawnym wymogu sporządzania oznakowania w języku państwa członkowskiego, w którym substancja jest wprowadzana do obrotu. Oznakowanie substancji musi zawierać identyfikator produktu (nazwę substancji i przynajmniej jeden z numerów identyfikacyjnych), dane identyfikujące dostawcę lub dostawców (nazwę, adres, numer telefonu) oraz elementy wynikające z klasyfikacji substancji. W przypadku, gdy wełna mineralna została zaklasyfikowana jako rakotwórcza kategorii 2, elementy oznakowania odpowiadające klasyfikacji obejmują piktogram GHS08 z napisem ostrzegawczym „Uwaga” (Wng) i zwrotem H351 „Podejrzewa się, że powoduje raka”. Ponieważ rozporządzenie CLP dopuszcza podanie odpowiedniej drogi narażenia w przypadku, gdy udowodniono, że inna droga narażenia nie powoduje zagrożenia, na podstawie informacji dotyczących wchłaniania i toksyczności wełny mineralnej opisanych w poprzednich rozdziałach uzasadnione jest wskazanie wyłącznie drogi oddechowej.



Uwaga

Podjeżewa się, że powoduje raka (lub: Podjeżewa się, że wdychanie powoduje raka)

Wymagane jest również zamieszczenie na oznakowaniu zwrotów wskazujących środki ostrożności (zwrotów P), które producent/importer wybiera spośród zalecanych w rozporządzeniu. W przypadku substancji rakotwórczych należących do kategorii 2 przewidziano użycie następujących zwrotów P:

- P201 – Przed użyciem zapoznać się ze specjalnymi środkami ostrożności.
- P202 – Nie używać przed zapoznaniem się i zrozumieniem wszystkich środków bezpieczeństwa.
- P280 – Stosować rękawice ochronne / odzież ochronną / ochronę oczu / ochronę twarzy.
- P308 + P313 – W przypadku narażenia lub styczości: Zasięgnąć porady / zgłosić się pod opiekę lekarza.
- P405 – Przechowywać pod zamknięciem.
- P501 – Zawartość/pojemnik usuwać do...

Zwrot P501 producent lub importer substancji uzupełniają, wskazując właściwy sposób utylizacji, np. przekazanie do autoryzowanej firmy utylizacji odpadów.

Opisane powyżej wymogi dotyczą oznakowania wełny mineralnej zaklasyfikowanej jako rakotwórcza. Jeżeli w wyniku skorzystania z uwag Q lub R wełna mineralna nie zostanie zaklasyfikowana jako substancja stwarzająca zagrożenie, opisane powyżej zasady sporządzania etykiety nie obowiązują – nie ma również obowiązku sporządzania i przekazywania karty charakterystyki.

W praktyce opisane powyżej oznakowanie nie jest stosowane dla wełny mineralnej jako substancji chemicznej, ponieważ jak już wspomniano, wełna mineralna bez spoiw i dodatków nie jest zazwyczaj wprowadzana do obrotu.

Wetna mineralna jako mieszanina

Do produkcji wyrobów z wełny mineralnej stosuje się mieszaniny wełny mineralnej z innymi substancjami, np. lepiszczami, olejem, barwnikami, środkami powierzchniowo czynnymi dodawanymi w celu uzyskania odpowiednich właściwości użytkowych wełny (Tarkowski i wsp., 2001). Z punktu widzenia rozporządzeń REACH i CLP mieszaninę zdefiniowano jako mieszaninę lub roztwór składający się z 2 lub więcej substancji. Osobę wytwarzającą mieszaninę nazywa się formulatorem lub zwyczajowo „producentem mieszaniny”. Należy zwrócić uwagę, że określenie „producent mieszaniny” nie jest tożsame z producentem zdefiniowanym w rozporządzeniu REACH. „Producent mieszaniny” nie musi produkować żadnej substancji chemicznej, a może jedynie mieszać ze sobą substancje wyprodukowane lub importowane przez inne osoby. W procesie produkcji wełny mineralnej lepiszcza oraz inne dodatki są dodawane bezpośrednio do koberca z wełny mineralnej, uzyskanego po rozwłóknieniu gorącej lawy, dlatego można przyjąć, że produktem uzyskiwanym w tym procesie jest od razu mieszanina.

Klasyfikacja wełny mineralnej jako mieszaniny

Podobnie jak w przypadku substancji, producent mieszaniny lub jej importer mają obowiązek rozpoznania i oceny zagrożeń stwarzanych przez mieszaninę dla ludzi i dla środowiska. W odróżnieniu od procedury stosowanej przy substancji, w przypadku mieszaniny ocenę taką przeprowadza się, wykorzystując nie tylko wyniki badań mieszaniny lub mieszanin podobnych, ale również – przynajmniej w odniesieniu do wybranych klas zagrożenia – na podstawie informacji o składzie mieszaniny i klasyfikacji składników.

Klasyfikacja mieszaniny będzie oczywiście zależna od klasyfikacji wełny mineralnej stanowiącej jej podstawowy składnik. W przypadku, gdy wełna mineralna będzie zaklasyfikowana do klasy zagrożenia „rakotwórczość” kategorii 2 (według systemu CLP), każda mieszanina zawierająca 1% lub więcej takiej wełny musi być zaklasyfikowana w ten sam sposób. Oczywiście w przypadku, gdy zastosowana w mieszaninie wełna została niezaklasyfikowana jako rakotwórcza ze względu na spełnienie warunków uwagi Q lub R, nie stosuje się powyżej opisanej klasyfikacji także w stosunku do mieszaniny.

Ponadto w przypadku klasyfikacji mieszaniny dodatkowym utrudnieniem jest możliwy wpływ klasyfikacji innych jej składników. Przykładowo żywice, stosowane jako lepiszcza, są często zaklasyfikowane jako substancje

uczulające – w takim przypadku należy pamiętać, że mieszanina zawierająca składnik uczulający w stężeniu równym lub większym od stężenia granicznego musi być również zaklasyfikowana jako uczulająca. Należy podkreślić, że stężenia graniczne ustalone dla składników uczulających są stosunkowo małe i wynoszą 1% (w przypadku klasyfikacji składnika ze względu na działanie uczulające do kategorii 1 lub 1B) lub 0,1% (w przypadku klasyfikacji składnika jako substancji uczulającej kategorii 1A), a więc są znacznie mniejsze od zawartości żywic w wełnie mineralnej.

Reasumując, bez znajomości szczegółowego jakościowego i ilościowego składu mieszaniny oraz klasyfikacji jej poszczególnych składników nie jest możliwa jednoznaczna klasyfikacja mieszaniny zawierającej wełnę mineralną.

Oznakowanie wełny mineralnej jako mieszaniny oraz wymóg sporządzania karty charakterystyki

Jeżeli mieszanina zostanie zaklasyfikowana jako stwarzająca zagrożenie, konieczne jest opracowanie i przekazywanie w łańcuchu dostaw karty charakterystyki, zgodnie z zasadami określonymi w rozporządzeniu REACH. Należy jednak zwrócić uwagę, że niektóre mieszaniny niezaklasyfikowane również wymagają udostępniania kart charakterystyki na żądanie odbiorcy stosującego mieszaninę w działalności zawodowej. Wymóg ten jest uzależniony od składu mieszaniny – w przypadku mieszaniny niebędącej w stanie gazowym karty charakterystyki dostępne na żądanie odbiorcy sporządza się w 3 przypadkach:

- jeżeli mieszanina zawiera jakikolwiek składnik stwarzający zagrożenie dla ludzi lub środowiska w stężeniu co najmniej 1% (pomimo że w tym stężeniu nie powoduje on konieczności zaklasyfikowania mieszaniny),
- jeżeli mieszanina zawiera w stężeniu co najmniej 0,1% wag. jakikolwiek składnik będący substancją trwałą, wykazującą zdolność do biokumulacji i toksyczną (tzw. substancje PBT) lub bardzo trwałą i wykazującą bardzo dużą zdolność do biokumulacji (tzw. substancje vPvB) lub substancję znajdującą się na liście substancji SVHC (ang. *Substances of Very High Concern*). Kryteria uznania substancji za PBT lub vPvB określone zostały w załączniku XIII do rozporządzenia REACH. Za substancje SVHC uważa się substancje umieszczone na tzw. liście kandydackiej do włączenia substancji do załącznika XIV rozporządzenia REACH. Listę kandydacką można znaleźć na stronie internetowej Europejskiej Agencji Chemikaliów (ECHA) pod adresem

<https://echa.europa.eu/pl/candidate-list-table>. Należy pamiętać, że lista ta jest ciągle aktualizowana – w chwili jej powstania w październiku 2008 r. było na niej zaledwie kilkanaście substancji, obecnie jest już 201 pozycji. Wełna mineralna nie znajduje się aktualnie na tej liście, natomiast umieszczono na niej np. niektóre uniepalniacze. Informacje, czy stosowane surowce zawierają substancje PBT, vPvB lub SVHC, formulator mieszaniny może znaleźć w kartach charakterystyki surowców,

- jeżeli mieszanina zawiera substancję, w przypadku której zostały określone najwyższe dopuszczalne stężenia w środowisku pracy w Unii Europejskiej – w odróżnieniu od 2 opisanych powyżej przypadków dla tych substancji nie określono stężenia, od którego istnieje wymóg sporządzania karty charakterystyki dostępnej na żądanie odbiorcy mieszaniny – oznacza to, że nawet niewielka ilość takiej substancji w mieszaninie nakłada obowiązek sporządzenia karty. Substancje, w przypadku których Komisja Europejska ustaliła wartości normatywów w środowisku pracy, są publikowane w rozporządzeniach i dyrektywach unijnych.

Wprowadzana do obrotu mieszanina stwarzająca zagrożenie wymaga odpowiedniego oznakowania. Musi ono zawierać identyfikator produktu (nazwę handlową lub oznaczenie mieszaniny, a także nazwy chemiczne substancji obecnych w mieszaninie ustalone zgodnie z kryteriami podanymi w art. 18 ust. 3 pkt b) rozporządzenia CLP) oraz dane identyfikujące dostawcę lub dostawców (nazwę, adres, numer telefonu). Jak wspomniano powyżej, bez znajomości składu mieszaniny i klasyfikacji jej składników nie jest możliwa jej jednoznaczna klasyfikacja, a tym samym jej oznakowanie, które jest ściśle związane z klasyfikacją. W przypadku, gdy zastosowana w mieszaninie wełna mineralna nie spełnia wymagań uwag Q lub R i w związku z tym mieszanina jako całość jest zaklasyfikowana jako rakotwórcza kategorii 2 według systemu CLP, a pozostałe składniki nie są zaklasyfikowane jako stwarzające zagrożenie lub występują w stężeniach poniżej granicznych i nie mają wpływu na klasyfikację mieszaniny, elementy oznakowania odpowiadające klasyfikacji będą takie same jak opisane w poprzednim rozdziale.

Jeżeli mieszanina nie zostanie zaklasyfikowana jako stwarzająca zagrożenie, jest możliwe, że w ogóle nie będzie wymagała oznakowania zgodnie z rozporządzeniem CLP. Jednak należy pamiętać, że w przypadku niektórych mieszanin obowiązuje dodatkowe oznakowanie, które może dotyczyć również mieszanin niezaklasyfikowanych. Przykładowo na

oznakowaniu mieszanin niezaklasyfikowanych jako niebezpieczne, ale dla których konieczne jest sporządzenie karty charakterystyki jak wyżej opisano, wymagane jest umieszczenie na opakowaniu napisu „Karta charakterystyki dostępna na żądanie”, a na oznakowaniu mieszaniny niezaklasyfikowanej jako uczulająca, ale zawierającej składnik uczulający w stosunkowo małych stężeniach, wymagany jest napis „Zawiera (*nazwa substancji uczulającej*). Może powodować wystąpienie reakcji alergicznej”.

WYROBY Z WELNY MINERALNEJ – ASPEKTY PRAWNE, OBOWIĄZKI PRODUCENTA WYROBU W ŚWIETLE ROZPORZĄDZENIA REACH, INNE AKTY PRAWNE I ZHARMONIZOWANE NORMY WYROBÓW

Pojęcie „wyrobu” jest ściśle zdefiniowane w rozporządzeniu REACH i różni się od potocznego rozumienia tego terminu. Wyrób oznacza przedmiot, który podczas produkcji otrzymuje określony kształt, powierzchnię, konstrukcję lub wygląd zewnętrzny, co decyduje o jego funkcji w stopniu większym niż jego skład chemiczny. W niektórych przypadkach rozróżnienie pomiędzy substancją chemiczną lub mieszaniną a wyrobem może być dość trudne, szczególnie w przypadku ciał stałych. Przy podejmowaniu decyzji, czy konkretny produkt należy uznać za substancję chemiczną lub mieszaninę czy za wyrób, pomocne mogą być algorytmy opisane w poradniku Europejskiej Agencji Chemikaliów (ECHA) na temat wymagań dotyczących substancji w wyrobach (ECHA, 2017). Wyroby nie podlegają rozporządzeniu CLP, które nakłada obowiązek klasyfikacji i oznakowania jedynie substancji i mieszanin chemicznych. Zgodnie z rozporządzeniem REACH dostawcy wyrobów nie mają też obowiązku przekazywania kart charakterystyki w łańcuchu dostaw.

Należy jednak podkreślić, że regulacje zawarte w rozporządzeniu REACH w pewnym zakresie dotyczą również producentów wyrobów. Przede wszystkim rozporządzenie REACH ustala ograniczenia produkcji, wprowadzania do obrotu i stosowania niektórych substancji, mieszanin i wyrobów. Ograniczenia dotyczą więc nie tylko substancji i zawierających je mieszanin, ale również zawartości pewnych substancji w wyrobach. Jeżeli dana substancja została objęta ograniczeniem, to substancja ta ani w postaci własnej, ani jako składnik mieszaniny, ani też w wyrobie nie może być produkowana, wprowadzana do obrotu ani stosowana, jeżeli nie zostały spełnione warunki tego ograniczenia. Szczegółowy wykaz obowiązujących ograniczeń zawiera załącznik XVII do rozporządzenia

REACH. Należy zwrócić uwagę, że od momentu ukazania się rozporządzenia REACH w grudniu 2006 r. załącznik ten był już wielokrotnie nowelizowany rozporządzeniami Komisji. Obecnie nie wprowadzono żadnego ograniczenia dotyczącego bezpośrednio wełny mineralnej, ale nie można wykluczyć, że ograniczenie może obejmować inną substancję zastosowaną w gotowych wyrobach. Podobnie jeżeli którykolwiek ze składników stosowanych w wyrobach zawiera substancję podlegającą procedurze zezwoleń (załącznik XIV do rozporządzenia REACH), należy stosować ją zgodnie z warunkami zezwolenia udzielonego w danym łańcuchu dostaw lub samemu wystąpić o zezwolenie.

Innym obowiązkiem dostawcy wyrobów określonym w rozporządzeniu REACH jest przekazywanie odbiorcy (w tym także konsumentowi, jeżeli zażąda takiej informacji) danych dotyczących zawartych w wyrobach substancji SVHC i informacji pozwalających na bezpieczne stosowanie tego wyrobu zgodnie z art. 33 rozporządzenia REACH. Informacje te muszą być przekazywane zawsze, gdy zawartość określonej substancji SVHC przekracza 0,1% – nie ma tu znaczenia łączny tonaż substancji, fakt jej zarejestrowania dla danego zastosowania ani wykluczenie narażenia. Jak opisano w rozdziale dotyczącym mieszanin, za substancje SVHC uznawane są substancje umieszczone na liście kandydackiej, która jest ciągle rozszerzana – producenci wyrobów powinni śledzić na bieżąco zmiany tej listy.

Wyroby z wełny mineralnej są najczęściej stosowane jako materiały izolacyjne w budownictwie. Podstawowym aktem prawnym w Unii Europejskiej dotyczącym materiałów budowlanych jest Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. *ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG* (rozporządzenie WE nr 305/2011). Rozporządzenie reguluje m.in. obowiązek sporządzania i dostarczania oraz zawartość deklaracji właściwości użytkowych wyrobu budowlanego, a także stosowanie oznakowania CE potwierdzającego zgodność wyrobu z deklarowanymi właściwościami użytkowymi w odniesieniu do jego zasadniczych charakterystyk objętych normą zharmonizowaną lub europejską oceną techniczną.

Wymagania dotyczące poszczególnych grup wyrobów z wełny mineralnej oraz ich znakowanie i etykietowanie zostały określone w opisanych poniżej normach zharmonizowanych. Elementy znakowania i etykietowania wymagane tymi normami dotyczą jednak głównie samego wyrobu i jego

właściwości użytkowych – nie uwzględniają zagadnień związanych z bezpieczeństwem i higieną pracy.

Norma PN-EN 14064-1:2018-12 „Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z wełny mineralnej (MW) w postaci niezwiązanej formowane *in situ* – Część 1: Specyfikacja wyrobów w postaci niezwiązanej, przed ich zastosowaniem” (wprowadzająca normę EN 14064-1:2018) dotyczy wdmuchiwanego wyrobów z wełny mineralnej w postaci niezwiązanej do zastosowania *in situ* na strychach/poddaszach, w murowanych ścianach szczelinowych i konstrukcjach szkieletowych. Norma jest dostępna w całości w języku angielskim. Zgodnie z definicją zawartą w normie wełna mineralna jest to materiał izolacyjny o strukturze włóknistej, wytworzony ze stopionej skały, żużla lub szkła.

Dwie kolejne normy dotyczą wyrobów izolacyjnych z wełny mineralnej produkowanych fabrycznie. PN-EN 13162+A1:2015-04 „Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z wełny mineralnej (MW) produkowane fabrycznie – Specyfikacja” (zgodna z normą EN 13162:2012+A1:2015) obejmuje wyroby stosowane w budownictwie, wytwarzane w postaci rulonów, płyt miękkich, arkuszy, które stosowane są do izolacji cieplnej budynków, w prefabrykowanych systemach izolacji cieplnej i płytach warstwowych. Jest dostępna w języku polskim. PN-EN 14303:2016-02 „Wyroby do izolacji cieplnej wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych – Wyroby z wełny mineralnej (MW) produkowane fabrycznie – Specyfikacja” (zgodna z normą EN 14303:2015) dotyczy wyrobów z wełny mineralnej produkowanych fabrycznie, które są stosowane do izolacji cieplnej wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych w zakresie temperatury eksploatacyjnej od około 0°C do +800°C.

Na oznakowaniu wyrobów z wełny mineralnej często spotykany jest znak towarowy EUCEB. Jest to dobrowolne oznakowanie podkreślające zgodność włókien wełny mineralnej z kryteriami określonymi w uwadze Q, a prawo do umieszczenia tego znaku przyznaje producentowi Europejska Rada ds. Certyfikacji Produktów z Wełny Mineralnej (EUCEB, European Certification Board for Mineral Wool Products, 2019).

Jak opisano w rozdziale dotyczącym klasyfikacji wełny mineralnej jako substancji chemicznej, jeżeli wełna mineralna jako substancja chemiczna spełnia wymogi uwagi Q, nie jest zaklasyfikowana jako rakotwórcza. Żeby zapewnić odpowiednią biorozpuszczalność włókien i tym samym spełnić wymagania biotrwałości określone w uwadze Q, producenci wprowadzają modyfikacje składu chemicznego. W przypadku substancji chemicznej lub mieszaniny brak określonych elementów na oznakowaniu jednoznacznie

informuje odbiorcę o tym, że wełna mineralna nie wymaga klasyfikacji jako substancja/mieszanina rakotwórcza. Jednak należy podkreślić, że powyżej opisane zasady oznakowania dotyczą wyłącznie substancji chemicznych i mieszanin, nie dotyczą natomiast wyrobów. Oznacza to, że w przypadku wyrobu producent nie ma obowiązku umieszczania oznakowania informującego o rakotwórczym działaniu włókien, nawet jeżeli wyrób zawiera takie włókna. Odbiorca nie musi być informowany, czy kupowany produkt jest traktowany jako substancja chemiczna lub mieszanina, czy jako wyrób. Tym samym odbiorca nie może mieć pewności, czy brak oznakowania wynikającego z przepisów dotyczących chemikaliów wynika z tego, że produkt (traktowany jako mieszanina) nie jest zaklasyfikowany jako mieszanina stwarzająca zagrożenie (a tym samym nie zawiera wełny mineralnej zaklasyfikowanej jako rakotwórcza), czy wyłącznie z faktu, że producent uznał swój produkt za wyrób niepodlegający wymogom oznakowania chemikaliów. Dlatego producenci wyrobów z wełny mineralnej chcieli wprowadzić oznaczenia jednoznacznie informujące odbiorcę, że stosowana przez nich wełna mineralna nie jest zaklasyfikowana jako rakotwórcza. W 2000 r. powstała Europejska Rada ds. Certyfikacji Produktów z Wełny Mineralnej (EUCEB), która weryfikuje zgodność włókien mineralnych z kryteriami wyłączenia z klasyfikacji na podstawie uwagi Q. Jeżeli włókna spełniają wymogi określone w uwadze Q EUCEB, przyznaje się producentowi prawo do umieszczania na oznakowaniu znaku towarowego EUCEB:



Dzięki obecności tego znaku odbiorca wie, że produkty są wykonane z wełny mineralnej niezaklasyfikowanej jako rakotwórcza.

Procedurę przyznawania przez EUCEB prawa umieszczania tego znaku na wyrobie, w tym wymogi dotyczące wyników badań i innych informacji, które musi przedstawić producent oraz dalsze procedury weryfikacji, można znaleźć na stronie internetowej <http://www.euceb.org/>. Europejska Rada ds. Certyfikacji Produktów z Wełny Mineralnej na podstawie opinii niezależnych ekspertów zapewnia, że testy zostały przeprowadzone zgodnie z europejskimi protokołami, wyniki są zgodne z kryteriami biotrwałości określonymi w przepisach WE, a skład chemiczny wytwarzanych włókien jest taki sam, jak włókien badanych.

Także Europejskie Stowarzyszenie Wytwórców Wełny Izolacyjnej (EURIMA) wprowadziło schematy monitoringu zapewniające, że skład chemiczny wełny mineralnej, gwarantujący jej odpowiednią biorozpuszczalność, jest utrzymywany w zdefiniowanych przedziałach. Stowarzyszenie to przyznaje wełnie mineralnej znak jakości RAL (niem. *Rohrbefestigung*) (RAL, 2017).

WEŁNA MINERALNA A PRZEPISY DOTYCZĄCE SUBSTANCJI I MIESZANIN O DZIAŁANIU RAKOTWÓRCZYM W ŚRODOWISKU PRACY W POLSCE

Wiele wątpliwości pracodawców związanych jest z obowiązkami nałożonymi na nich na mocy Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 24 lipca 2012 r. *w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w środowisku pracy* (rozporządzenie Ministra Zdrowia, 2012) – należy jednoznacznie podkreślić, że nawet w przypadku zaklasyfikowania wełny mineralnej jako rakotwórczej nie podlega ona rygorom ww. rozporządzenia. Zgodnie z §2 za rakotwórcze w środowisku pracy uznaje się wyłącznie substancje i ich mieszaniny spełniające kryteria klasyfikacji do kategorii 1A lub 1B rakotwórczości według kryteriów CLP. Wełna mineralna natomiast, nawet w przypadku, gdy nie spełnia warunków wskazanych w uwagach Q i R, jest zaklasyfikowana jako rakotwórcza jedynie kategorii 2 według CLP, a więc nie jest uważana za czynnik o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w środowisku pracy.

PRZEPISY DOTYCZĄCE KLASYFIKACJI I WPROWADZANIA DO OBROTU WEŁNY MINERALNEJ W NIEMCZECH

Rozporządzenia REACH i CLP obowiązują bezpośrednio w państwach członkowskich Unii Europejskiej, również w Niemczech. Należy jednak podkreślić, że kryteria ograniczeń stosowania wełny mineralnej przyjęte przez Parlament Niemiecki nie są tożsame z kryteriami zawartymi w aktach prawnych UE. Od czerwca 2000 r. w Niemczech obowiązuje zakaz obrotu, produkcji i wykorzystania biotrwiałych sztucznych włókien mineralnych w izolacji cieplnej i akustycznej budynków oraz w izolacjach technicznych. Zgodnie z rozporządzeniem *Verordnung zur Änderung chemikalienrechtlicher Verordnungen* (2017) syntetyczne włókna ceramiczne (krzemianowe) bez określonej orientacji z zawartością tlenków

alkalicznych i metali ziem alkalicznych ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{BaO}$) powyżej 18% wag. oraz ich mieszaniny i produkty zawierające te substancje w stężeniu wagowym od więcej niż 0,1%, nie mogą być stosowane do celów izolacji cieplnej i akustycznej, do ochrony przeciwpożarowej i technicznej izolacji budynków na rynku. Wyjątki stanowią sztuczne włókna mineralne, spełniające następujące warunki:

- a) odpowiedni test dootrzewnowy nie wykazał działania rakotwórczego, lub
- b) okres półtrwania włókien po dotchawicznym podaniu dawki 2 mg zawiesiny włókien o długości większej niż 5 μm , o średnicy mniejszej niż 3 μm i stosunku długości do średnicy większej niż 3 wynosi co najwyżej 40 dni.

W większości przypadków włókna wełny mineralnej spełniające niemieckie kryteria wyłączenia są lepiej biorozpuszczalne niż włókna spełniające kryteria unijne.

Niektórzy dostawcy z Niemiec nadal kierują się klasyfikacją kancerogenności włókien opracowaną przez Niemieckie Towarzystwo Naukowe (DFG), a konkretnie komisję senacką ds. badań substancji szkodliwych dla zdrowia w miejscu pracy (Komisja – MAK), która sklasyfikowała wszystkie wytworzone przed 1997 r. typy włókna jako zasadniczo podejrzane o działanie kancerogenne. Wyroby zawierające rodzaj sztucznego włókna mineralnego, które zostało wytworzone przed 1997 r., mogą budzić obawy w zakresie ich wpływu na zdrowie. Do oceny kancerogenności włókien Niemcy zastosowali tzw. współczynnik kancerogenności KI (niem. *Kanzerogenitätsindex*). Jest on obliczany dla każdego rodzaju włókna na podstawie ich składu chemicznego. Szklane włókna ze współczynnikiem KI mniejszym lub równym 30 są zaklasyfikowane do kategorii 1B substancji rakotwórczych, ze współczynnikiem KI w zakresie 30–40 do kategorii 2, jako podejrzane o wywoływanie raka, a włókna z indeksem KI powyżej 40 są uważane za „nierakotwórcze” (Wohlleben i wsp., 2017).

Stowarzyszenie na Rzecz Jakości Wełny Mineralnej e.V. (GGM) przyznaje producentom znak jakości RAL oraz regularnie sprawdza, czy dany producent wełny mineralnej spełnia wymagania jakościowe. Produkty z wełny mineralnej wyróżnione znakiem jakości RAL nie są objęte rozporządzeniem wprowadzającym zakaz dla substancji chemicznych. Znak jakości RAL dla „wyrobów wykonanych z wełny mineralnej” wskazuje, że jakość i bezpieczeństwo produktów z wełny mineralnej sprawdzane są przez niezależną stronę trzecią. Jest potwierdzeniem regularnie monitorowanej wysokiej jakości i bezpieczeństwa wyrobów z wełny mineralnej. Znak RAL

określa produkty z wełny mineralnej, które są testowane i monitorowane zgodnie ze zdefiniowanymi kryteriami jakości, jakością i specyfikacjami testów. W przypadku wełny mineralnej oznacza to zgodność z kryteriami biorozpuszczalności.

Kryteria przypisywania znaku RAL są następujące:

1. Odpowiednie badanie dootrzewnowe nie wykazało działania rakotwórczego,
2. Okres półtrwania po dotchawicznym podaniu 2 mg zawiesiny włóknistej włókna o długości większej niż 5 μm , średnicy mniejszej niż 3 μm i stosunku długości do średnicy większej niż 3 jest mniejsze lub równe 40 dni,
3. Współczynnik rakotwórczości KI, wynikający z różnicy pomiędzy sumą stężeń masowych (w procentach) tlenków sodu, potasu, boru, wapnia, magnezu, baru i podwójnej zawartości masy (w procentach) tlenku glinu, jest większe lub 40.

Te kryteria mogą być spełnione alternatywnie, tzn. wystarczające jest spełnienie jednego z nich.

Należy zauważyć, że izolacja z wełny mineralnej opatrzona znakiem jakości RAL automatycznie spełnia wszystkie kryteria UE. **Z kolei włókna, które są zwolnione z klasyfikacji pod kątem rakotwórczości na mocy unijnych przepisów, mogą być zakazane w Niemczech.**

Poprzez etykietę jakości RAL, instalatorzy i konsumenci mogą wyraźnie rozpoznać wełnę mineralną, która została oceniona jako bezpieczna dla zdrowia w Niemczech i całej Europie (GGM, 2016).



Znak RAL (GGM, 2016)

OBOWIĄZKI PRODUCENTÓW WEŁNY MINERALNEJ W ZALEŻNOŚCI OD JEJ UZNANIA ZA SUBSTANCJĘ CHEMICZNĄ, MIESZANINĘ CHEMICZNĄ LUB WYRÓB – PODSUMOWANIE

Obowiązki producentów wełny mineralnej w zależności od jej uznania za substancję chemiczną, mieszaninę chemiczną lub wyrób podsumowano w tabeli 7.

Tabela 7.

Obowiązki producentów wełny mineralnej w zależności od jej uznania za substancję chemiczną, mieszaninę chemiczną lub wyrób

Obowiązek	Wełna mineralna jako substancja chemiczna o zmiennym składzie [nr indeksowy 650-016-00-2] lub mieszanina chemiczna (uzyskana po dodaniu spoiw i dodatków)	Wyrób – wełna mineralna po uformowaniu w określony kształt
Klasyfikacja zgodnie z art. 4 rozporządzenia CLP	TAK	NIE
Oznakowanie zgodnie z art. 4 rozporządzenia CLP	TAK <i>(jeśli w wyniku przeprowadzonej klasyfikacji lub analizy składu jest wymagane)</i>	NIE
Przekazywanie informacji w łańcuchu dostaw zgodnie z REACH	TAK <i>Zgodnie z art. 31, 32, 34 REACH</i>	TAK – jeżeli zawiera substancje SVHC > 0,1% <i>Zgodnie z art. 33 rozporządzenia REACH, przekazywanie odbiorcy (w tym także konsumentowi, jeżeli zażąda takiej informacji) danych dotyczących substancji SVHC zawartych w wyrobach i informacji pozwalających na bezpieczne stosowanie wyrobu.</i>
Sporządzanie karty charakterystyki zgodnie z zał. II do rozporządzenia REACH	TAK <i>(jeśli jest wymagane zgodnie z art. 31 rozporządzenia REACH)</i>	NIE
Stosowanie oznakowania CE potwierdzającego zgodność wyrobu z deklarowanymi właściwościami użytkowymi wg rozporządzenia PE i Rady (UE) nr 305/2011	NIE	TAK
Znak towarowy EUCEB Znak jakości RAL	NIE	FAKULTATYWNIE



CZEŚĆ II

OCENA NARAŻENIA NA WELNĘ MINERALNĄ



NARAŻENIE POPULACJI OGÓLNEJ

Narażenie populacji ogólnej na syntetyczne włókna mineralne, zarówno w powietrzu wewnątrz, jak i na zewnątrz pomieszczeń, jest małe. Nie występuje narażenie na włókna poprzez żywność, wodę pitną lub inne media środowiskowe. Osoby samodzielnie instalujące ocieplenie własnych domów mogą być przez krótki czas narażone na większe niż normalnie stężenia włókien podczas wykonywania tej czynności. Badania ilości syntetycznych włókien na powierzchniach takich jak: podłoga, półki, regały, biurka itd. wykazały, że 60% próbek nie zawierało włókien w ogóle lub zawierało 1 włókno/mm² (Vallarino i wsp., 2003). Tylko w 4% próbek oznaczono więcej niż 1 włókno/mm². Wykazano, że zawartość włókien była większa w przypadku powierzchni, które rzadko były czyszczone (szczyty regałów lub wysokich półek).

Stężenie włókien szklanych specjalnego przeznaczenia, wełny szklanej i wełny mineralnej, w otaczającym powietrzu zmierzono na poziomie od 2 włókien/m³ w powietrzu w Paryżu do $1,7 \cdot 10^3$ włókien/m³ w niemieckim mieście w Zagłębiu Ruhry, podczas gdy emisja z zakładów przetwarzających szkło i kamień w Niemczech była rzędu 10^4 włókien/m³ (Danish Ministry of the Environment, 2013).

OCENA NARAŻENIA ZAWODOWEGO NA WŁÓKNA MINERALNE NA PODSTAWIE DANYCH LITERATUROWYCH ORAZ TERENOWYCH DANYCH POMIAROWYCH Z OBSZARU POLSKI

WARTOŚCI ODNIESIENIA DLA WŁÓKIEŃ MINERALNYCH W POWIETRZU ŚRODOWISKA PRACY W POLSCE

Do lipca 2018 r. w Polsce obowiązywały następujące wartości normatywów higienicznych dla włókien mineralnych, określone w „Części B: Pyły” Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. *w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej, 2014) przedstawione w tabeli 8.

Tabela 8.

Najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) włókien mineralnych obowiązujące w Polsce do lipca 2018 r. (rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej, 2014)

Lp.	Nazwa i nr CAS czynnika szkodliwego dla zdrowia	NDS	
		[mg/m ³]	[włókien w cm ³]
8.	Pyły sztucznych włókien mineralnych [-]:		
	a) Pyły sztucznych włókien mineralnych, z wyjątkiem włókien ceramicznych		
	Frakcja wdychalna	2	-
	Włókna respirabilne	-	1

Zatem dla włókien mineralnych do lipca 2018 r. funkcjonowały 2 typy normatywu:

- a) dla frakcji wdychanej pyłu włókien – wartość NDS zdefiniowana jako wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w Kodeksie pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie powinna spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń NDS – 2 mg/m³,

b) dla frakcji respirabilnej włókien – wartość NDS zdefiniowana jw., wyrażona liczbą włókien w cm^3 , która wynosi 1.

Obecnie zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 2018 r. *w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018) wartość NDS ustalono wyłącznie dla włókien respirabilnych na poziomie 1 włókno/ cm^3 . Przypis określa włókna respirabilne jako włókna o długości powyżej 5 μm , o maksymalnej średnicy poniżej 3 μm i o stosunku długości do średnicy powyżej 3. W tabeli 9. przedstawiono wartości normatywów włókien mineralnych obowiązujących w Polsce.

Tabela 9.

Najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) włókien mineralnych (rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018)

Lp.	Nazwa i nr CAS czynnika szkodliwego dla zdrowia	NDS	
		[mg/m^3]	[włókien w cm^3]
476.	Sztuczne włókna mineralne, z wyjątkiem ogniotrwałych włókien ceramicznych – włókna respirabilne ⁸⁾ [-]	-	1

8) Włókna respirabilne – włókna o długości większej niż 5 μm , o maksymalnej średnicy mniejszej niż 3 μm i o stosunku długości do średnicy większej niż 3.

W przypadku włókien mineralnych nie ustalono wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia chwilowego (NDSCh) ani najwyższego dopuszczalnego stężenia pułapowego (NDSP).

W związku z wprowadzeniem do „Wykazu wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń chemicznych i pyłowych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy” wartości NDS dla frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej na poziomie 0,1 mg/m^3 , zrezygnowano z dotychczasowej wartości NDS dla frakcji wdychalnej pyłów włókien mineralnych na poziomie 2 mg/m^3 . Frakcja wdychalna to frakcja pyłu całkowitego, która w procesie oddychania wnika do układu oddechowego przez nos i usta, a po zdeponowaniu w drogach oddechowych stwarza zagrożenie dla zdrowia.

Zatem obecnie monitoring narażenia na włókna mineralne polega na pomiarze stężenia włókien mineralnych wyrażonych liczbą włókien w 1 cm^3 i odniesieniu do wartości NDS na poziomie 1 włókno/ cm^3 . Tam, gdzie konieczne jest monitorowanie narażenia dodatkowo na pył, narażenie odnosi się do wartości NDS dla frakcji wdychalnej pyłów

niesklasyfikowanych ze względu na toksyczność, wynoszącej 10 mg/m³. Należy podkreślić, że w przypadku przeprowadzania pomiarów stężeń pyłów niesklasyfikowanych ze względu na toksyczność istnieje obecnie obowiązek jednoczesnego równoległego oznaczania stężeń frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej.

W przypadku ogniotrwałych włókien ceramicznych w postaci własnej lub w mieszaninie z innymi sztucznymi włóknami ustalono wartości NDS, które przedstawiono w tabeli 10. Przypis określa, że wartość NDS dotyczy ogniotrwałych włókien ceramicznych, które są czynnikami rakotwórczymi kategorii 1B w rozumieniu Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. *w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniającego i uchylającego dyrektywy 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniającego rozporządzenie (WE) nr 1907/2006*, czyli włókien, których średnia geometryczna średnica włókien ważona długością pomniejszona o 2 standardowe błędy geometryczne jest równa lub mniejsza niż 6 µm.

Tabela 10.

Najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) ogniotrwałych włókien ceramicznych (rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018)

Lp.	Nazwa i nr CAS czynnika szkodliwego dla zdrowia	NDS	
		[mg/m ³]	[włókien w cm ³]
419.	Ogniotrwałe włókna ceramiczne ¹⁴⁾ [-] Ogniotrwałe włókna ceramiczne ¹⁴⁾ w mieszaninie z innymi sztucznymi włóknami mineralnymi [-]	-	0,3

14) Ogniotrwałe włókna ceramiczne, które są czynnikami rakotwórczymi kategorii 1B w rozumieniu Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. *w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniającego i uchylającego dyrektywy 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniającego rozporządzenie (WE) nr 1907/2006* i Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 24 lipca 2012 r. *w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w środowisku pracy* (Dz. U. z 2016 r. poz. 1117), których średnia geometryczna średnica włókien ważona długością pomniejszona o 2 standardowe błędy geometryczne jest mniejsze niż 6 µm.

Podobnie jak w przypadku włókien mineralnych, w związku z wprowadzeniem do „Wykazu wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń chemicznych i pyłowych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy” wartości NDS dla frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej na poziomie 0,1 mg/m³, zrezygnowano z dotychczasowej wartości NDS dla frakcji wdychalnej pyłów włókien ceramicznych na poziomie 1 mg/m³. Zatem monitoring narażenia na włókna ceramiczne polega obecnie na

pomiarze stężenia włókien ceramicznych wyrażonych liczbą włókien w 1 cm^3 i odniesieniu do wartości NDS $0,3\text{ włókien/cm}^3$. Tam, gdzie konieczne jest monitorowanie narażenia dodatkowo na pył, narażenie odnosi się do wartości NDS dla frakcji wdychanej pyłów niesklasyfikowanych ze względu na toksyczność, wynoszącej 10 mg/m^3 . W przypadku przeprowadzania pomiarów stężeń pyłów niesklasyfikowanych ze względu na toksyczność istnieje obecnie obowiązek jednoczesnego oznaczania stężeń frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej.

WARTOŚĆ NAJWYŻSZEGO DOPUSZCZALNEGO STĘŻENIA (OEL) DLA WŁÓKIEN MINERALNYCH OBOWIĄZUJĄCA W UNII EUROPEJSKIEJ

Zdaniem ekspertów Unii Europejskiej wchodzących w skład SCOEL (Komitet ds. ustalania wartości dopuszczalnych w Unii Europejskiej) charakter efektów krytycznych obserwowanych w przypadku włókien syntetycznych z wełny skalnej, żuźlowej i szklanej jest podobny. Stąd SCOEL (2012) zalecił wartość dopuszczalnego poziomu narażenia OEL (ang. *Occupational Exposure Level*) dla frakcji respirabilnej włókien na poziomie 1 włókno/cm^3 (Schneider, 1987). Frakcję respirabilną zdefiniowano jako frakcję zawierającą włókna dłuższe niż $5\text{ }\mu\text{m}$, ale krótsze od $100\text{--}200\text{ }\mu\text{m}$, o średnicy mniejszej niż $3\text{ }\mu\text{m}$, dla których stosunek długości do średnicy wynosi co najmniej 3:1. Podstawą tej wartości był poziom bez obserwowanego działania NOAEL (ang. *No Observed Adverse Effect Level*) $25\text{--}30\text{ włókien/cm}^3$, wyznaczona w wiarygodnych, prawidłowo przeprowadzonych przewlekłych badaniach inhalacyjnych na szczurach (SCOEL, 2012). Efektem krytycznym we wszystkich badaniach opisanych przez SCOEL było działanie zwłókniające włókien w tkance płucnej, bez uwzględnienia działania rakotwórczego. Do wyznaczenia wartości dopuszczalnej przyjęto konserwatywne wielkości współczynników niepewności. Wartość ta nie stała się dotychczas wartością obowiązującą prawnie w Unii Europejskiej, a jest wyłącznie rekomendacją.

Niektóre ogniotrwałe włókna ceramiczne spełniają kryteria klasyfikacji jako substancje rakotwórcze (kategorii 1B) zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 1272/2008 i w związku z tym są czynnikami rakotwórczymi w rozumieniu dyrektywy 2004/37/WE. Na podstawie dostępnych informacji, w tym danych naukowych i technicznych, ustalono wiążącą wartość dopuszczalną na poziomie $0,3\text{ włókien/cm}^3$ dla tych ogniotrwałych włókien ceramicznych.

WIELKOŚĆ POZIOMÓW STĘŻEŃ WŁÓKIEN W POWIETRZU ŚRODOWISKA PRACY

W latach 60-tych narażenie zawodowe na sztuczne włókna mineralne oceniano jako narażenie na pył całkowity metodą grawimetryczną w mg/m³. Pył całkowity obejmuje wszystkie cząstki zawieszone w powietrzu. Pobieranie próbek aerozoli w środowisku pracy najczęściej prowadzi się z wykorzystaniem urządzeń jednostopniowych, a pobrane próbki analizuje w celu oznaczenia stężenia masowego wszystkich cząstek – pyłu całkowitego. Rozwój nowoczesnych metod analitycznych spowodował krytykę takiego podejścia. W Polsce do 2018 r. w celu oceny narażenia zawodowego na włókna mineralne monitorowano jednocześnie stężenia frakcji wdychanej pyłu oraz oznaczano liczbę włókien w 1 cm³ powietrza środowiska pracy. Od sierpnia 2018 r. ocena narażenia zawodowego na sztuczne włókna mineralne bazuje na zliczaniu liczby włókien respirabilnych za pomocą mikroskopu elektronowego i wyrażona jest w liczbie włókien/cm³.

Ze względu na proces technologiczny osoby narażone zawodowo na pył sztucznych włókien mineralnych można umownie podzielić na 3 grupy:

- pracownicy zatrudnieni w zakładach produkujących sztuczne włókna mineralne,
- pracownicy zatrudnieni w zakładach stosujących sztuczne włókna mineralne jako surowiec do produkcji wyrobów i mieszanin uszczelniających i termoizolacyjnych,
- pracownicy zatrudnieni przy montażu i wymianie wyrobów uszczelniających i termoizolacyjnych produkowanych ze sztucznych włókien mineralnych.

Głównymi odbiorcami materiałów uszczelniających i termoizolacyjnych są budownictwo i energetyka.

W zależności od rodzaju procesu produkcyjnego włókna mogą mieć średnice różnej wielkości. Średnica nominalna jest oszacowana jako średnia średnica włókna, jednak średnice poszczególnych włókien różnią się od średnicy nominalnej, a wszystkie produkty z wełny zawierają pewien procent włókien wdychalnych (ACGIH, 2018). Mniejsze włókna łatwiej przedostają się do powietrza, stąd średnia średnica włókien w powietrzu będzie mniejsza od nominalnej średnicy produktu (Krantz, 1988; ACGIH, 2018). Krantz (1988) ocenił, że w przypadku wełen skalnej i szklanej do izolacji oraz włókien specjalnego przeznaczenia maksymalna mediana

średnicy włókien w powietrzu podczas produkcji nie przekraczała 1 μm . Kiedy porównano ją z nominalną średnicą włókien w produkcji, okazało się, że jest mniejsza. Dane analityczne wskazują, że zwykle w powietrzu występuje większe stężenie włókien o mniejszej średnicy w porównaniu do stężenia włókien o większej średnicy (NTP, 2010).

Średnie stężenia MMMF w czasie procesów ich produkcji (wyrażone jako wartości średnie dla 8-godzinnego dnia pracy) nie przekraczają zwykle wartości 0,5 włókna/cm³ powietrza (Costa i Orriols, 2012), choć mogą sięgać poziomu równego kilkukrotności tej wartości. Obserwowany zakres wartości stężeń w środowisku pracy mieści się w granicach od 0,002 włókna/cm³ (produkcja ciągłych włókien szklanych) do 1,56 włókna/cm³ powietrza (produkcja wełny szklanej). Gdy włókna są stosowane w praktyce lub usuwane ze środowiska, wtedy ich stężenia mogą bardzo znacząco wzrastać, nawet do poziomu 12,7 włókien/cm³ powietrza (Mauderly i wsp., 2000; Marchant i wsp., 2002).

Poniżej przedstawiono zestawienie Centralnego Instytutu Ochrony Pracy (CIOP, 2018) obejmujące średnie stężenie pyłu towarzyszące narażeniu na włókna mineralne [mg/m³] i średnie stężenie włókien respirabilnych [włókno/cm³] w zależności od zajmowanego stanowiska w różnych zakładach przemysłowych w Polsce w 2001 r. (tab. 11.–13.).

Tabela 11.

Wyniki pomiarów stężeń pyłu i włókien respirabilnych na stanowiskach pracy w zakładach produkujących sztuczne włókna mineralne (CIOP, 2018)

Stanowisko	Liczba pomiarów	Średnie stężenie pyłu całkowitego (zakres) [mg/m ³]	Średnie stężenie włókien respirabilnych (zakres) [włókno/cm ³]
Operatorzy urządzeń produkcyjnych (pieca, linii produkcyjnej, pakowarek, granulatorów)	46	2,7 (0,3–19,1)	0,057 (0,013–0,204)
Sortowanie półproduktów i wyrobu gotowego	4	0,8 (0,4–1,3)	0,070 (0,03–0,109)
Transport wewnątrzzakładowy	6	1,2 (0,8–1,6)	0,041 (0,019–0,074)
Pracownicy utrzymania ruchu (elektrycy, mechanicy)	4	0,5 (0,2–0,7)	0,042 (0,029–0,069)
Dozór (mistrz)	4	1,0 (0,8–1,2)	0,067 (0,048–0,082)

Tabela 12.

Wyniki pomiarów stężeń pyłu i włókien respirabilnych na stanowiskach pracy w zakładach produkujących wyroby uszczelniające i termoizolacyjne (CIOP, 2018)

Stanowisko	Liczba pomiarów	Średnie stężenie pyłu całkowitego (zakres) [mg/m ³]	Średnie stężenie włókien respirabilnych (zakres) [włókno/cm ³]
Płyty uszczelniające	16	1,6 (0,3–5,7)	0,117 (0,023–0,559)
Uszczelniki	13	0,5 (0,1–0,8)	0,033 (0,012–0,05)
Tektura termoizolacyjna	15	3,0 (0,1–15,4)	0,398 (0,069–1,161)
Materiały cierne	3	0,4 (0,4–0,7)	0,043 (0,017–0,105)
Szczeliwa, sznury, taśmy	16	1,5 (0,2–5,9)	0,105 (0,007–0,737)

Tabela 13.

Wyniki pomiarów stężeń pyłu i włókien respirabilnych na stanowiskach pracy izolatorów i monterów materiałów uszczelniających i termoizolacyjnych w elektrowniach i elektrociepłowniach (CIOP, 2018)

Stanowisko	Średnie stężenie pyłu całkowitego [mg/m ³]	Średnie stężenie włókien respirabilnych [włókno/cm ³]
Demontaż zużytej i montaż nowej tkaniny ceramiczno-szklanej na ekranach dźwiękoszczelnych	3,0	0,191
Demontaż i montaż izolacji termicznej (wełna mineralna) na ekranach termicznych	12,7	0,145
Demontaż i montaż izolacji termicznej (maty z wełny mineralnej) na rurociągu ciepłowniczym	1,3	0,073
Montaż izolacji termicznej (płyty z wełny mineralnej na wentylatorach)	11,5	0,029

Według innych autorów przeprowadzone pomiary stężeń pyłu podczas montażu i wymiany materiałów termoizolacyjnych wykazały, że podczas 8-godzinnego dnia pracy stężenia średnie ważone pyłu całkowitego wahały się w granicach 1,3–14,3 mg/m³ (średnio 7,3 mg/m³), a stężenia respirabilnych włókien mineralnych mieściły się w przedziale 0,029–0,510 włókna/cm³ (średnio 0,18 włókna/cm³). Na wielkość stężeń włókien respirabilnych podczas stosowania wyrobów ma wpływ rodzaj stosowanej izolacji (z lepiszczem czy też bez niego). Jak wynika z badań, przy montażu izolacji z lepiszczem stężenia respirabilnych włókien mineralnych były około 6–14 razy mniejsze niż podczas montażu izolacji bez lepiszcza (Less i wsp., 1993; De Vuyst i wsp., 1995; Krajewski i Tarkowski, 2002).

W tabelach 14. i 15. przedstawiono wyniki pomiarów stężeń frakcji wdychalnej i respirabilnej pyłów włókien szklanych i skalnych dla różnych grup zawodowych w europejskich zakładach produkujących sztuczne włókna w latach 1977–1980 według IARC (2002).

Tabela 14.

Stężenia frakcji respirabilnej włókien dla różnych grup zawodowych i całkowite stężenie pyłu w 4 europejskich zakładach wełny szklanej (1977–1980) (IARC, 2002)

Zakład	Grupy zawodowe	Liczba pomiarów	Średnia arytmetyczna	Zakres stężeń
Zakład A	Stężenie frakcji respirabilnej [włókna/cm ³]			
	Przedprodukcja	8	0,01	< 0,01–0,01
	Produkcja	26	0,01	< 0,01–0,03
	Konserwacja	4	0,03	0,01–0,06
	Proces technologiczny	32	0,05	0,01–0,21
	Całkowite stężenie pyłu [mg/m ³]			
	Ogółem	69	0,6	-
Zakład B	Stężenie frakcji respirabilnej [włókna/cm ³]			
	Przedprodukcja	5	0,01	0,01
	Produkcja	27	0,03	0,01–0,11
	Konserwacja	12	0,04	< 0,01–0,17
	Proces technologiczny	26	0,03	< 0,01–0,07
	Czyszczenie	4	0,01	0,01–0,02
Całkowite stężenie pyłu [mg/m ³]				
	Ogółem	79	1,3	-
Zakład C	Stężenie frakcji respirabilnej [włókna/cm ³]			
	Przedprodukcja	5	0,01	0,01–0,02
	Produkcja	39	0,05	0,01–0,62
	Konserwacja	20	0,07	0,01–0,60
	Proces technologiczny	37	0,04	0,01–0,11
	Całkowite stężenie pyłu [mg/m ³]			
	Ogółem	124	1,0	-
Zakład D	Stężenie frakcji respirabilnej [włókna/cm ³]			
	Przedprodukcja	5	0,01	< 0,01–0,03
	Produkcja	61	0,05	< 0,01–0,22
	Konserwacja	27	0,02	< 0,01–0,06
	Proces technologiczny	36	0,02	< 0,01–0,06
	Całkowite stężenie pyłu [mg/m ³]			
	Ogółem	168	1,3	-

Tabela 15.

Stężenia frakcji respirabilnej włókien dla różnych grup zawodowych i całkowite stężenie pyłu w 6 europejskich zakładach wełny skalnej (1977–1980) (IARC, 2002)

Zakład	Grupy zawodowe	Liczba pomiarów	Średnia arytmetyczna	Zakres stężeń
Zakład T	Stężenia frakcji respirabilnej [włókna/cm ³]			
	Przedprodukcja	8	0,08	0,01–0,22
	Produkcja	36	0,10	0,02–0,37
	Konserwacja	9	0,08	0,05–0,18
	Proces 1	32	0,10	0,03–0,21
	Proces 2	11	0,40	0,09–1,40
	Całkowite stężenie pyłu [mg/m ³]			
	Ogółem	101	2,4	-
Zakład W	Stężenia frakcji respirabilnej [włókna/cm ³]			
	Przedprodukcja	3	0,06	0,03–0,11
	Produkcja	28	0,12	0,03–0,32
	Konserwacja	8	0,05	0,03–0,10
	Proces 1	11	0,12	0,06–0,23
	Proces 2	3	0,34	0,25–0,41
	Czyszczenie	4	0,13	0,05–0,29
	Całkowite stężenie pyłu [mg/m ³]			
Ogółem	56	1,6	-	
Zakład Z	Stężenia frakcji respirabilnej [włókna/cm ³]			
	Przedprodukcja	7	0,03	0,01–0,07
	Produkcja	27	0,06	0,02–0,19
	Konserwacja	20	0,05	0,02–0,12
	Proces 1	28	0,08	0,03–0,33
	Czyszczenie	8	0,06	0,02–0,14
	Całkowite stężenie pyłu [mg/m ³]			
	Ogółem	86	1,1	-
Zakład X	Stężenia frakcji respirabilnej [włókna/cm ³]			
	Przedprodukcja	2	0,01	0,01
	Produkcja	22	0,06	0,02–0,14
	Konserwacja	12	0,05	0,01–0,14
	Proces 1	16	0,07	0,01–0,15
	Czyszczenie	5	0,09	0,04–0,11
	Całkowite stężenie pyłu [mg/m ³]			
	Ogółem	53	1,0	-
Zakład Y	Stężenia frakcji respirabilnej [włókna/cm ³]			
	Przedprodukcja	1	0,04	0,04
	Produkcja	19	0,05	0,01–0,13
	Konserwacja	9	0,03	0,01–0,07
	Proces 1	24	0,08	0,01–0,20
	Proces 2	3	0,25	0,19–0,36
	Czyszczenie	8	0,09	0,01–0,18
	Całkowite stężenie pyłu [mg/m ³]			
Ogółem	60	1,0	-	

Zakład	Grupy zawodowe	Liczba pomiarów	Średnia arytmetyczna	Zakres stężeń
Zakład U	Stężenia frakcji respirabilnej [włókna/cm ³]			
	Przedprodukcja	4	0,01	< 0,01–0,01
	Produkcja	51	0,05	0,01–0,16
	Konserwacja	10	0,04	0,01–0,11
	Proces 1	55	0,06	0,02–0,39
	Proces 2	22	0,67	0,06–1,37
	Czyszczenie	12	0,14	0,02–0,44
	Całkowite stężenie pyłu [mg/m ³]			
Ogółem	164	0,7	-	

W USA pracownicy instalujący ocieplenie z włókna szklanego są narażeni na stężenia włókien o średnicy 0,30–25,0 μm (średnia arytmetyczna 6,5 μm) w stężeniach $5,0 \cdot 10^{-4}$ –2,41 włókna/cm³ (średnia arytmetyczna 0,406 włókna/cm³) (Balzer, 1971; NIOSH, 1976; Switala i wsp., 1994). W przypadku ocieplenia z użyciem granulatu wełny mineralnej tzw. metodą wdmuchiwania – nazywaną *blow-in* lub *open-blow* – która izoluje trudno dostępne przestrzenie, notowano średnie stężenie włókien szklanych około 0,13 włókna/cm³ (jako średnia arytmetyczna całkowitej frakcji włókien) oraz 0,042 włókna/cm³ (włókna respirabilne). Badania wykazały, że poziomy stężenie włókien pierwszego dnia po instalacji uległy obniżeniu do poziomu $1 \cdot 10^{-4}$ włókna/cm³ (Jacob i wsp., 1992). Najwyższe stężenia włókien mierzono podczas usuwania materiałów izolujących wewnątrz pomieszczeń (0,39–3,51 włókna/cm³). W przypadku włókien skalnych, które stosowano jako materiały izolacyjne, stężenie frakcji respirabilnej pyłu podczas wdmuchiwania granulatu wełny mineralnej skalnej na poddaszu budynku mieszkalnego wynosiło 0,32 włókna/cm³, podczas gdy na terenie budowy przemysłowej 0,15 włókna/cm³. Najniższy poziom odnotowano w powietrzu podczas instalacji paneli z włókna szklanego wokół przewodów wentylacyjnych na budowach przemysłowych, tj. średnio 0,010 włókna/cm³ (Perrault i wsp., 1992).

Średnie stężenie frakcji respirabilnej włókien zmierzono w zakresie 0,080–1,76 włókien/cm³ podczas instalacji waty szklanej lub wełny mineralnej jako materiału izolacyjnego w domach w Anglii (Jaffrey, 1990). Najniższe stężenie w powietrzu zaobserwowano podczas instalacji izolacji z wełny skalnej, a najwyższe podczas instalowania cienkiej wełny szklanej – około 80% włókien miało średnicę mniejszą niż 1 μm .

W badaniu z udziałem 4 zakładów produkujących izolację z włókna szklanego i 1 produkującego wyroby tekstylne z włókna szklanego

zmierzono zakres stężenia frakcji respirabilnej włókien o średnicy poniżej 5 µm, które wynosi mniej niż 1,97 włókna/cm³, przy średnich poziomach stężeń w zakresie 0,020–0,97 włókna/cm³ (Johnson i wsp., 1969).

W innym badaniu średnie stężenia włókien szklanych w 11 różnych zakładach przemysłowych produkujących izolację wynosiły 0,0020–0,14 włókna/cm³, natomiast w przypadku włókien respirabilnych – 0,0010–0,071 włókna/cm³ (Jacob i wsp., 1993).

Badano również poziomy stężenie włókien w powietrzu podczas usuwania instalacji rur i płyt sufitowych: średnie stężenie włókien szklanych w powietrzu wynosiło 0,10 włókna/cm³, natomiast średnie stężenie frakcji respirabilnej włókien szklanych – 0,042 włókna/cm³ (Jacob i wsp., 1993).

Wyniki pomiarów stężeń włókien w różnych miejscach 16 zakładów produkujących wełnę szklaną z ciągłego włókna szklanego, skały i wełny żużlowej w USA przedstawiono w tabelach 16. i 17. (Esmen i wsp., 1979a; 1979b).

Tabela 16.

Średnie stężenia pyłów towarzyszących narażeniu na włókna mineralne [mg/m³] w 16 zakładach produkcyjnych w USA (Esmen i wsp., 1979a; 1979b)

Zakład	Formowanie (SD)	Produkcja (SD)	Przetwórstwo (SD)	Stosowanie (SD)	Spedycja (SD)
1	0,47 (0,47)	1,04 (1,34)	0,96 (0,96)	0,71 (0,45)	0,39 (0,09)
2	1,65 (1,17)	2,53 (2,30)	2,28 (1,51)	2,00 (1,32)	1,34 (0,58)
3	brak danych	0,51 (0,30)	brak danych	0,83 (0,61)	0,70 (0,42)
4	1,22 (0,51)	0,77 (0,49)	1,23 (0,95)	2,00 (4,40)	1,32 (0,96)
5	0,76 (0,25)	0,67 (1,52)	0,29 (0,95)	0,55 (0,32)	0,62 (0,33)
6	1,30 (0,71)	1,77 (2,23)	0,51 (0,39)	2,00 (2,50)	0,45 (0,19)
7	2,18 (1,62)	2,00 (0,31)	4,31 (4,03)	6,72 (7,84)	1,77 (1,02)
8	brak danych	8,48 (9,02)	1,17 (0,55)	4,64 (8,28)	0,84 (0,67)
9	1,18 (0,48)	1,90 (1,52)	1,14 (0,53)	1,33 (0,57)	1,08 (0,46)
10	2,45 (0,93)	0,75 (0,47)	0,73 (0,33)	1,25 (1,07)	0,69 (0,15)
11	2,18 (1,64)	1,08 (1,82)	0,87 (0,46)	1,26 (0,49)	1,04 (0,41)
12	0,34 (0,35)	0,20 (0,30)	0,28 (0,26)	0,53 (0,26)	0,88 (0,08)
13	4,10 (-)	1,34 (0,46)	1,19 (1,08)	1,80 (1,69)	1,31 (0,59)
14	3,00 (1,37)	0,85 (0,59)	1,06 (0,47)	1,57 (1,41)	0,91 (0,72)
15	0,30 (0,21)	0,61 (0,51)	1,08 (0,80)	1,09 (0,75)	0,54 (0,18)
16	0,77 (0,46)	0,82 (0,69)	0,86 (0,52)	1,79 (1,50)	0,76 (0,53)

SD – odchylenie standardowe.

Tabela 17.

Średnie stężenia włókien mineralnych w 16 zakładach produkcyjnych w USA (Esmen i wsp., 1979a; 1979b)

Zakład	ND [μm]	Formowanie (SD)	Produkcja (SD)	Przetwórstwo (SD)	Stosowanie (SD)	Spedycja (SD)
1	1-12	0,002 (0,001)	0,38 (0,32)	0,03 (0,02)	0,02 (0,02)	0,01 (0,001)
2	6	0,07 (0,03)	0,17 (0,14)	0,12 (0,11)	0,08 (0,05)	0,07 (0,06)
3	3-6	brak danych	0,02 (0,02)	brak danych	0,07 (0,18)	0,005 (0,01)
4	1-6	0,01 (0,004)	0,07 (0,12)	0,04 (0,05)	0,03 (0,02)	0,02 (0,01)
5	8	0,02 (0,01)	0,03 (0,02)	0,03 (0,02)	0,02 (0,01)	0,03 (0,01)
6	5-15	0,05 (0,10)	0,01 (0,01)	0,008 (0,01)	0,01 (0,03)	0,005 (0,004)
7	5	0,15 (0,03)	0,24 (0,12)	0,43 (0,32)	0,44 (0,37)	0,15 (0,17)
8	7-10	brak danych	0,03 (0,02)	0,04 (0,03)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)
9	7-10	0,02 (0,02)	0,01 (0,01)	0,02 (0,07)	0,01 (0,006)	0,004 (0,002)
10	6-16	0,001 (0,001)	0,003 (0,004)	0,004 (0,004)	0,002 (0,003)	0,002 (0,002)
11	7	0,09 (0,11)	0,05 (0,03)	0,04 (0,03)	0,04 (0,04)	0,03 (0,02)
12	6-115	0,01 (0,01)	0,020 (0,030)	0,01 (0,004)	0,01 (0,02)	0,007 (0,005)
13	7	0,58 (brak danych)	0,08 (0,06)	0,11 (0,17)	0,09 (0,08)	0,03 (0,02)
14	6-13	0,01 (0,01)	0,04 (0,09)	0,05 (0,05)	0,05 (0,13)	0,03 (0,03)
15	0,05-1,6	0,19 (0,22)	0,92 (1,02)	1,56 (3,79)	0,11 (0,10)	0,10 (0,09)
16	6-10	0,02 (0,01)	0,02 (0,02)	0,05 (0,03)	0,07 (0,23)	0,02 (0,01)

ND – średnica nominalna.

SD – odchylenie standardowe.

Amerykańskie Towarzystwo Producentów Izolacji (*North American Insulation Manufacturers Association*) opracowało bazę danych obejmującą informacje nt. wielkości stężeń frakcji respirabilnej pyłów włókien szklanych, skalnych i żuźlowych (Marchant i wsp., 2002; Maxim i wsp., 2003). Baza nie zawierała danych z przemysłu włókienniczego, ponieważ uznano, że włókna te są na ogół uważane za nierespirabilne ze względu na stosunkowo duże średnice. Baza zawiera informacje o poziomach narażenia w zależności od kategorii produktu i wykonywanej czynności zawodowej. Informacje z tej bazy zamieszczono w tabeli 18. Dodatkowe dane dotyczące narażenia według klasyfikacji produktu i opisu pracy zostały przedstawione w tabeli 19.

Tabela 18.

Klasyfikacja narażenia na sztuczne włókna mineralne w zależności od rodzaju sektora przemysłowego (Marchant i wsp., 2002)

Sektor przemysłowy	Liczba próbek	Średnie stężenie włókien (8 godz. średnia ważona) [włókna/cm ³]	Odchylenie standardowe [włókna/cm ³]	Mediana stężenia włókien [włókna/cm ³]	Zakres stężeń włókien [włókna/cm ³]
Produkcja włókna szklanego	1648	0,23	0,53	0,03	0,01–4,63
Produkcja wyrobów z włókna szklanego	475	0,28	0,49	0,10	0,01–3,80
Montaż izolacji z wełny szklanej	344	0,38	0,73	0,16	0,01–7,49
Modernizacja/usuwanie izolacji z wełny szklanej	6	0,26	0,26	0,21	0,03–0,74
Wszystkie operacje łącznie	2473	0,26	0,55	0,05	0,01–7,49
Produkcja wełny mineralnej	429	0,20	0,19	0,15	0,01–1,41
Montaż izolacji z wełny mineralnej	74	0,15	0,17	0,09	0,02–0,82
Modernizacja/usuwanie izolacji z wełny mineralnej	2	0,10	0,01	0,10	0,10–0,11
Wszystkie operacje łącznie	505	0,19	0,19	0,14	0,01–1,41

Tabela 19.

Narażenie na MMMF w zależności od typu wykonywanej pracy (Marchant i wsp., 2002)

Opis stanowiska pracy	Liczba próbek	Średnie stężenie włókien (8 godz. średnia ważona) [włókna/cm ³]	Odchylenie standardowe [włókna/cm ³]	Mediana stężenia włókien [włókna/cm ³]	Zakres stężeń włókien [włókna/cm ³]
Produkcja włókna szklanego					
Obsługa maszyny do belowania/zgniatacz	29	0,05	0,05	0,04	0,01–0,25
Mieszacz spoiwa	40	0,18	0,33	0,04	0,01–1,30
Cięcie/tłoczenie matrycy na gorąco	109	0,04	0,12	0,01	0,01–0,88
Formowanie	289	0,11	0,23	0,02	0,01–2,30
Robotnik ogólnie/obsługa	62	0,11	0,33	0,02	0,01–2,29
Pakowacz	890	0,34	0,67	0,04	0,01–4,63
Kontrola jakości/pracownik badawczy	75	0,18	0,23	0,09	0,01–1,20
Szycie/laminowanie/montaż	91	0,08	0,11	0,03	0,01–0,62
Spedycja	53	0,01	0,01	0,01	0,01–0,06
Inne	10	0,11	0,20	0,05	0,01–0,66

Opis stanowiska pracy	Liczba próbek	Średnie stężenie włókien (8 godz. średnia ważona) [włókna/cm ³]	Odchylenie standardowe [włókna/cm ³]	Mediana stężenia włókien [włókna/cm ³]	Zakres stężeń włókien [włókna/cm ³]
Montaż wełny szklanej					
Monter	34	0,04	0,06	0,02	0,01–0,35
Dozowacz	63	0,36	0,37	0,20	0,01–2,18
Instalator	232	0,45	0,85	0,18	0,01–7,49
Inne	9	0,16	0,14	0,07	0,03–0,37
Produkcja wełny mineralnej					
Nadzór	17	0,13	0,11	0,10	0,01–0,40
Formowanie	162	0,24	0,22	0,18	0,01–1,41
Obsługa	79	0,18	0,16	0,14	0,01–0,79
Pakowanie	62	0,25	0,20	0,23	0,01–1,00
Kontrola jakości	20	0,21	0,21	0,16	0,01–0,80
Spedycja	55	0,14	0,14	0,08	0,01–0,57
Inne	34	0,09	0,10	0,05	0,01–0,42
Montaż wełny mineralnej					
Instalator	65	0,16	0,17	0,10	0,02–0,82
Inne	9	0,09	0,12	0,05	0,02–0,40

W Instytucie Medycyny Pracy w Łodzi, przy współpracy z Głównym Inspektorem Sanitarnym, w celu oszacowania narażenia zawodowego na pyły w Polsce podjęto próbę zorganizowania krajowej bazy danych, w której prowadzone są wyniki rutynowych pomiarów narażenia na pyły, wykonywanych przez laboratoria higieny pracy i środowiskowe w całym kraju w latach 2001–2005. Stwierdzono przekroczenie NDS w odniesieniu do pyłów sztucznych włókien mineralnych w 26,9% badanych przypadków (Bujak-Pietrek i wsp., 2008).

**UZUPEŁNIAJĄCE BADANIA NA STANOWISKACH PRACY
Z WYKORZYSTANIEM WEŁNY MINERALNEJ. ANALIZA
ZANIECZYSZCZEŃ GENEROWANYCH W CZASIE PRAC
Z UŻYCIEM MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH Z WŁÓKIEN
MINERALNYCH – WEŁNA SZKLANA, WEŁNA SKALNA
(Sprawozdanie z badań, 2018; Skrzyńska, 2019)**

Etap I

Etap I polegał na przeprowadzeniu badań środowiska pracy mających na celu ocenę narażenia zdrowia pracowników wykonujących prace związane z ociepleniem poddasza budynku oraz szlifowaniem ścian zewnętrznych

w 4 różnych miejscach pomiarowych, a następnie badaniu składu frakcyjnego (Sprawozdanie z badań, 2018; Skrzyńska, 2019).

Ocena narażenia zawodowego w czasie prac z użyciem materiałów izolacyjnych z włókien mineralnych – wełna szklana, wełna skalna

Prace montażowe obejmowały takie czynności jak: przygotowanie wełny mineralnej, cięcie i rozkładanie materiału pomiędzy krokiewkami na poddaszu użytkowym przy użyciu narzędzi ręcznych, smarowanie klejem przy użyciu narzędzi ręcznych, klejenie wełny do sufitu garażu (prace na rusztowaniu), prace pomocnicze i porządkowe, szlifowanie wełny mineralnej przy pomocy papieru ściernego, czyszczenie fasady, kołkowanie, doklejanie.

Do montażu używano 4 różnych rodzajów wełen mineralnych: URSA GLASSWOOL GOLD 35, ROCKWOOL FASROCK G, ROCKWOOL FRONTROCK MAX E, URSA GLASWOOL GOLD 35 oraz CLIMAWOOL DF1.

Pobieranie próbek powietrza przeprowadzono metodą dozymetrii indywidualnej na podstawie Polskiej Normy PN-Z-04008-7:2002+Az1/2004 „Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacja wyników”. Pobór i analiza objęte były zakresem akredytacji. Próby pobierano w sposób ciągły aspiratorami personalnymi AP-3 oraz AP-11.

W tabeli 20. przedstawiono wyniki badań stężeń respirabilnych włókien mineralnych oraz towarzyszącego im pyłu na stanowiskach pracy (Sprawozdanie z badań, 2018). Pomiary 1. i 2. przeprowadzono w czerwcu i lipcu 2018 r., natomiast pomiary 3. i 4. wykonano we wrześniu i listopadzie 2018 r.

Tabela 20.

Wyniki pomiarów stężeń respirabilnych włókien mineralnych oraz frakcji wdychanej pyłu na 12 stanowiskach pracy montażysty izolacji z wełny mineralnej (Sprawozdanie z badań, 2018)

Nr próbki	Miejsce pobrania próbki	Stanowisko pracy	Średnie stężenie mineralnych włókien respirabilnych [wł/cm ³]	Średnie stężenie pyłu – frakcja wdychalna [mg/cm ³]
Pomiary wykonane w czerwcu i w lipcu 2018 r.				
1a*	budynek mieszkalny	starszy monter izolacji I (przygotowanie wełny mineralnej URSA GLASSWOOL GOLD 35, cięcie i rozkładanie materiału pomiędzy krokiewkami na poddaszu użytkowym przy użyciu narzędzi ręcznych, prace pomocnicze i porządkowe)	0,007+/-0,0009	3,52+/-0,6

Nr próbki	Miejsce pobrania próbki	Stanowisko pracy	Średnie stężenie mineralnych włókien respirabilnych [wł/cm ³]	Średnie stężenie pyłu – frakcja wdychalna [mg/cm ³]
1b*	budynek mieszkalny	starszy monter izolacji II (przygotowanie wełny mineralnej URSA GLASSWOOL GOLD 35, cięcie i rozkładanie materiału pomiędzy krokiewkami na poddaszu użytkowym przy użyciu narzędzi ręcznych, prace pomocnicze i porządkowe)	0,009+/-0,001	9,79+/-1,67
2a*	garaż – nowobudowany budynek mieszkalny	starszy monter izolacji I (przygotowanie wełny mineralnej ROCKWOOL FASROCK G, cięcie i smarowanie klejem przy użyciu narzędzi ręcznych, klejenie wełny do sufitu garażu (prace na rusztowaniu), prace pomocnicze i porządkowe)	0,008+/-0,0012	1,47+/-0,26
2b*	garaż – nowobudowany budynek mieszkalny	starszy monter izolacji II (przygotowanie wełny mineralnej ROCKWOOL FASROCK G, cięcie i smarowanie klejem przy użyciu narzędzi ręcznych, klejenie wełny do sufitu garażu (prace na rusztowaniu), prace pomocnicze i porządkowe)	0,006+/-0,0009	1,25+/-0,22
2c*	garaż – nowobudowany budynek mieszkalny	starszy monter izolacji III (przygotowanie wełny mineralnej ROCKWOOL FASROCK G, cięcie i smarowanie klejem przy użyciu narzędzi ręcznych, klejenie wełny do sufitu garażu (prace na rusztowaniu), prace pomocnicze i porządkowe)	0,008+/-0,0012	2,51+/-0,44
2d*	garaż – nowobudowany budynek mieszkalny	starszy monter izolacji IV (przygotowanie wełny mineralnej ROCKWOOL FASROCK G, cięcie i smarowanie klejem przy użyciu narzędzi ręcznych, klejenie wełny do sufitu garażu (prace na rusztowaniu), prace pomocnicze i porządkowe)	0,005+/-0,0008	2,74+/-0,48
2e*	garaż – nowobudowany budynek mieszkalny	starszy monter izolacji V (przygotowanie wełny mineralnej ROCKWOOL FASROCK G, cięcie i smarowanie klejem przy użyciu narzędzi ręcznych, klejenie wełny do sufitu garażu (prace na rusztowaniu), prace pomocnicze i porządkowe)	0,005+/-0,0007	1,3+/-0,26

Nr próbki	Miejsce pobrania próbki	Stanowisko pracy	Średnie stężenie mineralnych włókien respirabilnych [wł/cm ³]	Średnie stężenie pyłu – frakcja wdychalna [mg/cm ³]
Pomiary wykonane we wrześniu i w listopadzie 2018 r.				
3a**	nowobudowany budynek szkolny (hala sportowa)	starszy monter izolacji I (prace związane z ociepleniem budynku, szlifowanie wełny mineralnej (ROCKWOOL FRONTROCK MAX E) przy pomocy papieru ściernego, czyszczenie fasady, kolkowanie, doklejanie, prace pomocnicze i porządkowe – pobór próbek wykonano podczas pracy na rusztowaniu pod zamontowaną siatką ochronną)	0,055+/-0,008	1,44
3b**	nowobudowany budynek szkolny (hala sportowa)	starszy monter izolacji II (prace związane z ociepleniem budynku, szlifowanie wełny mineralnej (ROCKWOOL FRONTROCK MAX E) przy pomocy papieru ściernego, czyszczenie fasady, kolkowanie, doklejanie, prace pomocnicze i porządkowe – pobór próbek wykonano podczas pracy na rusztowaniu pod zamontowaną siatką ochronną)	0,035+/-0,005	1,08
3c**	nowobudowany budynek szkolny (hala sportowa)	starszy monter izolacji III (prace związane z ociepleniem budynku, szlifowanie wełny mineralnej (ROCKWOOL FRONTROCK MAX E) przy pomocy papieru ściernego, czyszczenie fasady, kolkowanie, doklejanie, prace pomocnicze i porządkowe – pobór próbek wykonano podczas pracy na rusztowaniu pod zamontowaną siatką ochronną)	0,029+/-0,004	2,59
4a***	budynek mieszkalny	starszy monter izolacji I (przygotowanie wełny mineralnej URSA GLASWOOL GOLD 35 oraz CLIMAWOOL DF1), cięcie i rozkładanie materiału pomiędzy krokiewkami na poddaszu użytkowym w budynku mieszkalnym przy użyciu narzędzi ręcznych, prace pomocnicze i porządkowe)	0,012	4,28

Nr próbki	Miejsce pobrania próbki	Stanowisko pracy	Średnie stężenie mineralnych włókien respirabilnych [wł/cm ³]	Średnie stężenie pyłu – frakcja wdychalna [mg/cm ³]
4b***	budynek mieszkalny	starszy monter izolacji II (przygotowanie wełny mineralnej URSA GLASWOOL GOLD 35 oraz CLIMAWOOL DF1), cięcie i rozkładanie materiału pomiędzy krokiewkami na poddaszu użytkowym w budynku mieszkalnym przy użyciu narzędzi ręcznych, prace pomocnicze i porządkowe)	0,017	7,68

* – pobór próbek przeprowadzono w sposób ciągły w czasie trwania 8-godz. zmiany roboczej.

** – pobór próbek przeprowadzono w sposób ciągły w okresie co najmniej 90% zmiany roboczej.

*** – pobór próbek przeprowadzono w sposób ciągły w okresie co najmniej 75% zmiany roboczej.

W przypadku stanowisk 3a-c pobór próbek wykonano podczas pracy na rusztowaniu pod zamontowaną siatką ochronną.

Pomiary z czerwca i lipca 2018 r. (1. i 2.) przeprowadzono zgodnie z obowiązującym w tym czasie Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej z 2014 r. Filtry z pobranym pyłem zawierającym włókna respirabilne uprzejroczytniono w parach wrzącego acetonu. Włókna obecne w losowo wybranych 200 polach widzenia zliczano przy użyciu mikroskopu fazowo-kontrastowego z zamontowaną siatką Walton-Becketta. Wynik wyrażony liczbą włókien respirabilnych [cm³] otrzymano z liczby włókien na filtrze.

Pomiary 3. i 4. z września i listopada 2018 r. wykonano zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 2018 r. Filtry z pobranym pyłem zawierającym włókna respirabilne uprzejroczytniono w parach wrzącego acetonu. Włókna obecne w losowo wybranych 400 polach widzenia zliczano przy użyciu mikroskopu fazowo-kontrastowego z zamontowaną siatką Walton-Becketta. Wynik wyrażony liczbą włókien respirabilnych [cm³] otrzymano z liczby włókien na filtrze odniesionej do objętości przefiltrowanego powietrza.

Na podstawie wyników pomiarów obliczono wskaźniki narażenia z uwzględnieniem wpływu warunków atmosferycznych, tj. temperatury i ciśnienia.

Do oceny i interpretacji wyników badań środowiska pracy jako punkt odniesienia przyjęto:

- a) dla wyników pomiarów wykonanych w czerwcu i lipcu 2018 r. najwyższe dopuszczalne stężenie pyłów (frakcja wdychalna) równe $2,0 \text{ mg/cm}^3$, natomiast liczba włókien respirabilnych nie mogła przekraczać 1 włókna w cm^3 ,
- b) dla wyników pomiarów wykonanych we wrześniu i w listopadzie 2018 r. przyjęto najwyższe dopuszczalne stężenie pyłów (frakcja wdychalna) równe $10,0 \text{ mg/cm}^3$, natomiast liczba włókien respirabilnych nie mogła przekraczać 1 włókna w cm^3 .

Wyniki badań przedstawione w tabeli 20. są reprezentatywne dla całej zmiany roboczej. Zaleca się, by łączny czas pobierania próbek powietrza był zgodny z okresem odniesienia dla wartości dopuszczalnej, a objęcie pomiarami całego okresu zmiany roboczej nie było technicznie możliwe. Stąd w tabeli 21. zestawiono wykonane pomiary jednostkowe z przypisanymi im numerami próbek w czasie krótszym niż 8 godz., co wynikało ze stosowanej strategii pomiarowej na poszczególnych stanowiskach pracy.

Tabela 21.

Opis punktów pomiarowych i wyniki analiz próbek (Sprawozdanie z badań, 2018; Skrzyńska, 2019)

Miejsce poboru / typ wełny	Stanowisko	Czas poboru próbki [min]	Nr próbki frakcja wdychalna (fw)	Nr próbki włókna respirabilne (wł)	Frakcja wdychalna [mg/cm^3]	Włókna respirabilne [włókna/ cm^3]
Data poboru próbki: 25.06.2018						
budynek mieszkalny przygotowanie wełny mineralnej – prace na poddaszu (URSA GLASSWOOL GOLD 35)	st. montażysta izolacji I	480	383/fw/18 384/fw/18	634/wł/18 635/wł/18	3,40 3,48	0,006 0,007
	st. montażysta izolacji II	480	385/fw/18 386/fw/18	636/wł/18 637/wł/18	10,44 8,88	0,007 0,010
Data poboru próbki: 18.07.2018						
garaż nowobudowanego budynku mieszkalnego (ROCKWOOL FASROCK G)	st. montażysta izolacji I	480	429/fw/18 430/fw/18	773/wł/18 774/wł/18	1,52 1,39	0,005 0,011
	st. montażysta izolacji I	480	431/fw/18 432/fw/18	775/wł/18 776/wł/18	1,22 1,24	0,006 0,006
	st. montażysta izolacji III	480	433/fw/18 434/fw/18	777/wł/18 778/wł/18	1,57 3,93	0,005 0,011
	st. montażysta izolacji IV	480	435/fw/18 436/fw/18	779/wł/18 780/wł/18	1,84 4,03	0,005 0,005
	st. montażysta izolacji V	480	437/fw/18 438/fw/18	781/wł/18 782/wł/18	1,55 0,83	0,004 0,007

Miejsce poboru / typ wełny	Stanowisko	Czas poboru próbki [min]	Nr próbki frakcja wdychalna (fw)	Nr próbki włókna respirabilne (wł)	Frakcja wdychalna [mg/cm ³]	Włókna respirabilne [włókna/cm ³]
Data poboru próbki: 18.09.2018						
nowobudowany budynek szkolny (hala sportowa) szlifowanie wełny mineralnej (ROCKWOOL FRONTROCK MAX E)	st. montażysta izolacji I	480 (300 + 180)	-	952/wł/18 953/wł/18 954/wł/18	1,44*	0,066 0,080 0,008
	st. montażysta izolacji II	480 (120 + 360)	-	955/wł/18 956/wł/18 957/wł/18	1,08*	0,084 0,007 0,018
	st. montażysta izolacji III	480 (120 + 360)	-	958/wł/18 959/wł/18 960/wł/18	2,59*	0,050 0,023 0,013
Data poboru próbki: 05.11.2018						
budynek mieszkalny (URSA GLASSWOOL GOLD 35 oraz CLIMAWOOL DF1)	st. montażysta izolacji I	480	-	1150/wł/18 1151/wł/18 1152/wł/18	4,28*	0,0204 0,0105 0,0052
	st. montażysta izolacji II	480	-	1153/wł/18 1154/wł/18 1155/wł/18	7,68*	0,0254 0,0152 0,0083

* – obowiązek pomiaru uchylony.

Zgodnie z wykonanymi pomiarami powietrza środowiska pracy:

- liczba włókien w cm³ powietrza nie przekraczała dopuszczalnej wartości narażenia zawodowego na żadnym stanowisku pracy,
- nie wykazano przekroczeń wartości dopuszczalnych (NDS) włókien respirabilnych, jak również zmierzone stężenia włókien respirabilnych na żadnym stanowisku pracy nie przekroczyły 0,1 wartości NDS,
- w przypadku pomiarów przeprowadzonych w czerwcu i w lipcu stwierdzono przekroczenia wartości dopuszczalnych frakcji wdychalnej pyłu włókien w odniesieniu do wartości NDS 2 mg/m³ na 4 stanowiskach pracy, tj. 1a., 1b. oraz 2c. i 2d. (tab. 20.),
- w przypadku pomiarów przeprowadzonych we wrześniu i listopadzie nie stwierdzono przekroczenia wartości dopuszczalnych frakcji wdychalnej pyłu włókien w odniesieniu do wartości NDS 10 mg/m³ (tab. 20.),
- na większości stanowisk nie obserwowano istotnej zmienności stężeń włókien respirabilnych i pyłu wdychanego w czasie zmiany roboczej.

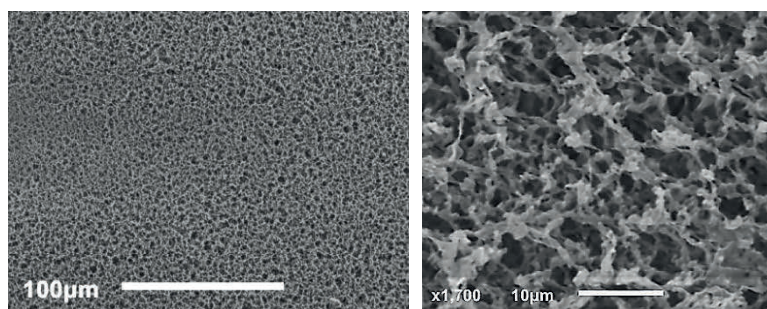
Jak wspomniano, w sierpniu 2018 r. wartość NDS dla frakcji wdychalnej pyłów sztucznych włókien mineralnych wynosząca 2 mg/m³ została usunięta z wykazu NDS. W związku z tym, obecnie dla oceny narażenia na pyły towarzyszące narażeniu na włókna mineralne stosuje się NDS jak dla pyłów niesklasyfikowanych ze względu na toksyczność –10 mg/m³. Gdyby

odnieść wyniki badań przeprowadzonych we wrześniu i listopadzie do „starej” wartości NDS, tj. 2 mg/m^3 , to wówczas przekroczenia wystąpiłyby na stanowiskach 3c., 4a. i 4b. (tab. 20.).

Badania składu frakcyjnego (Skrzyńska, 2019)

Materiał do badań stanowiły wełny mineralna szklana i skalna, pobrane z placów/terenów budowy podczas prac dociepleniowych.

Na terenie budowy 3. i 4., poza próbkami do badań powietrza środowiska pracy (tab. 21.), pobrano dodatkowe próbki powietrza. Próbki z terenu budowy 3. opisano jako 961/WT/18 (wewnątrz pomieszczeń) oraz 962/WT/18 (na zewnątrz). Próbki z terenu budowy 4. opisano jako próbki 1156/WT/18 oraz 1157/WT/18 i przekazano do badań SEM (skaningowa mikroskopia elektronowa). W badaniach użyto mikroskopu JEOL JSM 6010LA. Powierzchnię sączków standardowo pokryto warstwą złota. Porównawczo wykonano również analizy czystych sączków FIPRO-25, niezawierających zanieczyszczeń (Skrzyńska, 2019). Puste sączki (filtr polipropylenowy FIPRO-25) wykazywały charakter porowaty o jednolitej strukturze i gładkiej fakturze (ryc. 3.).



Ryc. 3. Sączki puste filtr polipropylenowy FIPRO-25, zdjęcia SEM w różnych powiększeniach

Zanieczyszczenia osadzone na sączkach, zebrane podczas prac budowlanych na poddaszu budynku mieszkalnego (próbka 1156/WT/18), miały niemal wyłącznie charakter pylisty, z pojedynczymi fragmentami włókien o średnicy $1,24\text{--}8,33 \text{ }\mu\text{m}$ oraz długości $7,19\text{--}76,68 \text{ }\mu\text{m}$. Stosunek długości do średnicy zaobserwowanych włókien wynosił od 3,82:1 do 51,12:1 (tab. 22.).

Tabela 22.

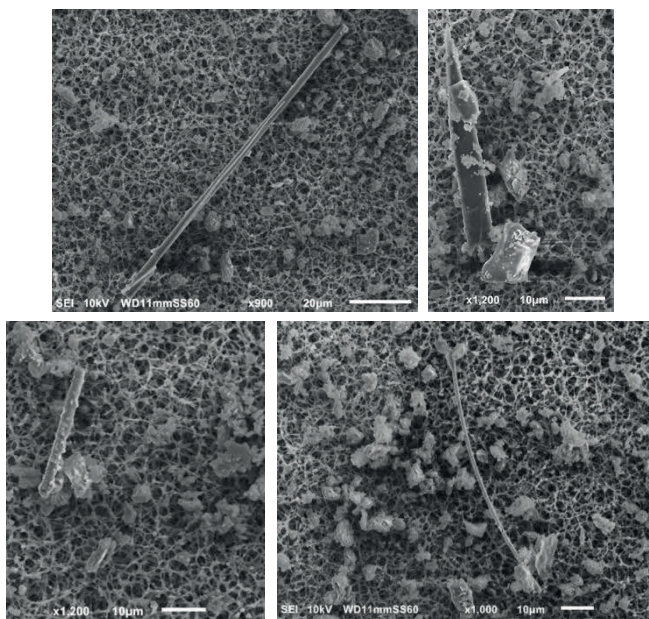
Włókna zidentyfikowane na sączku oznaczonym kodem 1156/WT/18 według tabeli 21

Lp.	Średnica [μm]	Długość [μm]	Stosunek długości do średnicy
1	2,16	58,58	27
2	2,16	66,57	31
3	8,33	33,57	4
4	2,76	36,74	13
5	2,75	10,38	4
6	1,64	9,55	6
7	1,47	10,29	7
8	1,59	7,19	5
9	4,09	26,51	6
10	1,54	33,96	22
11	1,5	76,68	51
12	3,18	12,14	4
13	4,62	25,47	6
14	2,58	113,8	44
15	1,24	32,24	26
16	6,99	55,93	8

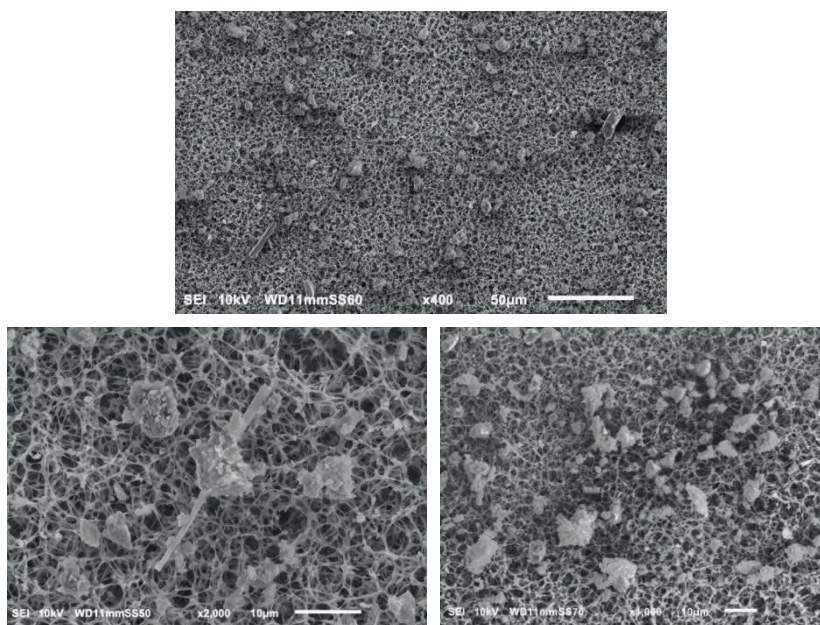
Zgodnie z normą PN-88/Z-04202/02 za włókno respirabilne uważa się włókno o maksymalnej średnicy mniejszej niż $3 \mu\text{m}$, długości większej niż $5 \mu\text{m}$ i stosunku długości do średnicy większym niż 3:1. Co więcej, włókno takie nie może być połączone z żadną cząstką o średnicy większej niż $3 \mu\text{m}$. Biorąc to pod uwagę, należy podkreślić, że spośród oznaczonych włókien (16 włókien wymienionych w tab. 22.) za respirabilne należy uznać 68,75% z oznaczonych włókien.

Przykładowe zdjęcia zanieczyszczeń włóknistych przedstawiono poniżej (ryc. 4.).

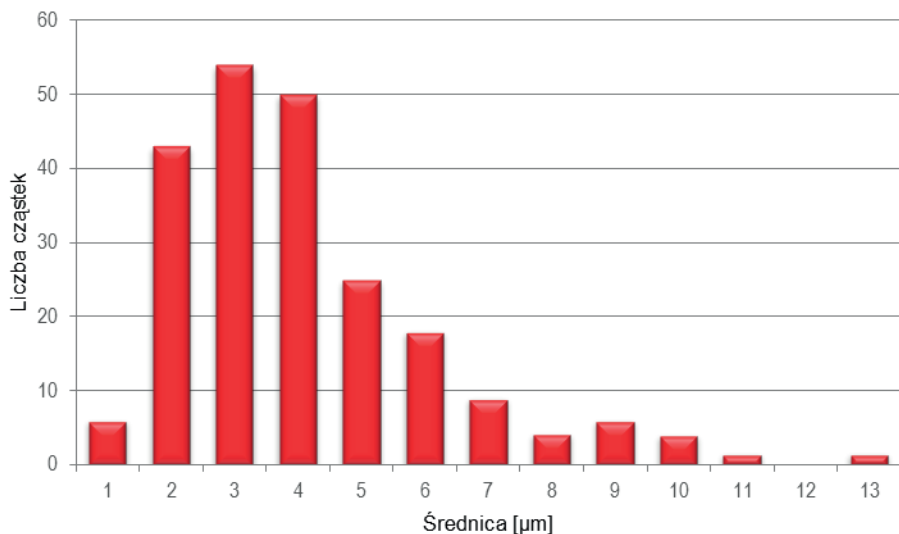
Dominującym zanieczyszczeniem obserwowanym na sączku 1156/WT/18 były pyły, które przypominały wyglądem amorficzne aglomeraty cząstek o mniejszym rozmiarze i charakteryzowały się całkowitymi średnicami pomiędzy $0,8 \mu\text{m}$ oraz $13,27 \mu\text{m}$ (wartość główna $4,06 \pm 2,04 \mu\text{m}$). Dla 220 zmierzonych cząstek (ryc. 5.) sporządzono odpowiedni histogram ilustrujący statystyczny rozkład średnic (ryc. 6.).



Ryc. 4. Sączek FIPRO-25 z próbką 1156/WT/18, zdjęcia SEM zanieczyszczeń włóknistych

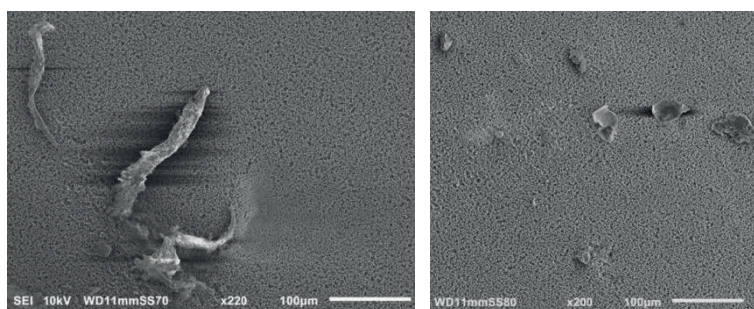


Ryc. 5. Sączek FIPRO-25 z próbką 1156/WT/18, zdjęcia SEM ogładowe pyłów



Ryc. 6. Histogram rozkładu średnicy pyłów dla próbki 1156/WT/18

W przypadku drugiego z sáčzków (1157/WT/18) na jego powierzchni obecne były wyłącznie zanieczyszczenia o nieregularnych kształtach i wymiarach sięgających 34,85–215,82 µm oraz drobiny innych zanieczyszczeń o łupkowatym kształcie (średnica 7,45–53,10 µm). Nie zaobserwowano innych zanieczyszczeń o charakterze włóknistym oraz pylistym (ryc. 7.).



Ryc. 7. Zdjęcia SEM dla próbki 1157/WT/18

Sáčki opisane „zewnątrz” oraz „wewnątrz”, pobrane w czasie prac w budynku szkolnym (odpowiednio – numery 961/WT/18 i 962/WT/18), można określić jako „puste”.

Podsumowując I etap badań, należy podkreślić, że:

- włókna uwolnione z materiałów izolacyjnych mają charakter włókien respirabilnych, ponad 68% z obserwowanych włókien charakteryzowało się odpowiednim stosunkiem średnicy do długości wskazanym w normie PN-Z-04202/02:1988,
- stężenie włókien respirabilnych w powietrzu jest stosunkowo niewielkie i wykonując pobór próbki zgodnie z wytycznymi normy nie zostają przekroczone wartości dopuszczalne,
- pył charakteryzuje się amorficzną strukturą i kulistym kształtem, a jego średnica mieści się w przedziale 0,8–13,27 μm (wartość główna $4,06 \pm 2,04 \mu\text{m}$). Spośród opomiarowanych 200 cząstek 80% ma średnicę mniejszą lub równą 5 μm , natomiast 21% cząstek to pyły mniejsze niż 2 μm .

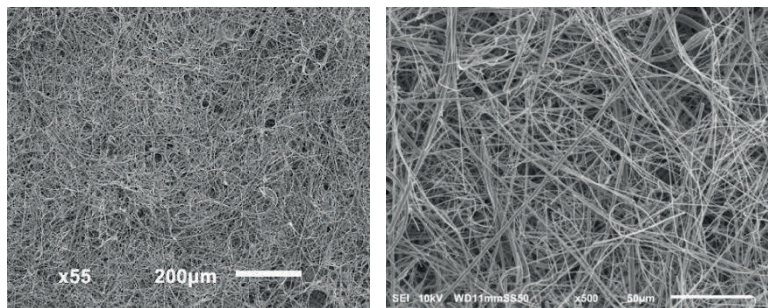
Etap II

Etap II polegał na badaniu materiału referencyjnego skaningową mikroskopią elektronową (SEM).

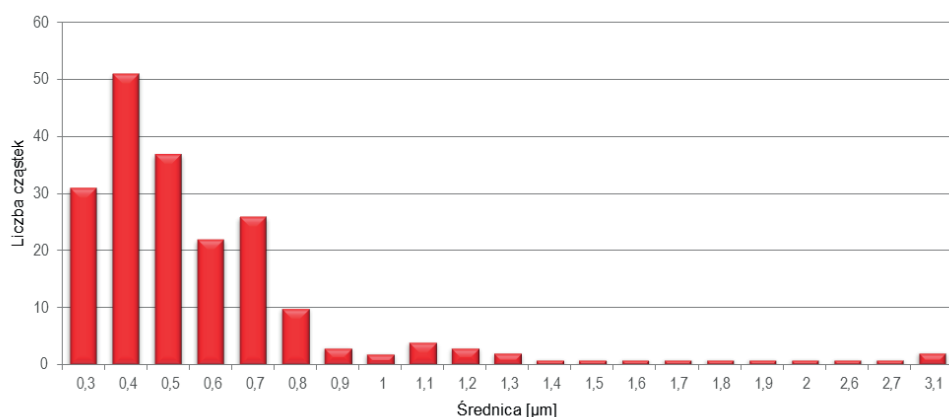
Biorąc pod uwagę niewielkie obciążenie próbek pobranych z użyciem aspiratorów osobistych na stanowiskach pracy z użyciem wełny mineralnej, do badań porównawczych w warunkach laboratoryjnych przygotowano serię próbek, w których użyto mocniejszego aspiratora ASP-3 III oraz sączków z włókna szklanego, charakteryzujących się większą odpornością mechaniczną (przy zbyt wielkich natężeniach przepływu tradycyjne sączki uległyby zniszczeniu).

Zanieczyszczenia włóknisto-pyliste zebrano w warunkach laboratoryjnych, zasysając powietrze w czasie typowych czynności (miażdżenie oraz rozwarstwianie), mających miejsce podczas prac z użyciem maty zwijanej z włókna mineralnego. Próbki poddano standardowemu przygotowaniu do analiz SEM (nanoszenie warstwy złota).

Zdjęcia sączka pustego z włókna szklanego (materiał referencyjny) (ryc. 8.) pokazały, że ma on strukturę włóknistą, a zarazem spójną, o niciach bardzo długich i splątanych (długość włókien powyżej 100 μm). Średnica włókien sączka mieściła się w zakresie 0,3–3,10 μm (głównie $0,62 \pm 0,42 \mu\text{m}$ przy 200 zliczonych włóknach), co przedstawiono na histogramie poniżej (ryc. 9.).



Ryc. 8. Zdjęcia SEM pustego sącza z włókna szklanego

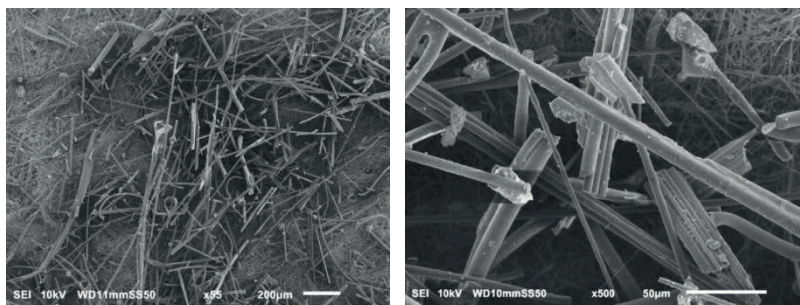


Ryc. 9. Histogram analizy zmian średnicy włókien sącza pustego z włókna szklanego (n = 200)

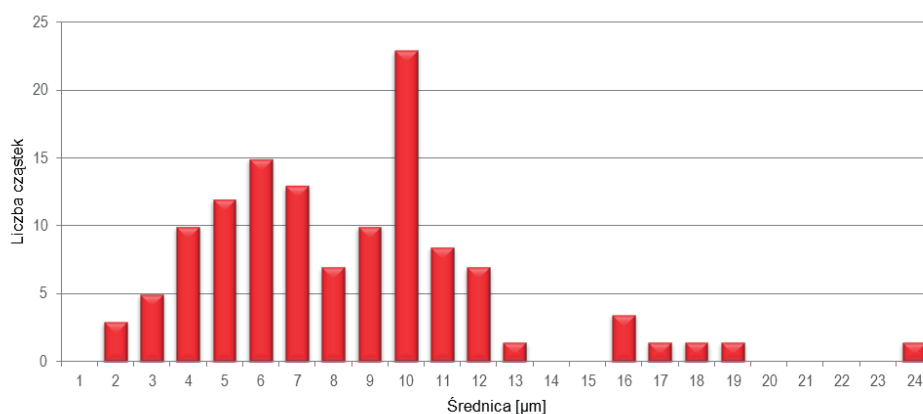
Do badań właściwych użyto 2 sączków – I i II, z czego sącze I (I-13.08.P, 1809RA01F) zawierał zanieczyszczenia zebrane przez aspirator podczas rozwarstwiania (targania) wełny mineralnej, natomiast sącze II (II-13.08.P, 0511KU01F) zanieczyszczenia zebrane podczas miażdżenia próbki wełny mineralnej.

Pierwsza z próbek (I-13.08.P, 1809RA01F) zawierała liczne włókna o średnicy 1,91–23,79 μm (średnio $8,82 \pm 0,42$ μm) i długości 19,34–1609,75 μm. Rozmiary włókien zasadniczo odbiegały od wymiarów włókien sącza, co umożliwiło wiarygodną identyfikację.

Na rycinie 10. przedstawiono zdjęcia SEM wybranych fragmentów sączka z osadzonymi włóknami wełny mineralnej oraz odpowiedni histogram zmian rozmiarów średnicy włókien (ryc. 11.).



Ryc. 10. Zdjęcia SEM sączka z włókna szklanego z osadzonym materiałem (próbka I-13.08.P, 1809RA01F)

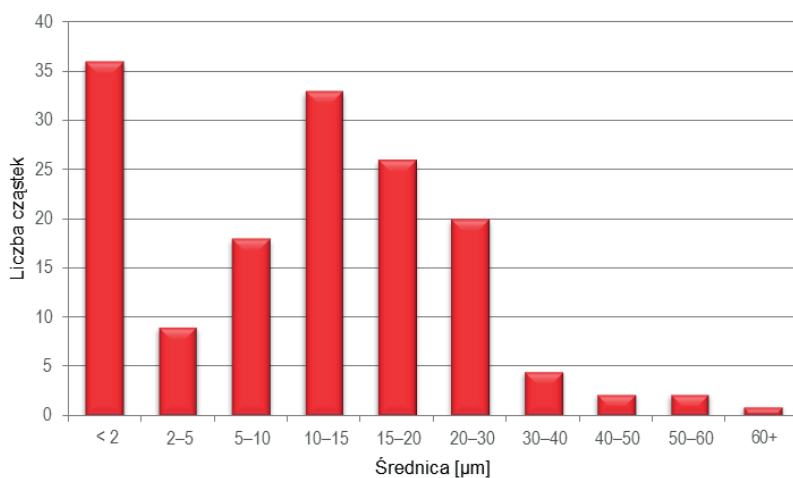


Ryc. 11. Histogram analizy zmian średnicy włókien dla próbki I-13.08.P, 1809RA01F

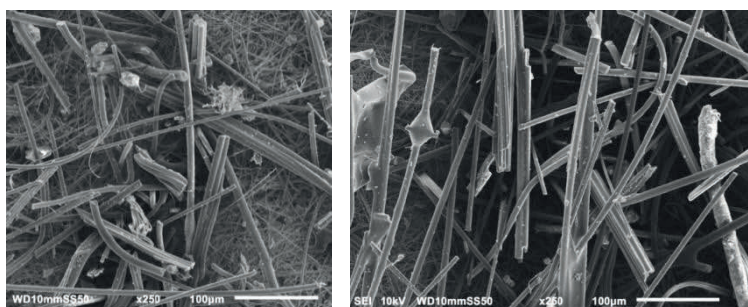
Biorąc pod uwagę rozmiar włókien respirabilnych, jedynie 6,8% ze zmierzonych włókien można zakwalifikować do tej grupy. Pozostałe nie spełniały warunku maksymalnej dopuszczalnej normą dla włókien respirabilnych średnicy (zmierzona średnica włókien przekraczała 3 µm). Na zdjęciach SEM tej próbki można było wyodrębnić fragmenty włókien wełny mineralnej z wyraźnie zarysowanymi przełamaniem oraz ślady spoiwa (lepiszcza) użytego do produkcji materiału dociepleniowego (ryc. 10.). Charakterystyczne były również zlepki pojedynczych włókien w grubsze

pasma liczące 2–12 pojedynczych włókien (średnica zlepków 8,60–60,29 μm), których zgodnie z normą PN-Z-04202/02:1988 również nie można uznać za włókna respirabilne.

Pyły na sączku I były nieliczne, a ich wygląd można określić jako analogiczny do pyłów nagromadzonych na sączkach z serii pierwszej (ryc. 12.). Średnica pyłów w przeważającej większości mieściła się w przedziale 10–65,43 μm (150 zliczonych). Należy jednak podkreślić, że przy znacznych powiększeniach widoczne były również liczne cząstki o średnicy poniżej 10 μm , osadzone na powierzchni włókien – najmniejsze zaobserwowane drobiny miały kulisty charakter i średnicę poniżej 2 μm (ryc. 13.).



Ryc. 12. Histogram analizy zmian średnicy pyłów dla próbki I-13.08.P, 1809RA01F

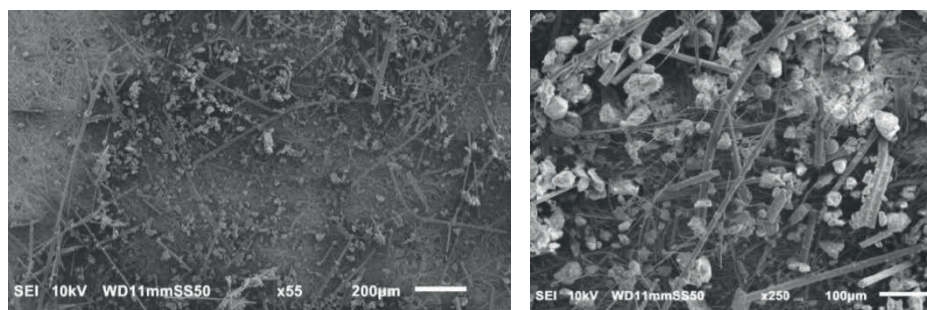


Ryc. 13. Zdjęcia SEM w dużym powiększeniu dla sączka z włókna szklanego z osadzonym materiałem (próbka I-13.08.P, 1809RA01F)

Podsumowując, część materiału pobranego w czasie rozwarstwiania maty ociepleniowej ze względu na gabaryty włókien nie powinna stanowić potencjalnego zagrożenia na stanowiskach pracy. **Włókna są zbyt duże, a zatem też zbyt ciężkie, aby mogły przedostać się do przewodu oddechowego. Bardziej niebezpieczne wydają się być drobinki pyłu o najmniejszych średnicach, które mogą łatwo przenikać do płuc.**

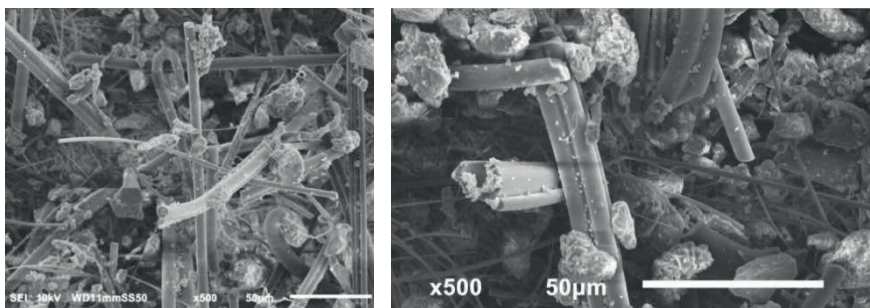
Liczne przełamania i uszkodzenia zaobserwowane na końcówkach włókien mogą natomiast stanowić potencjalne zagrożenie dla naskórka, powodując jego podrażnienie (charakterystyczne swędzenie odczuwalne w czasie pracy z ww. materiałami).

Próbka II opisana jako II-13.08.P, 0511KU01F zawierała zanieczyszczenia zebrane podczas miażdżenia maty z wełny mineralnej. Charakter zanieczyszczeń był zupełnie odmienny – niewielki udział włókien przy dominującej ilości pyłów o średnicach w zakresie 0,34–65,18 μm (głównie $9,40 \pm 10,60 \mu\text{m}$ dla 210 zmierzonych cząstek) (ryc. 14.).



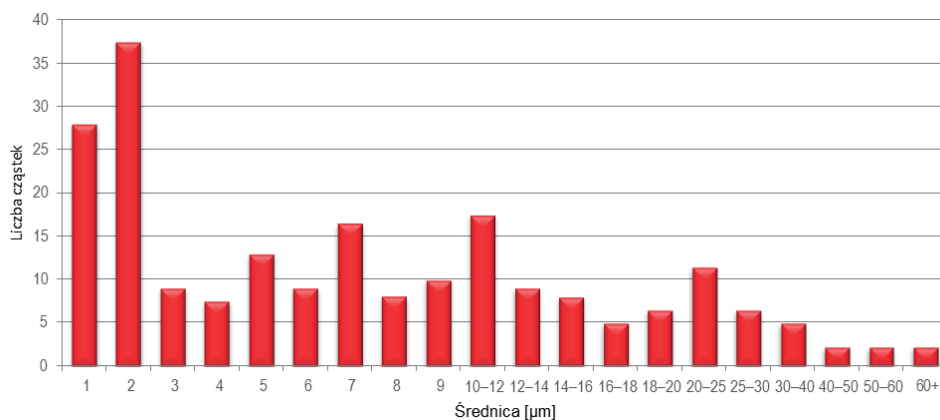
Ryc. 14. Zdjęcia SEM w mniejszym powiększeniu dla sączka z włókna szklanego z osadzonym materiałem (próbka II-13.08.P, 0511KU01F)

Zdjęcia w powiększeniu pokazano poniżej – skupiska drobnych pyłów tworzących aglomeraty (efekt przygotowania materiału – powlekanie złotem) (ryc. 15.).



Ryc. 15. Zdjęcia SEM w większym powiększeniu dla sączka z włókna szklanego z osadzonym materiałem (próbka II-13.08.P, 0511KU01F)

Podsumowując, materiał pobrany w czasie miażdżenia maty ociepleniowej wskazuje na znaczący udział pyłów w zanieczyszczeniach obecnych w powietrzu stanowiska badawczego. **Większość z oznaczonych pyłów charakteryzowało się niewielkimi średnicami, poniżej 10 µm. Jak pokazano na rycinie 16., niemal 31% wszystkich pyłów miało średnicę mniejszą lub równą 2 µm, co stanowi frakcję niebezpieczną dla zdrowia.**



Ryc. 16. Zmiany rozmiarów średnicy pyłów oznaczonych dla próbki II-13.08.P, 0511KU01F (210 opomiarowanych)

Na podstawie wstępnych badań SEM sączków z zanieczyszczeniami zassanymi w miejscach pracy z ociepliną wełnianą (2 serie sączków polipropylenowych z aspiratorów indywidualnych z miejsc budowy – 4 szt. plus pusty sączek dla odniesienia oraz seria 2 sączków z włókna szklanego

z pustym sącziem jako materiałem odniesienia) stwierdzono znikomą obecność włókien respirabilnych, natomiast znaczący udział pyłów o rozmiarach do kilkunastu mikrometrów.

Etap III

Etap III polegał na rozszerzonych badaniach materiału referencyjnego z włókien skalnych oraz szklanych. Dla pełnej oceny charakteru zanieczyszczeń w miejscach pracy z ociepliną włóknistą (zarówno wełną mineralną, jak i wełną szklaną) zaproponowano opisany poniżej zakres badań.

W pierwszej części badania dla próbek wełny mineralnej szklanej i skalnej pobranych bezpośrednio z materiału ociepleniowego (wycinek z płyty o rozmiarach 10 · 10 cm i o masie powyżej 50 g) wykonano:

- a) analizę termogravimetryczną (TGA/DTA) informującą o zawartości części lotnych oraz substancji organicznych (lepiszcze) w materiale,
- b) badanie fluorescencji rentgenowskiej (XRF), dające wgląd w jakościowy skład pierwiastkowy próbek oraz badanie dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), informujące o składzie fazowym próbek (identyfikacja składu mineralnego – w przypadku znaczącego udziału frakcji organicznej badania wykonane po uprzednim wyprażeniu materiałów),
- c) mikroskopię optyczną – obserwacja próbek w powiększeniu, informacja o morfologii materiału.

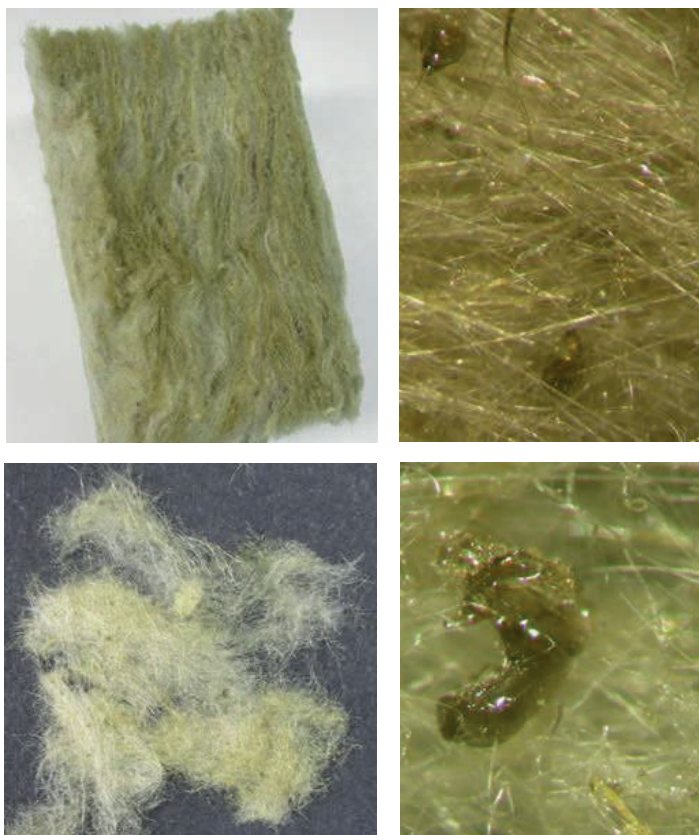
Wyniki otrzymane miały stanowić punkt wyjściowy do analizy zanieczyszczeń obecnych w powietrzu (pyły oraz włókna) zasysanym wydajnym aspiratorem z najbliższego otoczenia obrabianych płyt ociepleniowych.

W dalszej części badania pobrane sączi z zaaspirowanymi pyłami i włóknami z obu wymienionych materiałów poddano:

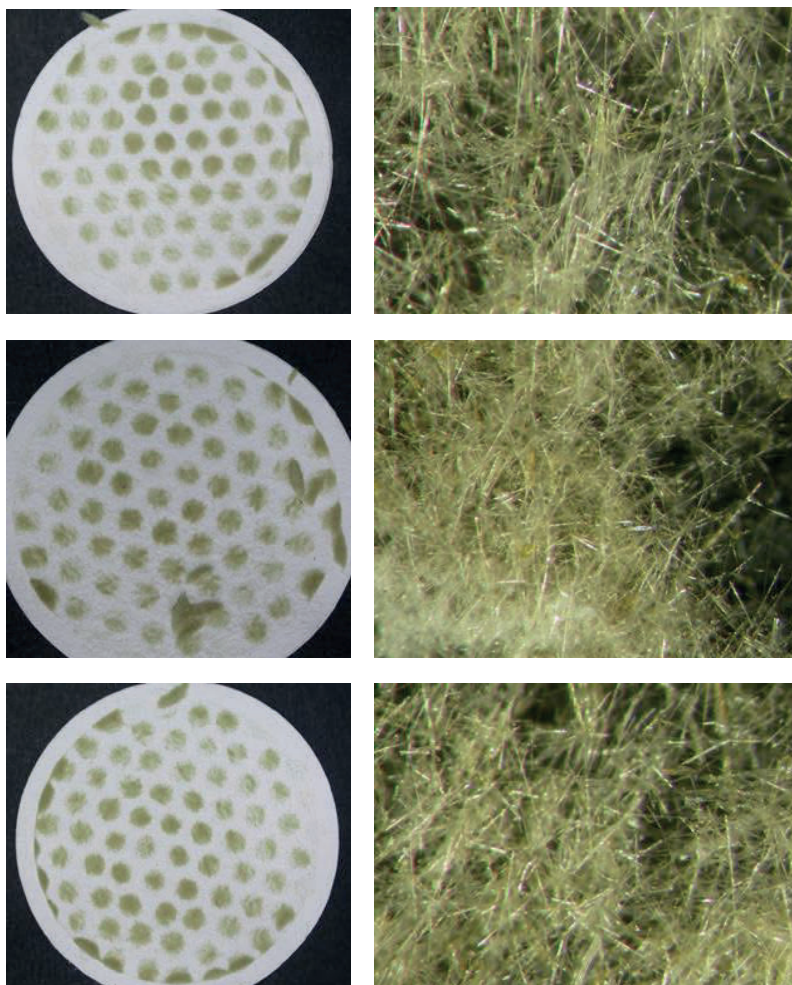
- a) analizie termogravimetrycznej (TGA/DTA) – w porównaniu z wynikami uzyskanymi dla materiałów wyjściowych uzyskana zostanie odpowiedź na pytanie: jaki wielki udział w aspirowanych zanieczyszczeniach stanowi lepiszcze o charakterze organicznym, a jaki jest w nich udział części mineralnej (włókna mineralne skalne oraz szklane),
- b) badaniom XRF i XRD – badania porównawcze w stosunku do materiału wyjściowego.

Do analiz przeznaczono:

- wełnę mineralną skalną 1501KR02FD (zdjęcia poglądowe z mikroskopu optycznego w powiększeniu przedstawiono na ryc. 17.),
- saszki z materiałem zaspiorowanym z wełny mineralnej skalnej: 1501KR02FA, 1501KR02FB, 1501KR02FC (zdjęcia poglądowe z mikroskopu optycznego w powiększeniu pokazano na ryc. 18.),
- wełnę szklaną 1501KR01FD (zdjęcia poglądowe z mikroskopu optycznego w powiększeniu pokazano na ryc. 19.),
- saszki z materiałem zaspiorowanym z wełny szklanej: 1501KR01FA, 1501KR01FB, 1501KR01FC (zdjęcia poglądowe z mikroskopu optycznego w powiększeniu pokazano ryc. 20.).



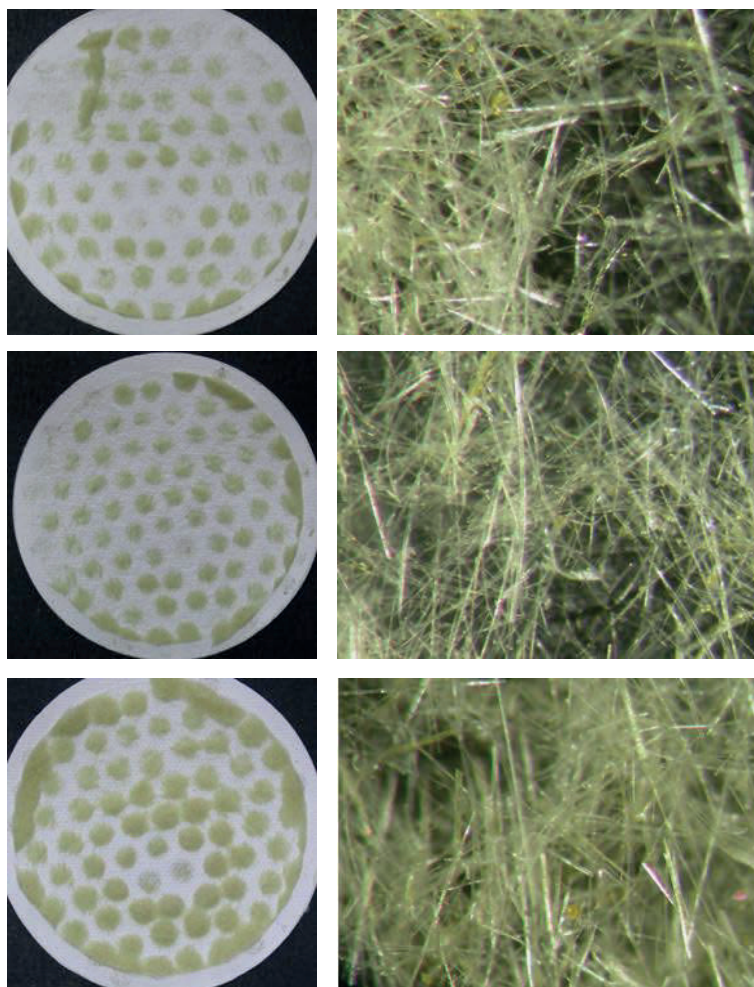
Ryc. 17. Zdjęcia z mikroskopu optycznego wełny mineralnej skalnej 1501KR02FD (maksymalne powiększenie 80x)



Ryc. 18. Sączi z materiałem zaspiewanym z wełny mineralnej skalnej – od góry: 1501KR02FA, 1501KR02FB, 1501KR02FC, wraz z odpowiednimi zdjęciami w powiększeniu 80x



Ryc. 19. Zdjęcia z mikroskopu optycznego wełny szklanej 1501KR01FD (maksymalne powiększenie 80x)



Ryc. 20. Sączi z materiałem zaspiniowanym z wełny szklanej – od góry: 1501KR01FA, 1501KR01FB, 1501KR01FC, wraz z odpowiednimi zdjęciami w powiększeniu 80x

Analiza XRF wykazała różnice pomiędzy składem jakościowym obu rodzajów materiałów dociepleniowych (tab. 23.) Najbardziej istotne różnice wskazano czcionką pogrubioną. Badanie wykonano metodą bezwzorcową nieuwzględniającą składu matrycy.

Tabela 23.
Porównanie składu wełny mineralnej i szklanej metoda XRF

Składnik	Wełna skalna 1501KR02FD [% s.m.]	Wełna szklana 1501KR01FD [% s.m.]
Al	17	3,5
Si	28,3	60,0
P	0,59	0,69
S	0,18	2,0
Cl	0,64	1,3
K	1,2	4,38
Ca	29,5	25,0
Ti	3,03	0,28
V	0,14	0,02
Cr	0,13	0,03
Mn	0,47	0,12
Fe	14,9	1,90
Co	0,12	-
Cu	0,074	0,04
Zn	0,079	0,074
Mg	4	-
Ba	-	0,54

s.m. – sucha masa.

Analizy rentgenograficzne XRD próbek wykazały, że zarówno wełna mineralna, wełna szklana, jak i próbki z aspiratora, zawierają wyłącznie frakcję amorficzną. Kształt widm dla poszczególnych próbek wskazuje, że brak w nich materiału o charakterze krystalicznym. Jednak należy tutaj wziąć pod uwagę ograniczenia metody XRD powodujące, że materiał występujący w ilościach poniżej 3–5% masowych może nie być zidentyfikowany.

Analiza termogravimetryczna wykazała około 3,2–4% ubytek masy (średnio 3,5%) we wszystkich próbkach materiałów pobranych z sączków aspiratora, oraz – odpowiednio – około 5,3% ubytek masy dla próbki z wełny mineralnej skalnej i 6,5% dla próbki z wełny szklanej. Dodatkowe analizy termogravimetryczne wełny mineralnej skalnej i wełny szklanej w atmosferze argonu (medium obojętne) pokazały, że ubytek masy obniżył się do wartości około 3,5%, co świadczy o obecności materii organicznej, która wypala się w obecności tlenu, natomiast w atmosferze argonu przekształca się w karbonizat (obecność karbonizatu potwierdzał również kolor próbek po analizie).



CZEŚĆ III
DZIAŁANIA PROFILAKTYCZNE



PODSUMOWANIE ZAGROZEŃ WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA WELNĘ MINERALNĄ PODCZAS MONTAŻU IZOLACJI

Podczas montażu izolacji z wełny mineralnej na stanowiskach pracy zagrożenie mogą stanowić:

- a) respirabilne włókna mineralne,
- b) pyły,
- c) lotne związki organiczne.

Do głównych zagrożeń zawodowych stwarzanych przez mineralne włókna respirabilne zalicza się działanie mechaniczne, manifestujące się podrażnieniem skóry i błony śluzowej charakterystyczne dla ciała obcego oraz odległe skutki narażenia, charakteryzujące się zmianami patologicznymi w układzie oddechowym i będące skutkiem obecności włókien.

Badania własne wykazały, że nie ma przekroczeń wartości dopuszczalnych (NDS = 1 wł/cm³) włókien respirabilnych, jak również zmierzone stężenia włókien respirabilnych na żadnym stanowisku pracy nie przekroczyły 0,1 wartości NDS (tj. 0,1 wł/cm³). Część materiału pobranego w czasie rozwarstwiania maty ociepleniowej ze względu na gabaryty włókien nie powinna stanowić potencjalnego zagrożenia na stanowiskach pracy. Włókna są zbyt duże, a zatem też zbyt ciężkie, aby mogły przedostać się do przewodu oddechowego. Bardziej niebezpieczne wydają się być drobinki pyłu o najmniejszych średnicach, które mogą łatwo przenikać do płuc.

W przypadku pyłów największe zagrożenie może stanowić grupa pyłów nierozpuszczalnych w płynach ustrojowych lub słabo rozpuszczalnych, które przy dostatecznie dużym stężeniu w środowisku pracy, zazwyczaj powyżej 10 mg/m³, mogą istotnie zmniejszać widzialność i gromadzić się w oczach oraz w uszach, powodując nieprzyjemne odczucia; mogą także uszkodzić skórę lub błony śluzowe na skutek działania chemicznego czy mechanicznego.

Biorąc pod uwagę obecnie obowiązującą wartość NDS (10 mg/m³) dla frakcji wdychalnej pyłu nieklasyfikowanego jako toksyczny, stwierdzono przekroczenia wartości dopuszczalnej na 1 stanowisku pracy – podczas montażu izolacji w budynku mieszkalnym (przygotowanie wełny mineralnej, cięcie i rozkładanie materiału pomiędzy krokiewkami na poddaszu użytkowym przy użyciu narzędzi ręcznych, prace pomocnicze i porządkowe).

W pobranym pyłe nie stwierdzono zawartości frakcji respirabilnej wolnej krystalicznej krzemionki powyżej 0,1 granicy oznaczania ilościowego metody analitycznej. Zidentyfikowano natomiast krzemionkę bezpostaciową.

Jednocześnie badania składu frakcyjnego emitowanego pyłu wykazały, że 35% stanowi frakcja pyłu PM10, natomiast 3–10% frakcja PM2,5. Należy podkreślić, że w polskich przepisach brak jest wartości NDS dla frakcji respirabilnej pyłu nieklasyfikowanego jako toksyczny, a uzyskane wyniki badań wskazują, że w celu właściwego kontrolowania ryzyka związanego z narażeniem na wełnę mineralną podczas montażu izolacji niezbędne jest ustalenie takiej wartości NDS.

Analiza termiczna wykazała około 3,2–4% ubytek masy (średnio 3,5%) we wszystkich próbkach materiałów pobranych z sączków aspiratora oraz – odpowiednio – około 5,3% ubytek masy dla próbki z wełny mineralnej i 6,5% dla próbki z wełny szklanej, co świadczy o obecności materii organicznej. Dane literaturowe wskazują na możliwość emisji wielu lotnych związków organicznych (LZO) pochodzących ze spoiw w miejscach produkcji wełny mineralnej. Za czynniki, w przypadku których redukcja emisji jest szczególnie istotna, uważa się amoniak, formaldehyd i fenol. W piśmiennictwie nie znaleziono informacji o ewentualnych stężeniach emitowanych lotnych związków organicznych w warunkach stosowania wyrobów z wełny mineralnej. W gotowych wyrobach zawartość żywicy wynosi zwykle mniej niż 15%, oleju mineralnego mniej niż 1%, pozostałości innych substancji zastosowanych w procesie produkcji są śladowe, mniej niż 0,1%. Producenci wełny mineralnej zwracają jednak uwagę na możliwość uwolnienia i rozkładu termicznego substancji tworzących spoiwo wełny mineralnej podczas ekspozycji wełny na podwyższoną temperaturę – uwolnione substancje w wysokich stężeniach mogą podrażnić oczy i układ oddechowy.

ZASADY BEZPIECZNEGO POSTĘPOWANIA PODCZAS PRACY Z WEŁNĄ MINERALNĄ

Zarówno polskie przepisy BHP, jak i przepisy w innych krajach Unii Europejskiej, nie określają szczególnych wymagań dotyczących prac z wełną mineralną. Podsumowując opisane w piśmiennictwie procedury postępowania dotyczące bezpiecznego dla zdrowia stosowania wełny mineralnej (AIOH, 2016) oraz wytyczne Kodeksu bezpiecznego stosowania wełny izolacyjnej wydane przez Międzynarodową Organizację Pracy (ILO Codes of Practice, 2001), opracowano zbiór wskazówek dla pracodawców, których obowiązkiem jest zapewnić bezpieczeństwo pracy z wełną mineralną.

1. Pracodawcy stosujący wełnę izolacyjną powinni, o ile to możliwe, wybierać odpowiednie produkty (materiały nowego typu, atestowane) lub metody postępowania z nimi, aby zminimalizować uwalnianie włókien respirabilnych i pyłu podczas pracy oraz na bieżąco poszerzać swoją wiedzę o rozwoju i zmianach w technologii włókien. Nie wolno ponownie instalować starych materiałów izolacyjnych.
2. Należy zapobiegać tworzeniu się pyłów w miejscu pracy. Nie wdychać powstających pyłów. Zapobiegać lub ograniczać narażenie przez drogi oddechowe, skórę i/lub oczy. Skuteczne ograniczyć rozprzestrzenianie się pyłu poprzez zakładanie folii, zawieszanie kurtyń, montowanie śluz. Należy unikać niepotrzebnego narażenia.
3. Pracodawcy powinni ocenić zagrożenie i ryzyko wynikające ze stosowania wełny mineralnej, poinformować o nim pracowników i wdrożyć odpowiedni nadzór. Pracodawcy powinni zapewnić, że wszyscy potencjalnie narażeni pracownicy otrzymają odpowiednie instrukcje i przejdą szkolenia w zakresie bezpiecznej praktyki pracy, a także w razie konieczności, instrukcje i szkolenia dotyczące wyboru, noszenia i konserwacji środków ochrony indywidualnej.

4. Poprzez dokonywanie oceny ryzyka i wprowadzenie środków prewencyjnych należy ograniczać narażenie pracowników do możliwie najniższego poprzez działania techniczne i organizacyjne. Należy ograniczyć liczbę narażonych pracowników i czas narażenia, jeśli to możliwe.
5. Pracodawcy powinni zapewnić, że narażenie na respirabilne włókna mineralne i powstający pył jest utrzymywane na tak niskim poziomie, jak to jest racjonalnie osiągalne, i co najmniej poniżej limitów narażenia zawodowego określonych przez właściwy organ. Środowisko pracy powinno być monitorowane zgodnie z wymaganiami wynikającymi z przeprowadzonej oceny ryzyka dla danego stanowiska pracy.
6. Przedstawiciele pracowników powinni uczestniczyć w monitorowaniu narażenia i programach nadzoru medycznego wymaganych przez właściwy organ lub udostępnianych przez pracodawcę w celu ochrony ich zdrowia.
7. Opakowania lub okładziny należy ciąć za pomocą noża; w przypadku korzystania z elektronarzędzi należy upewnić się, że są one wyposażone w odpowiedni układ zasysania powietrza. Do cięcia należy stosować ostre narzędzia, a stanowisko pracy sprzątać i unikać tworzenia pyłu.
8. Pracodawcy powinni zapewnić środki ochrony dla pracowników:
 - podczas prac związanych z narażeniem na sztuczne włókna mineralne należy zapewnić odpowiednią wentylację ogólną pomieszczenia i wydajną, skuteczną miejscową wentylację wywiewną w miejscu pracy. W przypadku prac zewnętrznych stosować mobilne systemy wentylacji,
 - podczas pracy w miejscach bez wentylacji lub w przypadku prac, w trakcie których powstaje pył w wysokich stężeniach, należy stosować jednorazowe maski ochronne. Zaleca się stosowanie masek przeciwpyłowych spełniających wymagania odpowiednich norm. Należy podkreślić, że osobiste wyposażenie ochronne nie może być traktowane jako substytut środków technicznych – powinno być uznawane za środek ostateczny, tymczasowy lub do użytku w sytuacjach awaryjnych,
 - aby uniknąć podrażnienia skóry, należy używać rękawic ochronnych i zakrywać odkryte części ciała. Pracownicy powinni być wyposażeni w kombinezony robocze i buty ochronne. Odzież ochronna zanieczyszczona materiałem z wełny izolacyjnej powinna zostać zmieniona w razie potrzeby i nie powinna być noszona poza

miejszem pracy. Pracodawca powinien przygotować wytyczne dotyczące wielokrotnego użytku odzieży ochronnej, którą należy prać regularnie i oddzielnie od innych ubrań,

- w przypadku zanieczyszczenia włóknami skóry nie należy ich ścierać lub zdrapywać ich ze skóry. Należy przemywać obficie zanieczyszczoną skórę zimną, bieżącą wodą po zakończeniu prac z materiałem. Zdjąć zanieczyszczoną odzież. Jeżeli podrażnienie nie ustępuje, zasięgnąć porady lekarza,
 - praca powinna być tak zorganizowana, aby pracownicy nie wykonywali robót izolacyjnych na poziomie powyżej głowy. Jednak podczas wykonywania prac nad głową zalecane jest stosowanie nakrycia głowy i noszenie okularów ochronnych, spełniających wymagania odpowiednich norm,
 - w przypadku kontaktu z pyłem może wystąpić mechaniczne podrażnienie oczu. Nie należy trzeć oczu, ale usunąć szkła kontaktowe i przemywać oczy dużą ilością wody, przy odchylnych powiekach. Przy przemywaniu jednego oka należy chronić drugie przed zanieczyszczaniem. Jeśli podrażnienie nie ustępuje, należy skontaktować się z lekarzem. Należy zapewnić, aby na stanowisku pracy lub w jego pobliżu znajdowały się natryski do przemywania oczu, łatwy dostęp do bieżącej wody lub chociaż butelka z wodą do płukania oczu.
9. W przypadku wystąpienia reakcji niepożądanych lub utrzymującego się uczucia dyskomfortu należy zawsze zasięgnąć porady lekarza.
 10. Wdychanie cząstek unoszących się w powietrzu z innych źródeł, w tym pochodzących z dymu papierosowego, może zwiększać ryzyko chorób układu oddechowego, dlatego wszystkie miejsca pracy i przechowywania wełny mineralnej powinny być strefami wolnymi od zanieczyszczeń z innych źródeł.
 11. Pracodawcy powinni nie tylko zapewnić odpowiednie procedury, które minimalizują wytwarzanie włókien i pyłu, ale także procedury usuwania włókien z miejsc zanieczyszczonych. Usuwanie powinno odbywać się zgodnie z wymogami określonymi przez właściwy organ zgodnie z lokalnymi przepisami.
 12. Włókna mineralne są niepalne. Należy jednak pamiętać, że opakowania lub okładziny mogą stwarzać pewne zagrożenie pożarowe.
 13. Gdy wełna mineralna jest poddana podwyższonej temperaturze, lepiszczce w niej zawarte zaczyna się rozkładać, co można rozpoznać

po zapachu. Należy zapewnić dobrą wentylację, dopóki zapach jest wyczuwalny.

14. W przypadku niezamierzonego uwolnienia pyłów włókien, należy usunąć je z zabrudzonych powierzchni za pomocą odkurzacza z filtrem HEPA lub zamieść, uprzednio spryskawszy wodą. Nie wydmuchiwać pyłu sprężonym powietrzem. Unikać bezpośredniego kontaktu z uwolnionym produktem.
15. Produkty należy przechowywać w suchym pomieszczeniu (szczególnie te bez opakowania), w miarę możliwości w oryginalnym opakowaniu lub w sposób zabezpieczający je przed wpływem czynników atmosferycznych. Materiał izolacyjny powinien być magazynowany tak, aby był bezpieczny w przypadku wystąpienia trudnych warunków atmosferycznych, a jego rozpakowanie powinno się odbywać w pobliżu miejsca stosowania.
16. Podczas pracy z wyrobami włóknistymi należy utrzymywać wysokie standardy higieny osobistej. Postępować zgodnie z ogólnymi zasadami bezpieczeństwa i higieny pracy z substancjami chemicznymi oraz dobrej praktyki przemysłowej. Nie wolno spożywać posiłków, pić napojów oraz palić tytoniu podczas pracy z produktem z wyjątkiem miejsc do tego przeznaczonych; należy myć ręce przed przerwami i po zakończeniu pracy.
17. Karty charakterystyki i etykiety są zbiorem informacji o niebezpiecznych właściwościach substancji chemicznych i ich mieszanin na terenie Unii Europejskiej oraz zasadach i zaleceniach niezbędnych do zapewnienia ich bezpiecznego stosowania. W kartach charakterystyki można znaleźć informacje dotyczące środków kontroli ryzyka, zapewniających bezpieczne stosowanie produktów z włókien mineralnych. Każdy dalszy użytkownik powinien stosować zalecane w otrzymanych od producentów i dostawców karty charakterystyki odpowiednie środki w celu właściwej kontroli ryzyka, którego istnienie stwierdzono. Pracodawca powinien zapewnić swym pracownikom dostęp do dostarczanych informacji w odniesieniu do produktów, które stosują lub na które mogą być narażeni w trakcie swojej pracy.
Karta charakterystyki lub inny dokument dotyczący bezpiecznego stosowania wyrobów z wełny mineralnej, dostarczone przez dostawców, powinny stanowić przewodnik dla pracodawcy w postępowaniu z wełną mineralną i procedurach ochrony zdrowia pracowników, co zminimalizuje skutki jej potencjalnego szkodliwego działania na pracownika.

ULOTKA INFORMACYJNA

WELNA MINERALNA Czy stwarza zagrożenie dla zdrowia podczas montażu izolacji?



Podczas montażu izolacji z wełny mineralnej na stanowiskach pracy zagrożenie mogą stanowić:

- respirabilne włókna mineralne,
- pyły,
- lotne związki organiczne.

Do głównych zagrożeń zawodowych stwarzanych przez mineralne włókna respirabilne zalicza się działanie mechaniczne manifestujące się podrażnieniem skóry i błony śluzowej, charakterystyczne dla ciała obcego oraz odległe skutki narażenia charakteryzujące się zmianami patologicznymi w układzie oddechowym, będące skutkiem obecności włókien.

W przypadku pyłów, największe zagrożenie może stanowić grupa pyłów nierozpuszczalnych w płynach ustrojowych lub słabo rozpuszczalnych, które przy dostatecznie dużym stężeniu w środowisku pracy, zazwyczaj powyżej 10 mg/m³, mogą istotnie zmniejszać widzialność i gromadzić się w oczach oraz w uszach, powodując nieprzyjemne odczucia, mogą także uszkadzać skórę lub błony śluzowe na skutek działania chemicznego czy mechanicznego.

Dane literaturowe wskazują na możliwość emisji wielu lotnych związków organicznych (LZO) pochodzących ze spoiw w miejscach produkcji wełny mineralnej. Za czynniki, w przypadku których

redukcja emisji podczas produkcji wełny mineralnej jest szczególnie istotna, uważa się amoniak, formaldehyd i fenol.

W gotowych wyrobach zawartość żywicy wynosi zwykle < 15%, oleju mineralnego < 1%, pozostałości innych substancji zastosowanych w procesie produkcji są śladowe < 0,1%. Produkcję wełny mineralnej zwracają jednak uwagę na możliwość uwolnienia i rozkładu termicznego substancji tworzących spoiwo wełny mineralnej podczas ekspozycji wełny na podwyższoną temperaturę – uwolnione substancje w wysokich stężeniach mogą podrażnić oczy i układ oddechowy.



INSTYTUT MEDYCYNY PRACY IM. PROF. J. NOFERA
Zakład Bezpieczeństwa Chemicznego
ul. św. Teresy od Dzieciątka Jezus 8
91-348 363P
tel./fax.: 46 42 03 14 702

Obecnie zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286):

Ustalono wartość **NDS=1 włókno/cm³** dla frakcji respirabilnej sztucznych włókien mineralnych (z wyjątkiem ogniotrwałych włókien ceramicznych). Włókna respirabilne zdefiniowano jako włókna o długości powyżej 5 µm, o maksymalnej średnicy poniżej 3 µm i o stosunku długości do średnicy > 3.

Ustalono **NDS=10 mg/m³** dla frakcji wdychalnej pyłów niesklasyfikowanych ze względu na toksyczność. W przypadku przeprowadzania pomiarów stężeń pyłów niesklasyfikowanych ze względu na toksyczność istnieje obecnie obowiązek jednoczesnego równoległego oznaczenia stężeń frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej.

Zgodnie z wykazem zharmonizowanej klasyfikacji i oznakowania obowiązującym w krajach Unii Europejskiej wełna mineralna została zaklasyfikowana jako rakotwórcza kategorii 2. (Carc. 2) z przypisanym zwrotem rodzaju zagrożenia – „Podjejrza się, że powoduje stwarzające zagrożenie umieszczone dodatkowo uwagi O i R, określające warunki, po spełnieniu których można nie stosować klasyfikacji wełny jako rakotwórczej).

Produkcja i obróbka z wełny mineralnej – wyprzedziła oznaczenia jednoznacznie bezwzględnie odbiorczą, że stosowana przez nich wełna mineralna nie jest uznawana jako rakotwórcza!



PRACODAWCO!

- Postępuj zgodnie z ogólnymi zasadami bezpieczeństwa i higieny pracy z substancjami chemicznymi oraz dobrej praktyki przemysłowej.
- Stosując wełne izolacyjna wybieraj odpowiednie produkty (materiały nowego typu, atestowane) i metody postępowania z nimi, aby zminimalizować uwalnianie włókien respirabilnych i pyłu podczas pracy.
- Nie instaluj ponownie starych materiałów izolacyjnych.
- Zapobiegaj tworzeniu się pyłów w miejscu pracy, skutecznie ogranicz ich rozprzestrzenianie przez zakładanie folii, zawieszanie kurtyn, montowanie słuz. Unikaj niepotrzebnego narażenia.
- Zapewnij środki ochrony zbiorowej i indywidualnej dla pracowników.
- Monitoruj środowisko pracy. Utrzymuj narażenie na respiracyjny pył na tak niskim poziomie, jak to jest racjonalnie osiągalne, przynajmniej poniżej wartości NDS.
- Zapewnij pracownikom odpowiednie instrukcje i szkolenia w zakresie bezpiecznej praktyki pracy, a także noszenia i konserwacji środków ochrony indywidualnej.
- W przypadku wystąpienia u pracownika reakcji niepożądanych lub utrudniającego się uczucia dyskomfortu, zawsze zasięgnij porady lekarza.
- Gdy wełna mineralna jest poddana podwyższonej temperaturze, lepiszcze w niej zawarte zaczyna się rozkładać, co można rozpoznać po zapachu. Zapewnij dobrą wentylację dopoki zapach jest wyczuwalny.

- ACGIH (2018). American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Documentation of the threshold limit values. Synthetic vitreous fibers, ACGIH 2001. Cincinnati Ohio. TLVs and BEIs with 7th Edition Documentation 2018. CD-ROM.
- AIOH (2016) Synthetic Mineral Fibres (Smf) And Occupational health issues position paper. Australian Institute of Occupational Hygienists. AIOH Exposure Standards Committee.
- Albin M., Engholm G., Hallin N., Hagmar L. (1998). Impact of exposure to insulation wool on lung function and cough in Swedish construction workers. *Occup Environ Med.* 55, 661-667.
- Balzer J.L., Cooper W.C., Fowler D.P. (1971). Fibrous glass-lined air transmission systems: An assessment of their environmental effects. *Am Ind Hyg Assoc J.* 32, 512-518.
- Bayliss D.L., Dement J.M., Wagoner J.K., Blejer H.P. (1976). Mortality patterns among fibrous glass production workers. *Ann NY Acad Sci.* 271,324-335.
- Bernstein D.M., Riego Sintes J.M., Kjaer Ersboell B., Kunert J. (2001). Biopersistence of synthetic mineral fibers as a predictor of chronic intraperitoneal injection tumor response in rats. *Inhal. Toxicol.* 13(10), 851-875, DOI: 10.1080/089583701752378142.
- Boffetta P., Saracci R., Andersen A., Bertazzi P.A., Chang-Claude J., Ferro G., Fletcher A.C., Frenzel-Beyme R., Gardner M.J., Olsen J.H., Simonato L., Teppo L., Westerholm P., Winter P., Zocchetti C. (1992). Lung cancer mortality among workers in the European production of man-made mineral fibers. A Poisson regression analysis. *Scand J Work Environ Health.* 18, 279-286.
- Boffetta P., Saracci R., Andersen A., Bertazzi P.A., Chang-Claude J., Cherrie J., Ferro G., Frenzel-Beyme R., Hansen J., Olsen J.H., Plato N., Teppo L., Westerholm P., Winter P.D., Zocchetti C. (1997). Cancer mortality among man-made vitreous fibre production workers. *Epidemiology.* 8. 259-268.
- Brown N., Peat J., Mellis C., Woolcock A. (1996). Respiratory health of workers in the Australian glass wool and rock wool manufacturing industry. *J Occup Health Safety Aust NZ.* 12, 319-325.
- Bryła R. Bezpieczeństwo i higiena pracy. Wydawnictwo Elamed, Katowice 2011.
- Bujak-Pietrek S., Mikołajczyk U., Szadkowska-Stańczyk I., Stroszejn-Mrowca G. (2008). Narażenie pracowników wybranych gałęzi gospodarki na pyły – wykorzystanie elektronicznej ogólnopolskiej bazy danych. *Med Pr.* 59(3), 203-213.
- Casey G. (1983). Sister-chromatid exchange and cell kinetics in CHO-K1 cells, human fibroblasts and lymphoblastoid cells exposed *in vitro* to asbestos and glass fibre. *Mutat Res Genet Toxicol.* 116(3-4), 369-377.
- Chamberlain M., Tarmy E.M. (1977). Asbestos and glass fibres in bacterial mutation tests. *Mutat Res Fundame Mol Mech Mutagen.* 43(2), 159-164.
- Chemia Stosowana w Drzewnictwie III: chemia polimerów (żywice formaldehydowe) (2006/2007). [internet: andrzej_radomski.users.sggw.pl/chpdr/wyklad_polimery_5.ppt, dostęp: 06.05.2019].

- Chiazze L., Watkins D.K., Fryar C., Kozono J. (1993). A case-control study of malignant and non-malignant respiratory disease among employees of a fibreglass manufacturing facility. II. Exposure assessment. *Br J Ind Med.* 50, 717-725.
- Chiazze L., Watkins D.K., Fryar, C. (1997). Historical cohort mortality study of a continuous filament fibreglass manufacturing plant. I. White men. *J Occup Environ Med.* 39, 432-441.
- Christensen V.R., Jensen S.L., Guldborg M., Kamstrup O. (1994). Effect of chemical composition of man-made vitreous fibers on the rate of dissolution *in vitro* at different pHs. *Environ Health Perspect.* 102, 83-86.
- CIOP (2018). Centralny Instytut Ochrony Pracy; Baza wiedzy o zagrożeniach chemicznych i pyłowych. [internet: <http://www.ciop.pl/25882.html>, dostęp: 15.01.2019].
- Clausen J., Netterstrom B., Wolff C. (1993). Lung function in insulation workers. *Br J Ind Med.* 50, 252-256.
- Climowool (2016). Karta charakterystyki. Produkty izolacyjne z wełny szklanej.
- Conde-Salazar L., Guimaraens D., Romero L.V., Harto A., Gonzalez M. (1985). *Contact Derm.* 13, 195-196.
- Costa R., Orriols R. (2012). Man-made Mineral Fibers and the Respiratory Tract. *Arch Bronconeumol.* 48, 460-468.
- Cui Y., Ma J., Ye W., Han Z., Dong F., Deng J., Zhang Q. (2018). Chrysotile and rock wool fibers induce chromosome aberrations and DNA damage in V79 lung fibroblast cells. *Environ Sci Pollut Res.* 25, 22328-22333.
- Danish Ministry of the Environment (2013). Mineral wools (glass, stone/slag, HT). Evaluation of health hazards and proposal of a health-based quality criterion for ambient air Environmental Project No. 1515, 2013. The Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen, Denmark.
- De Vuyst P., Dumortier P., Swaen G.M.H., Pairen J.C., Brochard P. (1995). Respiratory health effects of man-made vitreous (mineral) fibres. *Eur Respir J.* 8(12), 2149-2173.
- Dixon G. (2017). Asbestos substitute, rock wool fiber, may also cause DNA damage, study finds. [internet: <https://www.preciseconsulting.co.nz/news/asbestos-substitute-rock-wool-fiber-also-causes-dna-damage-study-finds/>, dostęp: 16.05.2019].
- Donaldson K., Lang Tran C. (2004). An Introduction to the Short-term Toxicology of Respirable Industrial Fibers. *Mutat Res.* 553, 5-9.
- Donaldson K., Seaton A. (2012). A short history of the toxicology of inhaled particles. *Particle and Fibre Toxicology.* 9(1), 13. [internet: <https://doi.org/10.1186/1743-8977-9-13>].
- Dyrektywa 2004/37/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie ochrony pracowników przed zagrożeniem dotyczącym narażenia na działanie czynników rakotwórczych lub mutagenów podczas pracy (szósta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy Rady 89/391/EWG) (wersja skodyfikowana) Tekst mający znaczenie dla EOG. Dz.U. L 158 z 30.4.2004, str. 50-76 (Polskie wydanie specjalne: Rozdział 05 Tom 005 P. 35-45). Wersja skonsolidowana: 16/01/2018 Numer CELEX: 32004L0037.
- Dyrektywa Komisji 97/69/WE z dnia 5 grudnia 1997 r. dostosowująca po raz dwudziesty trzeci do postępu technicznego dyrektywę Rady 67/548/EWG w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych odnoszących się do klasyfikacji, pakowania i etykietowania substancji niebezpiecznych. Dz.U. L 343 z 13.12.1997.
- Engholm G., Englund A., Fletcher T., Hallin N. (1987). Respiratory cancer incidence in Swedish construction workers exposed to man-made mineral fibres and asbestos. *Ann Occup Hyg.* 31, 663-675.
- Enterline P.E., Henderson V. (1975). The health of retired fibrous glass workers. *Arch Environ Health.* 30(3), 113-116.

- Enterline P.E., Marsh G.M., Henderson V., Callahan C. (1987). Mortality update of a cohort of U.S. man-made mineral fibre workers. *Ann Occup Hyg.* 31, 625-656.
- Esmen N.A., Corn M., Hammad Y.Y., Whittier D., Kotsko N., Haller M., Kahn R.A. (1979a). Exposure of employees to man-made mineral fibers: Ceramic fiber production. *Environ Res.* 19, 265-278.
- Esmen N., Corn M., Hammad Y., Whittier D., Kotsko N. (1979b). Summary of measurements of employee exposure to airborne dust and fiber in sixteen facilities producing man-made mineral fibers. *Am Ind Hyg Assoc J.* 40, 108-117.
- ECHA European Chemical Agency (2017). Europejska Agencja Chemikaliów: Poradnik na temat wymagań dotyczących substancji w wyrobach, wersja 4. Helsinki, czerwiec 2017 [internet: https://echa.europa.eu/documents/10162/23036412/articles_pl.pdf/6789ed89-f74a-82f2-cf80-73023f271d13, dostęp: 17.01.2019].
- EUCEB European Certification Board for mineral wool products (2019). Europejska Rada ds. Certyfikacji Produktów z Wełny Mineralnej. [internet: <http://www.euceb.org/>, dostęp: 17.01.2019].
- GGM Gütegemeinschaft Mineralwolle e.V. (2016). Gesundheitliche Bewertung von Mineralwollen an Hand der Biolöslichkeit Deutsche Version Seite 2-9 and Health assessment of mineral wools on the basis of bio solubility English version page 10-17. [internet: <https://docplayer.org/30159835-Gesundheitliche-bewertung-von-mineralwollen-an-hand-der-bioloeslichkeit-deutsche-version-seite-2-9.html>, dostęp: 16.05.2019].
- Gibbs A.R., Pooley F.D., Griffiths D.M., i wsp. (1996). A histopathological and mineralogical study of lung tissues from workers engaged in glass wool manufacture. In: Sixth international meeting on the toxicology of natural and man-made fibrous and non-fibrous particles: Lake Placid, NY September 15-18, 157.
- Główny Urząd Statystyczny (2017). Wyroby izolacji termicznej z wełny mineralnej. [internet: <https://stat.gov.pl/wyszukiwarka/szukaj.html>, dostęp: 06.05.2019].
- Górny R.L., Gołofit-Szymczak M. (2016). Zagrożenie środowiskowe powodowane przez włókna szklane. *Czasnik Ochrona Środowiska* 18, 336-350.
- Grace M.A.B. (2016). Stowarzyszenie Współpracy Związków Zawodowych: Pył. O zagrożeniach w Twoim miejscu pracy. Gfackforbund i samverkan. Byggnads Elektrikerna Fastighets Malarna Seko. ([www/byggnads.se/sef.se/fastighets.se/malareforbundet.se/seko.se](http://www.byggnads.se/sef.se/fastighets.se/malareforbundet.se/seko.se)).
- Greim H., Brinkmann B., Pohlentz-Michel C., Ziegler-Skylakakis K. (2000). The necessity of developing new criteria for carcinogen classification of fibers by the MAK Commission. *Inhal Toxicol.* 12, 419-425.
- Greim H., Borm P., Schins R., Donaldson K., Driscoll K., Hartwig A., Kuempel E., Oberdörster G., Speit G. (2001). Toxicity of fibres and particles – report of the Workshop held in Munich, Germany, 26-27 October 2000. *Inhal Toxicol.* 13, 737-754.
- Grieve S. (2017). Asbestos Substitute, Rock Wool Fiber, May Also Cause DNA Damage, Study Finds. [internet: <https://mesotheliomaresearchnews.com/2017/07/13/study-re-ports-asbestos-substitute-rock-wool-fiber-also-causes-dna-damage/>, dostęp 16.05.2019].
- Guldberg M., Christensen V.R., Perander M., Zoitos B., Koenig A.R., Sebastian K. (1998). Measurement of *in vitro* fibre dissolution rate at acidic pH. *Ann Occup Hyg.* 42, 233-243.
- Guldberg M., Jensen S.L., Knudsen T., Steenberg T., Kamstrup O. (2002). High-alumina low-silica HT stone wool fibers: A chemical compositional range with high biosolubility. *Regul Toxicol Pharmacol.* 35, 217-226.
- Gustavsson P., Plato N., Axelson O., Brage H.N., Hogstedt C., Ringbäck G., Tornling G., Wingren G. (1992). Lung cancer risk among workers exposed to man-made mineral fibers (MMMF) in the Swedish prefabricated house industry. *Am J Ind Med.* 21, 825-834.

- Hadley J.G., Crane A.E. (2019). Letter to the Editor on Chrysotile and rock wool fibers induce chromosome aberrations and DNA damage in V79 lung fibroblast cells. *Env Sci Poll Research*. 26(3), 3091-3093. [internet: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1210-4>, dostę: 16.06.2019]
- Hansen E.F., Rasmussen F.V., Hardt F., Kamstrup O. (1999). Lung function and respiratory health of long-term fiber-exposed stonewool factory workers. *Am J Respir Crit Care Med*. 160, 466-472.
- Hesterberg T.W., Müller W.C., Musselman R.P., Kamstrup O., Hamilton R.D., Thevenaz P. (1996). Biopersistence of man-made vitreous fibers and crocidolite asbestos in the rat lung following inhalation. *Fundam Appl Toxicol*. 29, 267-279.
- Hesterberg T.W., Hart G.A. (2001). Synthetic vitreous fibers: a review of toxicology research and its impact on hazard classification. *Crit Rev Toxicol*. 31, 1-53.
- Hughes J.M., Jones R.N., Glindmeyer H.W., Haddad Y.Y., Weill H. (1993). Follow up study of workers exposed to man made mineral fibres. *Br J Ind Med*. 50, 658-667.
- Hunting K.L., Welch L.S. (1993). Occupational exposure to dust and lung disease among sheet metal workers. *Br J Ind Med*. 50, 432-442.
- HVBG (Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften) (1998). Fasern - Tests zur Biobeständigkeit und zum Verstaubungsverhalten. BIA-Report 2/98.
- IARC International Agency for Research on Cancer (1988). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, Vol. 43, Man-made Mineral Fibres and Radon, Lyon, IARC Press, 33-171.
- IARC International Agency for Research on Cancer (2002). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 81, Man-made Vitreous Fibres. Lyon, 278-279.
- ICANZ, Insulation Council of Australia and New Zealand (2009). Material Safety Data Sheet FBS-1 INSULATION GLASSWOOL. ICANZ, Southbank/Australia.
- ILO codes of practice (2001). Safety in the use of synthetic vitreous fibre insulation wools (glass wool, rock wool, slag wool). International Labour Office, Geneva.
- IMP, Instytut Medycyny Pracy (2014). Centralny Rejestr Chorób Zawodowych, Łódź.
- Jacob T.R., Hadley J.G., Bender J.R., Eastes W. (1992). Airborne glass fiber concentrations during installation of residential insulation. *Am Ind Hyg Assoc J*. 53(8), 519-523.
- Jacob T.R., Hadley J.G., Bender J.R., Eastes W. (1993). Airborne glass fiber concentrations during manufacturing operations involving glass wool insulation. *Am Ind Hyg Assoc J*. 54(6), 320-326.
- Jaffrey T.S.A.M. (1990). Levels of airborne man-made mineral fibres in UK dwellings. I. Fibre levels during and after installation of insulation. *Atmos Environ*. 24A(1), 133-141.
- Jakubowski M. (2003). Fenol. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. *PiMOŚP*. 1(35), 87-113.
- Jankowska A., Czerczak S. (2018). Trimetyloamina. Dokumentacja proponowanych dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. *PiMOŚP*. 4(98), 147-165.
- Järholm B., Hillerdal G., Järliden A.K., Hansson A., Lilja B.G., Tornling G., Westerholm P. (1995). Occurrence of pleural plaques in workers with exposure to mineral wool. *Int Arch Occup Environ Health*. 67, 343-346.
- Johnson D.L., Healey J.J., Ayer E.A., Lynch J.R. (1969). Exposure to fibers in the manufacture of fibrous glass. *Am Ind Hyg Assoc J*. 30, 545-550.
- Jolanki R., Mäkinen I., Suurinen K., Alanko K., Estlander T. (2002). Occupational irritant contact dermatitis from synthetic mineral fibres according to Finnish statistics. *Contact Derm*. 47(6), 329-333.

- Kamstrup O., Ellehauge A., Chevalier J., Davis J.M., McConnell E.E., Thévenaz P. (2001). Chronic inhalation studies of two types of stone wool fibers in rats. *Inhal Toxicol.* 13(7), 603-621.
- Kamstrup O., Ellehauge A., Collier C.G., Davis J.M. (2002). Carcinogenicity studies after intraperitoneal injection of two types of stone wool fibres in rats. *Ann Occup Hyg.* 46, 135-142.
- Kieć-Świerczyńska M., Szymczak W. (1995). The effect of the working environment on occupational skin disease development in workers processing rockwool. *Int J Occup Med Environ Health.* 8, 17-22.
- Kilburn K.H., Warshaw R.H. (1991). Difficulties of attribution of effect in workers exposed to fiberglass and asbestos. *Am J Ind Med.* 20, 745-751.
- Kilburn K.H., Powers D., Warshaw R.H. (1992). Pulmonary effects of exposure to fine fibreglass: Irregular opacities and small airways obstruction. *Br J Ind Med.* 49, 714-720.
- Knauf Insulation (2019). Karta charakterystyki Wełna mineralna kamienna – Produkt o wysokiej temperaturze. Knauf Insulation, Iphofen/Germany, aktualizacja 12.04.2019.
- Knudsen T., Guldborg M., Christensen V.R., Jensen S.L. (1996). New type of stone wool (HT fibres) with a high dissolution rate at pH = 4.5. *Glastech Ber Glass Sci Technol.* 69(10), 331-337.
- Kowatsch S. (2010). Mineral Wool Insulation Binders. DOI: 10.1007/978-3-642-04714-5_10. In book: *Phenolic Resins: A Century of Progress*. Pilato, Louis (Ed.).
- Krajewski J., Tarkowski S. (2002). Materiały izolacyjne zawierające sztuczne włókna mineralne – zagrożenia. *Bezpiecz Pr.* 3, 16-20.
- Kudo Y., Aizawa Y. (2009). Behavior of rock wool in lungs after exposure by nasal inhalation in rats. *Environ Health Prev Med.* 14, 226-234. DOI: 10.1007/s12199-009-0082-0.
- Krantz S. (1988). Exposure to man-made mineral fibers at ten production plants in Sweden. *Scand J Work Environ Health.* 14, 49-51.
- Kupczewska-Dobecka M. (2008). Formaldehyd. Dokumentacja dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego. *PiMOŚP.* 3(57), 51-125.
- Less P.S.G., Breyse P.N., Arthur B.R., Miller M.F., Robbins C.A., Corn A. (1993). End user exposures to man-made vitreous fibers: I Installation of residential products. *Appl Occup Environ Hyg.* 8, 1022-1030.
- Lipworth L., La Vecchia C., Bosetti C., McLaughlin J.K. (2009). Occupational exposure to rock wool and glass wool and risk of cancers in the lung and the head and neck: a systemic review and meta-analysis. *J Occup Environ Med.* 51, 1075-1087.
- Luoto K., Holopainen M., Savolainen K. (1995). Durability of man-made vitreous fibres as assessed by dissolution of silicon, iron and aluminum in rat alveolar macrophages. *Ann Occup Hyg.* 39(6), 855-867.
- Luoto K., Holopainen M., Kangas J., Kalliokoski P., Savolainen K. (1998). Dissolution of short and long rockwool and glasswool by macrophages in flowthrough cell culture. *Environ Res. Section A* 78, 25-37.
- Maciulek H., Zielińska A., Domarecko T. (2012). Oddziaływanie azbestu na środowisko przyrodnicze i organizm człowieka. *J Ecol Health.* 16(3), 112-119.
- Marchant G.E., Amen M.A., Bullock C.H., Carter C.M., Johnson K.A., Reynolds J.W., Connolly F.R., Crane A.E. (2002). A synthetic vitreous fiber (SVF) occupational exposure database: Implementing the SVF health and safety partnership program. *Appl Occup Environ Hyg.* 17, 276-285.
- Marsh G.M., Enterline P.E., Stone R.A., Henderson V.L. (1990). Mortality among a cohort of US man-made mineral fiber workers: 1985 Follow-up. *J Occup Med.* 32, 594-604.

- Marsh G.M., Stone R., Youk A., Smith T., Quinn M., Henderson V., Schall L., Wayne L., Lee, K. (1996). Mortality among United States rock wool and slag wool workers: 1989 Update. *J Occup Health Safety Austr. N.Z.* 12, 297-312.
- Marsh G.M., Youk A.O., Stone R.A., Buchanich J.M., Gula M.J., Smith T.J., Quinn M.M. (2001a). Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers. I. 1992 fiberglass cohort follow-up: Initial findings. *J Occup Environ Med.* 43, 741-756.
- Marsh G.M., Buchanich J.M., Youk A.O. (2001b). Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers. VI. Respiratory system cancer standardized mortality ratios adjusted for the confounding effect of cigarette smoking. *J Occup Environ Med.* 43, 803-808.
- Mathias T., Maibach H. (1982). Perspectives in occupational dermatology. *West J Med.* 137(6), 486-492.
- Mauderly J.L., Cheng Y.S., Hoover M.D., Yeh H.C. (2000). Particles inhaled in the occupational setting. W: Gehr P. & Heyder J. (red.). *Particle-lung interactions.* Marcel Dekker, Inc., Nowy Jork.
- Maxim L.D., Eastes W., Hadley J.G., Carter C.M., Reynolds J.W., Niebo R. (2003). Fiber glass and rock/slag wool exposure of professional and do-it-yourself installers. *Regul Toxicol Pharmacol.* 37, 28-44.
- McConnell E.E., Kamstrup O., Musselman R., Hesterberg T.W., Chevalier J., Miller W.C., Thevenaz P. (1994). Chronic inhalation study of size separated rock and slag wool insulation fibers in Fischer 344/N rats. *Inhal Toxicol.* 6, 571-614.
- McDonald J.C., Case B.W., Enterline P.E., Henderson V., McDonald A.D., Plourde M., Sébastien P. (1990). Lung dust analysis in the assessment of past exposure of man-made mineral fibre workers. *Ann Occup Hyg.* 34, 427-441.
- Miller B.G., Searl A., Davis J., Donaldson K. i wsp. (1999). Influence of fibre length, dissolution and biopersistence on the production of mesothelioma in the rat peritoneal cavity. *Ann Occup Hyg.* 43, 155-166.
- Morgan R.W. (1981). Mortality study of fibrous glass production workers. *Arch Environ Health.* 36, 179-183.
- Moulin J.J., Mur J.M., Wild P., Perreux J.P., Pham Q.T. (1986). Oral cavity and laryngeal cancers among man-made mineral fiber production workers. *Scand J Work Environ Health.* 12, 27-31.
- Moulin J.J., Pham Q.T., Mur J.M., Meyer-Bisch C., Caillard J.F., Massin N., Wild P., Teculescu D., Delepine P., Hunzinger E., Perreux J.P., Muller J. (1987). Epidemiological study in two factories producing artificial mineral fibres: II. Respiratory symptoms and lung function. *Arch Mal Prof.* 48, 7-16 (in French).
- Moulin J.J., Wild P., Mur J.M., Caillard J.F., Massin N., Meyer-Bisch C., Toamain J.P., Hanser P., Liet S., DuRoscoat M.N., Segala A. (1988). Respiratory health assessment by questionnaire of 2024 workers involved in man-made mineral fiber production. *Int Arch Occup Environ Health.* 61, 171-178.
- NIOSH (1976). Occupational exposure to fibrous glass. Proceedings of a Symposium. Washington, DC: National Institute for Occupational Safety and Health 33-61, 83-89, 193-204.
- Nowak D., Jasiewicz C., Szczerbińska-Byrska M. (2013). Środowiskowe aspekty użytkowania, zagospodarowania i unieszkodliwiania wełny mineralnej w kontekście retardacji zanieczyszczenia zasobów środowiska przez odpady. *Inżynieria Ekologiczna,* 34, 198-205.
- NTP (2010). National Toxicology Program. Draft Report on Carcinogens. Substance Profile for Glass Wool Fibers (Respirable) as a Class. Peer Review June 21-22, 2010 [internet: <https://pdfs.semanticscholar.org/3297/c6ab2da220621a99c07ab205e7d9a4ee529b.pdf>, dostęp 16.05.2019].

- Oberdörster G. (1991). Deposition, elimination and effects of fibres in the respiratory tract of humans and animals. VDI-Berichte 17-37.
- Oberdörster G., Lehnert B.E. (1991). Toxicological aspects of the pathogenesis of fibreinduced pulmonary effects. In: Brown R.C., Hoskins J.A., Johnson N.F. (eds.) Mechanisms in fibre carcinogenesis. NATO ASI Ser, Series A. Life Sci. 223, 157-179.
- Oberdörster G. (2000). Determinants of the pathogenicity of man-made vitreous fibers (MMVF). *Int Arch Occup Environ Health*, 73 (Suppl.), S60-S68.
- Perrault G., Dion C., Cloutier Y. (1992). Sampling and analysis of mineral fibers on construction sites. *Appl Occup Environ Hyg*. 7(5), 323-326.
- Petersen R., Sabroe S. (1991). Irritative symptoms and exposure to mineral wool. *Am J Ind Med*. 20, 113-122.
- Plato N., Westerholm P., Gustavsson P., Hemmingsson T., Hogstedt C., Krantz S. (1995) Cancer incidence, mortality and exposure-response among Swedish man-made vitreous fiber production workers. *Scand J Work Environ Health*. 21, 353-361.
- PN-EN 13162+A1:2015-04 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z wełny mineralnej (MW) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.
- PN-EN 14064-1:2018-12 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z wełny mineralnej (MW) w postaci niezwiązanej formowane *in situ* – Część 1: Specyfikacja wyrobów w postaci niezwiązanej, przed ich zastosowaniem.
- PN-EN 14303:2016-02 Wyroby do izolacji cieplnej wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych – Wyroby z wełny mineralnej (MW) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.
- PN-Z-04008-7:2002+Az1/2004 Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacja wyników.
- PN-Z-04202/02:1988. Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości azbestu. Oznaczanie stężenia liczbowego respirabilnych włókien azbestu na stanowiskach pracy metodą mikroskopii optycznej.
- Pohlbeln H., Jöckel K.H., Brüske-Hohlfeld I., Möhner M., Ahrens W., Bolm-Audorff U., Arhelger R., Römer W., Kreienbrock L., Kreuzer M., Jahn I., Wichmann H.E. (2000). Lung cancer and exposure to man-made vitreous fibers: results from a pooled case-control study in Germany. *Am J Ind Med*. 37(5), 469-477.
- Possick P.A., Gellin G.A., Key M.M. (1970). Fibrous glass dermatitis. *Am Ind Hyg Assoc J*. 31, 12-15.
- RAL Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen (Komitet ds. Warunków Dostawy Reichs), Erzeugnisse aus Mineralwolle (Norma techniczna. Produkty z wełny mineralnej – zapewnienie jakości). 2017. Gütesicherung RAL GZ 388. [internet: www.ral-mineralwolle.de/das-ral-guetezeichen.html, dostęp: 08.03.2018]
- Rapisarda V., Loreto C., Ledda C., Musumeci G., Bracci M., Santarelli L., Renis M., Ferrante M., Cardile V. (2015). Cytotoxicity, Oxidative stress and genotoxicology induced by glass fibers on human alveolar epithelial cell line A549. *Toxicology in vitro*. 29, 551-557.
- Robinson C.F., Dement J.M., Ness G.O., Waxweiler R.J. (1982). Mortality patterns of rock and slag mineral wool production workers: an epidemiological and environmental study. *Br J Ind Med*. 39(1), 45-53.
- Rozporządzenie UE 2018/669: Rozporządzenie Komisji (UE) 2018/669 z dnia 16 kwietnia 2018 r. zmieniające, w celu dostosowania do postępu naukowo-technicznego, rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin. Dz. Urz. UE L 115 z 04.05.2018 r. str. 1.
- Rozporządzenie WE nr 1907/2006: rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania

zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniającym dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylającym rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywę Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE. Dz. Urz. UE L 136 z 29.05.2007 r. str. 3 (w wersji sprostowanej) z późn. zm.

Rozporządzenie WE nr 1272/2008 (CLP): rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniającego i uchylającego dyrektywę 67/648/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniającego rozporządzenie WE nr 1907/2006. Dz. Urz. UE L 353 z 31.12.2008 r. str. 1 z późn. zm.

Rozporządzenie WE nr 790/2009: Rozporządzenie Komisji WE nr 790/2009 z dnia 10 sierpnia 2009 r. dostosowujące do postępu naukowo-technicznego rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin. Dz. Urz. UE L 235 z 05.09.2009 r. str. 1.

Rozporządzenie WE nr 305/2011: Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG. Dz. Urz. UE L 88 z 04.04.2011 r. str. 5.

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Tekst jednolity: Dz.U. 2017 poz. 1348.

Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. 2018 poz. 1286.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz.U. 2015 poz. 1923.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 24 lipca 2012 r. w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w środowisku pracy. Tekst jednolity: Dz.U. 2016 poz. 1117.

Rödelsperger K., Jöckel K.H., Pohlabeln H., Römer W., Woitowitz H.J. (2001). Asbestos and man-made vitreous fibers as risk factors for diffuse malignant mesothelioma: Results from a German hospital-based case-control study. *Am J Ind Med*. 39, 262-275.

Saint-Gobain Construction Products Polska (2010). Arkusz Instrukcji Bezpiecznego Użytkowania – wyroby z wełny mineralnej szklanej.

Saint-Gobain Isover (2016). Material Safety Data Sheet – mineral wool for thermal, acoustic and fire protection insulation.

Sali D., Boffetta P., Andersen A., Cherrie J.W., Chang Claude J., Hansen J., Olsen J.H., Pesatori A.C., Plato N., Teppo L., Westerholm P., Winter P., Saracci, R. (1999). Nonneoplastic mortality of European workers who produce man made vitreous fibers. *Occup Environ Med*. 56, 612-617.

SCOEL (2012). Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for MMVF 10, SCOEL/SUM/108, European Commission, Employment, Social Affairs & Inclusion, Brussels, May 2012.

Schneider T. (1987). Screening Man made vitreous fibre exposure by gravimetric dust measurements *Ann Occup Hyg*. 31(4B), 547-555.

Shannon H.S., Hayes M., Julian J.A., Muir D.C.F. (1984). Mortality experience of glass fibre workers. *Br J Ind Med*. 41, 35-38.

Shannon H.S., Jamieson E., Julian J.A., Muir D.C.F., Walsh C. (1987). Mortality experience of Ontario glass fibre workers – Extended follow-up. *Ann Occup Hyg*. 31, 657-662.

- Shannon H.S., Jamieson E., Julian J.A., Muir D.C.F. (1990). Mortality of glass filament (textile) workers. *Br J Ind Med.* 47(5), 533-536.
- Simonato L., Fletcher A.C., Cherie J., Andersen A., Bertazzi P., Charnay N., Claude J., Dodgson J., Estève J., Frentzel-Beyme R., Gardner M.J., Jensen O., Olsen J., Teppo L., Winkelmann R., Westerholm P., Winter P.D., Zocchetti C., Saracci R. (1987). The International Agency for Research on Cancer historical cohort study of MMMF production workers in seven European countries: Extension of the follow-up. *Ann Occup Hyg.* 31, 603-623.
- Sprawozdanie z badań (2018). Pobór i analiza próbek powietrza w środowisku pracy. Laboratorium Badań Środowiskowych EmiPro Sp. z o.o., Kraków, nr 18/P/18 z 7.12.2018 r.
- Skrzyńska E. (2019). Uzupełniające badania na stanowiskach pracy z wykorzystaniem wełny mineralnej. Analiza zanieczyszczeń generowanych w czasie prac z użyciem materiałów izolacyjnych z włókien mineralnych – wełna szklana, wełna skalna. Sprawozdanie zbiorcze. Kraków, kwiecień 2019.
- Stone R.A., Youk A.O., Marsh G.M., Buchanich J.M., Smith T.J. (2004). Historical cohort study of U.S. man-made vitreous fiber production workers IX: Summary of 1992 Mortality follow up and analysis of respiratory system cancer among female workers. *J Occup Environ Med.* 46(1), 55-67.
- Stowarzyszenie Producentów Wełny Mineralnej: Szklanej i Skalnej. [internet: https://miwo.pl/porownania/bezpieczenstwo-i-zdrowie/_ dostęp:08.10.2018].
- Super Glass Insulation (2013). [internet: https://www.dach123.pl/files/karta_charakterystyki_superglass_dach123_pl.pdf, dostęp: 10.03.2018]
- Switala E.D., Harlan R.C., Schlaudecker D.G., Bender J.R. (1994). Measurement of respirable glass and total fiber concentrations in the ambient air around a fiberglass wool manufacturing facility and a rural area. *Regul Toxicol Pharmacol.* 20(3 part 2), 76-S88.
- Szadkowska-Stańczyk I., Stroszejn-Mrowca G. (2002). Kancerogenne działanie włókien mineralnych – Dowody w badaniach epidemiologicznych. *Med Pr.* 53, 137-143.
- Szadkowska-Stańczyk I., Stroszejn-Mrowca G., Mikołajczyk U., Maciejewska A. (2006). Ocena narażenia pracowników budowlanych na pył zawierający wolną krystaliczną krzemionkę (WKK). *Med Pr.* 57(5), 405-413.
- Szeszenia-Dąbrowska N., Sobala W. (2010). Zanieczyszczenie środowiska azbestem. Skutki zdrowotne. Raport z badań – II wydanie poprawione i uzupełnione. IMP, Łódź.
- Tarkowski M., Tarkowski S. (2003). Amoniak. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. *PiMOŚP.* 2(36), 5-38.
- Tarkowski S., Więcek E., Woźniak H., Krajewski J. (2001). Środowiskowe zagrożenia zdrowia. Sztuczne włókna mineralne występujące w materiałach izolacyjnych stosowanych w budownictwie. Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera. Łódź.
- Thestrup-Pedersen K., Bach B., Pedersen R. (1990). Allergic investigation in patients with the sick building syndrome. *Contact Derm.* 23, 53-55.
- Thriene B., Sobottka A., Willer H., Weidhase J. (1996). Man-made mineral fibre boards in buildings - Health risks caused by quality deficiencies. *Toxicol Lett.* 88, 299-303.
- Toxicological Profile For Synthetic Vitreous Fibers. (2004). U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta, Georgia 30333 September 2004.
- Toxnet (2018). Toxicology Data Network. Synthetic Vitreous Fibers. Reviewed by SRP on 1/13/2005 [internet: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+7261>, dostęp: 11.03.2019]
- Tran C.L., Jones A.D., Donaldson K. (1996). Evidence of overload, dissolution and breakage of MMVF10 fibres in the RCC chronic inhalation study. *Exp Toxicol Pathol.* 48, 500-504.

- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach. Dz.U. 2013 poz. 21 (opracowano na podstawie: Dz. U. z 2019 r. poz. 701, 730).
- Vallarino J., Spengler J.D., Buck R, Dilwali K.M. (2003). Quantifying synthetic vitreous fiber surface contamination in office buildings. *Am Ind Hyg Assoc J.* 64, 80-87.
- Vantsi O., Karki T. (2014). Mineral wool waste in Europe: a review of mineral wool waste quantity, quality, and current recycling methods. *J Mater Cycles Waste Manag.* 16, 62-72. DOI: 10.1007/s10163-013-0170-5.
- Verordnung zur Änderung chemikalienrechtlicher Verordnungen (2017). Rozporządzenie zmieniające rozporządzenie w sprawie chemikaliów. *Federalny Dziennik Ustaw nr I, 2017, 99-101* [internet: <https://www.ral-mineralwolle.de/das-ral-guetezeichen.html>, dostęp: 08.03.2018]
- Wang Q., Han C., Yang Y., Wang H., Wu W., Liu W., Kohyama N. (1999). Biological effects of man-made mineral fibers-their genetic damages examined by *in vitro* assay. *Ind Health.* 37, 342-347.
- Westerholm P., Bolander A.M. (1986). Mortality and cancer incidence in the man-made mineral fiber industry in Sweden. *Scand J Work Health.* 12(1), 78-84.
- Więcek E., Woźniak H. (2004). Pyły zawierające azbest chryzotylowy oraz pyły zawierające azbest chryzotylowy i inne minerały włókniste z wyjątkiem krokidolitu. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego. *PiMOŚP.* 4(42), 87-128.
- Więcek E. (2011). Kryteria zdrowotne pobierania próbek aerozoli w środowisku pracy. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy.* 2(68), 5-21.
- WHO (2004). *Environ Health Criteria 77: Man-made Mineral Fibers (1988)*. Available from, as of November 8, 2004. [internet: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc77.htm>, dostęp: 11.03.2019].
- WHO (2005). *Workshop on Mechanisms of Fibre Carcinogenesis and Assessment of Chrysotile Asbestos Substitutes 8-12 November 2005, Lyon, France.* [internet: https://www.who.int/ipcs/publications/new_issues/summary_report.pdf?ua=1, dostęp: 11.03.2019].
- Wohlleben W., Waindok H., Daumann B., Werle K., Drum M., Egenolf H. (2017). Composition, respirable fraction and dissolution rate of 24 stone wool MMVF with their Binder. *Particle and Fibre Toxicology.* 14, 29.
- Wong O., Foliart D., Trent L.S. (1991). A case-control study of lung cancer in a cohort of workers potentially exposed to slag wool fibres. *Br J Ind Med.* 48, 818-824.
- Yano E., Karita, K. (1998). Prevalence of respiratory abnormalities of workers in rock/slag wool producing industries in Japan. In: Keizo C., Yutaka H., Yoshiharu A., eds, *Advances in the Prevention of Occupational Respiratory Diseases: Proceedings of the 9th International Conference on Occupational Respiratory Diseases, Kyoto, 13-16 October 1997, Amsterdam, Elsevier.* 337-341.