



dr hab. EDWARD WIĘCEK prof. PŁ  
Katedra Inżynierii Środowiska  
Politechnika Łódzka

## narażenie i skutki zdrowotne

W artykule przedstawiono problemy zawodowej, parazawodowej i środowiskowej ekspozycji na włókna azbestowe. Jak wynika z badań klinicznych i epidemiologicznych, narażenie na pyły azbestu jest związane z rozwojem pylicy azbestowej, raka płuca oraz nowotworów opłucnej i otrzewnej. W pracy przedyskutowano możliwe mechanizmy tych chorób. Przedstawiono także zapadalność na azbestozależne choroby zawodowe w Polsce i ryzyko nowotworowe przy różnych scenariuszach narażenia.

### Asbestos – Exposition and Health Effects

This paper presents the health effects of occupational, para-occupational and environmental exposition to asbestos fibres. Both clinical and epidemiological studies have shown that exposition to asbestos dusts is associated with asbestosis, lung cancer and tumors of mesothelial and peritoneal tissues. In the article the possible mechanisms of these diseases are discussed. The incidence to occupational asbestos-related diseases in Poland, and carcinogenic risk for different exposure scenarios are also presented.

### Wstęp

W ostatnich dwóch dziesięcioleciach zaobserwowano znaczący postęp w zakresie poprawy warunków środowiska pracy. Wentylacja, hermetyzacja procesów technologicznych, nowe technologie oraz restrykcyjne unormowania prawne przyczyniły się do istotnego obniżenia stężeń i natężeń wielu czynników szkodliwych dla zdrowia, w tym czynników kancerogennych, do których zakwalifikowano wszystkie rodzaje azbestów. Współcześnie istnieje dostateczna liczba dowodów opartych zarówno na badaniach doświadczalnych na zwierzętach, jak i na wynikach badań epidemiologicznych, pozwalających na uznanie wszystkich rodzajów azbestu za substancje rakotwórcze dla człowieka [1]. Wielkość ryzyka nowotworowego i umiejscowienie nowotworu zależne są od wielu czynników, ale rodzaj azbestu, stężenie włókien respirabilnych (o długości powyżej 5  $\mu\text{m}$  i średnicy poniżej 3  $\mu\text{m}$  oraz stosunku długości do średnicy powyżej 3:1) i czas narażenia wydają się być najważniejsze.

Mimo poprawy warunków pracy, azbestozależne choroby zawodowe i parazawodowe w dalszym ciągu stanowią poważną przyczynę niezdolności do pracy, niepełnosprawności i przedwczesnych zgonów. Wynika to z długiego okresu (20 – 40 lat) jaki upływa od pierwszej ekspozycji na pył azbestowy do rozwoju

i ujawnienia się takich chorób, jak pylica azbestowa (azbestoza) i nowotwory (raki układu oddechowego, międzybłoniaki). Można przewidywać, że tendencja ta będzie się utrzymywać także w XXI wieku.

Z badań przeprowadzonych w Australii wynika, że pomiędzy rokiem 1987 i 2025 zostanie stwierdzonych w tym kraju około 13000 przypadków międzybłoniaka, 40000 przypadków raka płuca i 1000 przypadków pylicy azbestowej wywołanych zawodową i pozazawodową ekspozycją na pyły azbestowe [2].

### Właściwości i zastosowanie azbestów

Azbest jest ogólną nazwą sześciu różnych minerałów z grupy serpentynów i amfiboli, występujących w postaci włóknistych skupień.

Największe znaczenie przemysłowe ma azbest serpentynowy (chryzotylowy) tworzący cienkie żyły w serpentynitach, o giętkich włóknach, do 0,1  $\mu\text{m}$  grubości, odpornych na działanie wysokiej temperatury i czynników chemicznych, także na ścieranie; włókna te nadają się do tkania i spłisniania. Chryzotyl źle przewodzi

NAJWAŻNIEJSZE WYROBY AZBESTOWE I ZAWARTOŚĆ W NICH AZBESTU [6]

Tabela 1

Wyroby	Zawartość azbestu (%)	Rodzaj azbestu
Wyroby azbestowo-cementowe stosowane w budownictwie	10 ÷ 15	chryzotyl, amosyt, krokidolit
Azbestowo-cementowe rury ciśnieniowe (kanalizacyjne i wodociągowe)	12 ÷ 15	chryzotyl, krokidolit, amosyt
Ognioodporne płyty izolacyjne	25 ÷ 40	amosyt, chryzotyl
Wyroby izolacyjne łącznie z izolacjami natryskowymi	12 ÷ 100	amosyt, chryzotyl, krokidolit
Złącza i uszczelki	25 ÷ 85	chryzotyl, krokidolit
Materiały cierne, wyroby włókiennicze	65 ÷ 100	chryzotyl, krokidolit
Płytki i wykładziny podłogowe	5 ÷ 7,5	chryzotyl
Wyroby z mas plastycznych i obudowy akumulatorów	55 ÷ 70	chryzotyl
Wypełniacze, wzmocnienia i wyroby z nich produkowane (wojłok, kartony, papier, filtry, kity, kleje, powłoki ochronne itp.)	25 ÷ 98	chryzotyl

ciepło i elektryczność; występuje głównie w Kanadzie (Quebec), Rosji (m.in. Ural, Sajany), USA, RPA, Zimbabwe i na Cyprze; używany do wyrobu tkanin (np. na ubrania ogniotrwałe), okładzin ciemnych szcęk hamulcowych, farb ogniotrwałych, materiałów izolacyjnych, także niepalnych materiałów budowlanych (azbestocementowe płyty).

**Azbesty amfibolowe** (amosytowy, krokidolitowy, antofylitowy, aktyolitowy, tremolitowy) są znacznie mniej rozpowszechnione, występują głównie w RPA, Zimbabwe, Mongolii; ze względu na dużą kwasoodporność używane w przemyśle chemicznym oraz do wyrobu ciśnieniowych rur kanalizacyjnych i wodociągowych.

W Polsce nie występują złoża azbestu nadające się do eksploatacji, natomiast azbest występuje jako zanieczyszczenie złóż innych surowców mineralnych (melafor, gabra, ruda niklu, magnezyt) na Dolnym Śląsku [3].

W latach 70. XX wieku importowano do Polski i przerabiano rocznie na azbestowe wyroby włókiennicze, wyroby azbestowo-cementowe, wyroby cierne i inne około 100 tysięcy ton azbestu, z czego ponad 90% stanowił azbest chryzotylowy. W latach 80. zużycie azbestu spadło do około 60 tysięcy ton, a w roku 1991 wynosiło tylko 30 tysięcy ton [4].

W roku 1985 zaprzestano w Polsce stosowania azbestu krokidolitowego, a w roku 1997 Sejm RP uchwalił ustawę o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest [5]. Zgodnie z tą ustawą, minister gospodarki w porozumieniu z ministrem ochrony środowiska określa corocznie wykaz wyrobów zawierających azbest dopuszczonych do produkcji lub do wprowadzenia na polski obszar celny.

Zasoby azbestów na świecie ocenia się na około 550 milionów ton. Roczne wydobycie azbestów na świecie wynosiło w latach 80. około 4 miliony ton. Wydobycie azbestów, zwłaszcza amfibolowych, ze względu na ich bardzo wysoką potencjalną kancerogenność uległo w ostatnich latach znacznemu obniżeniu.

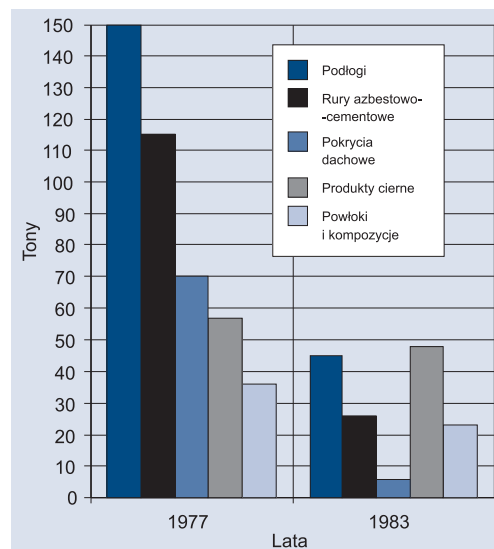
Azbest jest materiałem praktycznie niezniszczalnym, nie ulega bowiem ani degradacji biologicznej, ani termicznej, w związku z czym po wprowadzeniu do środowiska może on pozostawać tam przez dziesiątki, a być może nawet przez setki lat.

Problem zawodowej i pozazawodowej ekspozycji na włókna azbestowe

będzie aktualny przez wiele następnych lat. Azbest jest stosowany w ponad 1000 wyrobach, a najważniejsze zestawiono w tabeli 1.

Obecnie są podejmowane działania mające na celu ograniczenie do minimum lub nawet zaprzestanie produkcji wyrobów zawierających azbest. Na coraz szerszą skalę wprowadza się zamienniki azbestu o podobnych właściwościach, ale o mniejszej szkodliwości dla zdrowia osób narażonych (sztuczne włókna mineralne). Największe trudności sprawia znalezienie zamiennika azbestu nadającego się do stosowania w wysokiej temperaturze, bowiem ognioodporne włókna ceramiczne wykazują działanie podobne do działania azbestów.

Trend wskazujący na ograniczenie głównych zastosowań azbestu w latach 1977 – 1983 przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Trend wskazujący na ograniczenie głównych zastosowań azbestu [7]

Tabela 2  
STĘŻENIA RESPIRABILNYCH WŁÓKIEŃ AZBESTU I STĘŻENIA PYŁU CAŁKOWITEGO NA STANOWISKACH PRACY W ZAKŁADACH PRZERABIAJĄCYCH AZBEST I STOSUJĄCYCH WYROBY AZBESTOWE [8]

Zakłady	Liczba pomiarów	Włókna respirabilne* wł./cm <sup>3</sup>	Pył całkowity* mg/m <sup>3</sup>
Włókienniczo-azbestowe	184	0,32 ÷ 0,43	0,9 ÷ 1,2
Wyrobów ciemnych	189	0,33 ÷ 0,43	1,2 ÷ 1,6
Wyrobów azbestowo-kauczukowych	230	0,09 ÷ 0,12	0,8 ÷ 1,0
Wyrobów azbestowo-cementowych	264	0,06 ÷ 0,09	2,3 ÷ 3,0
Stosujące wyroby azbestowe	65	0,17 ÷ 0,37	2,0 ÷ 3,4

\* 95% przedział ufności

### Narażenie na pyły azbestu

Wyróżnia się trzy rodzaje narażenia na pyły azbestowe, a mianowicie ekspozycję zawodową, parazawodową i ekspozycję populacji generalnej (środowiskową).

**Ekspozycja zawodowa** jest związana z pracą w warunkach narażenia na pył azbestu. Występuje przede wszystkim w kopalniach azbestu i kopalniach innych surowców mineralnych zawierających domieszki azbestu oraz w zakładach produkujących i stosujących wyroby azbestowe. Pomiar poziomu narażenia na pył azbestu przeprowadzone w latach 1986 – 1990 w 13 polskich zakładach produkujących i stosujących wyroby azbestowe wykazały, że najwyższe stężenia włókien respirabilnych występowały w zakładach włókienniczo-azbestowych i zakładach produkujących materiały cierne. Natomiast najwyższe stężenia pyłu całkowitego stwierdzono w zakładach produkujących wyroby azbestowo-cementowe i w zakładach stosujących wyroby azbestowe (tab. 2).

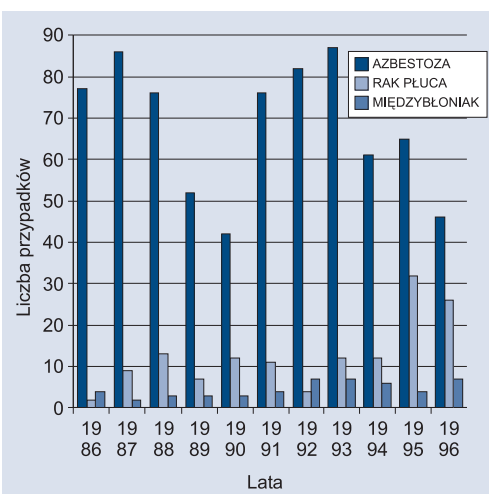
W zakładach produkujących wyroby azbestowo-cementowe na 70% stanowisk pracy stężenia pyłu całkowitego były wyższe od obowiązującej wówczas wartości NDS – 2 mg/m<sup>3</sup>, a na 22% stanowisk stężenia włókien respirabilnych azbestu przekraczały obowiązującą w tym czasie wartość NDS – 2 wł./cm<sup>3</sup>. Najwyższe stężenia pyłu całkowitego zostały stwierdzone na stanowiskach obsługi mieszadła masy azbestowo-cementowej (2,4 ÷ 21,8 mg/m<sup>3</sup>), a najwyższe stężenia włókien azbestowych na stanowisku obsługi gniotowników (1,7 wł./cm<sup>3</sup>). W zakładach azbestowo-włókienniczych najwyższe średnie stężenia włókien respirabilnych (2,25 wł./cm<sup>3</sup>) stwierdzono na stanowisku prądki, na którym 95% osób było ekspozowanych na stężenia przekraczające 0,5 wł./cm<sup>3</sup>. Na pozostałych stanowiskach pracy średnie stężenia kształtowały się w zakresie od 0,06 wł./cm<sup>3</sup> do 0,32 wł./cm<sup>3</sup>. Badania stężeń pyłów włóknistych w zakładach stosujących termoizolacyjne płyty i szczeliwa zawierające azbest wykazały

duże zróżnicowanie stężeń uzależnione od zawartości azbestu w stosowanym wyrobie (tabela 3).

Również prace w warsztatach samochodowych na stanowiskach wymiany szcęk hamulcowych i tarcz sprzęgłowych, prace na stanowiskach wykrawania i wymiany uszczelek z tektury azbestowej lub azbestogumy stanowią źródło narażenia zawodowego na pyły azbestu. Poważne zagrożenie zdrowia może się także wiązać z pracami polegającymi na usuwaniu wyrobów i materiałów zawierających azbest, nagromadzonych w budynkach przemysłowych i użyteczności publicznej oraz utylizacją powstających przy tym odpadów niebezpiecznych.

Tabela 3  
STĘŻENIA RESPIRABILNYCH WŁÓKIEŃ MINERALNYCH W ZAKŁADACH STOSUJĄCYCH WYROBY AZBESTOWE (REMONT WÓZKÓW PIECOWYCH) [9]

Zakłady ceramiki stolowej i materiałów ogniotrwałych	Stosowane materiały azbestowe	Średnie stężenie włókien respirabilnych wł./cm <sup>3</sup>
I	Płyta z tektury azbestowej, szczeliwo azbestowe	2,026
II	Płyta z włókna ceramicznego, szczeliwo azbestowo-szkłane	0,291
III	Płyta karborundowa, szczeliwo azbestowo-szkłane	0,323
IV	Płyta eternitowa, szczeliwo azbestowe	0,260
V	Płyta karborundowa, szczeliwo azbestowe	0,809
VI Zakład materiałów ogniotrwałych	Płyta azbestowa, szczeliwo azbestowe	2,702



Rys. 2. Azbestozależne choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w latach 1986-1996

Ekspozycja parawodowa dotyczy mieszkańców terenów sąsiadujących z kopalniami i zakładami przetwarzającymi azbest oraz rodzin pracowników tych zakładów. Pomiar przeprowadzone w mieszkaniach pracowników zakładów wydobywających i przerabiających azbest wykazały podwyższone stężenie włókien azbestu spowodowane przeniesieniem pyłu azbestowego na ubraniach, butach i we włosach.

Głównymi następstwami ekspozycji zawodowej są choroby zawodowe (pylica azbestowa, międzybłoniak płucnej i rak płuca). Na rys. 2. przedstawiono azbestozależne choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w latach 1986 – 1996 (dane IMP im. J. Nofera w Łodzi).

Ekspozycja populacji generalnej jest związana z występowaniem azbestu w powietrzu atmosferycznym, wodzie pitnej i artykułach spożywczych. Pomiar stężeń pyłu azbestu w środowisku komunalnym wykazują stosunkowo niskie poziomy zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego włóknami azbestu, które wynoszą na terenach wiejskich poniżej 1,0 wł./dm<sup>3</sup>, a na terenach miejskich 1,0 ÷ 10 wł./dm<sup>3</sup> [6].

Pomiary stężeń włókien respirabilnych przeprowadzone na osiedlowym placu zabaw wysypanym materiałem zawierającym domieszki azbestu wykazały zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego od 165 ÷ 540 wł./dm<sup>3</sup> w zależności od liczby bawiących się dzieci, a w mieszkaniu sąsiadującym z placem zabaw 11,1 wł./dm<sup>3</sup>, podczas gdy stężenie na skrzyżowaniu o dużym natężeniu ruchu samochodowego wynosiło od 0,6 ÷ 1,4 wł./dm<sup>3</sup> [9].

Azbest jest wprowadzany do wody ze skał, rud, minerałów i gleb zanieczyszczonych azbestem, ze ścieków przemysłowych, zanieczyszczeń atmosferycznych i rur azbestowo-cementowych. Występowanie azbestu w wodzie pitnej została po raz pierwszy stwierdzona w Kanadzie w roku 1971, a następnie w USA, Niemczech i Wielkiej Brytanii. Sądzi się, że większość mieszkańców tych krajów spożywa wodę o zawartości włókien azbestowych poniżej 1,0 · 10<sup>6</sup> wł./dm<sup>3</sup>. Zanieczyszczenie innych produktów spożywczych jest mało zbadane. Artykuły żywnościowe, które zawierają cząstki gleby, pyłu lub brudu, prawie z całą pewnością zawierają włókna azbestowe. Artykuły spożywcze mogą zawierać azbest pochodzący z wody lub talku, który jest używany do polerowania ryżu oraz w prasowanych artykułach żywnościowych.

## Mechanizmy biologicznego działania pyłów azbestowych

O ile wielostronne możliwości wykorzystania azbestu znane są już od czasów starożytnych (ceramika azbestowa w Finlandii, tkaniny azbestowe w Grecji), o tyle szkodliwe dla zdrowia właściwości azbestu zostały rozpoznane dopiero na początku ubiegłego stulecia. Pierwsze podjęcia patologów, że azbest może być szkodliwy pochodzą z lat 1900 – 1906 i zostały odnotowane w Anglii i we Francji.

Termin „azbestoza” pojawił się po raz pierwszy w roku 1927. Z badań brytyjskich przeprowadzonych w latach 50. XX wieku wynika, że u pracowników przemysłu azbestowego ryzyko rozwoju raka oskrzeli jest znacznie większe niż w populacji osób nie narażonych na wdychanie azbestu, oraz że normalnie rzadko występujące międzybłoniaki płucnej i otrzewnej są również związane z ekspozycją na azbest.

Azbest może wnikać do organizmu wyłącznie przez drogi oddechowe i w niewielkim stopniu przez skórę, ale zjawiska depozycji, retencji, translokacji i usuwania pyłu z organizmu są powodem, że szkodliwe działanie azbestu może się ujawniać nawet w odległych od układu oddechowego narządach i tkankach. Po epidemiologicznym udowodnieniu związków pomiędzy ekspozycją i schorzeniami wywołanymi przez azbest, wyjaśnienie patomechanizmów tych schorzeń przypadło badaniom eksperymentalnym na zwierzętach, których głównym celem było ustalenie parametrów odgrywających istotną rolę w procesach chorobowych wywoływanych przez azbest.

Uzyskanie odpowiedzi na te pytania wydawało się trudne, gdyż dotychczasowe wyniki badań epidemiologicznych były niejednoznaczne, a niekiedy sprzeczne. I tak, częstotliwości występowania nowotworów różniły się znacznie w zależności od rodzaju stanowiska pracy i rodzaju azbestu. Dlatego też uznano początkowo, że wiele typowych dla azbestu właściwości, jak również wynikające z nich drugorzędne skutki biologiczne mogą być wyjaśnieniem fibrogennego i kancerogennego działania azbestu. Początkowo uważano, że najważniejszym czynnikiem w rozwoju pylicy azbestowej może być zawartość krzemionki w pyłe, która na drodze czysto chemicznej stymuluje produkcję kolagenu w płucach.



Chociaż obecnie większość tych wyjaśnień utraciła na znaczeniu, to należy zaznaczyć, że nie mogą one być całkowicie pomijane. Zainteresowanie badaczy skierowało się jednak szybko na rozmiary i kształt cząstek pyłu azbestowego.

Ostateczne badania doświadczalne potwierdziły, że im włókna azbestowe są dłuższe, tym są bardziej niebezpieczne zarówno ze względu na rozwój pylicy azbestowej, jak i na rozwój nowotworów. Wskazano także na znaczenie średnicy włókien, okazało się bowiem, że włókna cienkie  $< 2,5 \mu\text{m}$  są szczególnie groźne. Rozmiary włókien stały się więc punktem wyjściowym do wyjaśnienia patologicznego, a zwłaszcza nowotworowego działania azbestu.

Już w doniesieniach z lat 1965 – 1975 wskazywano na to, że określone rodzaje komórek, które w ciągu dziesiątków lat ulegają długotrwałym mikrourazom powodowanym przez „igły” azbestowe zaczynają się w końcu rozmnażać w sposób niekontrolowany, co prowadzi do powstania nowotworu. Przypuszczenie to opiera się w zasadzie na sformułowanej przez Virchoffa teorii, w której drażnienie jest niezbędnym czynnikiem do rozwoju nowotworu. Wśród innych możliwych przyczyn kancerogenności pyłów azbestowych należy wymienić:

- działanie na układy immunologiczne
- zawartość metali związanych chemicznie w cząsteczce azbestu (Mg, Fe, Na, Ni, Co)
- zanieczyszczenia kancerogennymi metalami (Fe, Ni, Co, Cr)
- adsorpcję i przenoszenie substancji organicznych (BaP)
- hamowanie aktywności niektórych enzymów (BaP – hydroksylazy)
- włóknienie płuc (nowotwory wychodzące z blizn).

Wyniki badań doświadczalnych przemawiają najmocniej za pierwszą z wymienionych teorii, wg której wydłużony kształt cząstki pyłu azbestowego jest czynnikiem kancerogennym. W latach siedemdziesiątych ukazały się dalsze publikacje autorów amerykańskich, angielskich i niemieckich, z których jasno wynika, że cienkie włókna szklane i inne włókna nie azbestowe, po dootrzewnej lub doopłucnowej aplikacji prowadzą w zasadzie tak samo jak azbest do rozwoju nowotworów u szczurów. Przeciwnie, pyły ziarniste o składzie chemicznym zbliżonym do składu chemicznego azbestów nie wywołują nowotworów lub nowotwory są bardzo nieliczne.

W ciągu ostatnich 25 lat wyniki badań eksperymentalnych z lat 70. zostały wielokrotnie potwierdzone i pogłębione tak, że w stosunku do przyczyny aktywności kancerogennej azbestu powszechnie uznane poglądy można przedstawić następująco:

Respirabilne włókna pyłu azbestowego zawierają swoisty czynnik, nie stwierdzony dotąd w innych substancjach kancerogennych, który jest w stanie dać początkowy bodziec w kierunku indukcji procesu nowotworowego. Czynnik ten jest związany z wydłużonym kształtem cząstki, a więc z kształtem typu „włókno lub igła”. Dlatego też włókna należy traktować jako fizyczny czynnik kancerogenny. Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że fakt ten absolutnie nie wyklucza udziału innych właściwości azbestu w rozwoju procesu nowotworowego.

Na temat mechanizmu działania prowadzącego do rozwoju nowotworu nie ma jednak dotychczas całkowitej jasności. Być może, że długie włókna są fagocytowane tylko częściowo, dzięki czemu z fagocytujących komórek następuje wyciek enzymów cytoplazmatycznych i lizosomalnych, którym tłumaczy się zwiększoną przepuszczalność błon komórkowych fagocytujących makrofagów.

Długie włókna wywołują ten efekt prawdopodobnie nie przez podejrzewany od dawna mikrouraz powodowany ostrymi końcami, lecz raczej przez swoją długość lub powierzchnię umożliwiającą „wyciek” enzymów i wolnych rodników z komórek, powodując samostrawienie komórek lub peroksydację błon komórkowych. Oczywiście, wywołane przez włókno chemiczne zaburzenie wymiany lub przemiany materii komórki nie tłumaczy jeszcze, jak następuje transformacja komórki normalnej do komórki nowotworowej. Jednakże ta hipoteza daje wyjaśnienie znacznego synergizmu w działaniu włókien i dymu tytoniowego. Bowiem uszkodzenie błony komórkowej to nie tylko możliwość ucieczki enzymów z komórki, lecz także możliwość wnikania szkodliwych substancji obcych do komórki, a więc także chemicznych kancerogenów zawartych w dymie tytoniowym. Stwierdzenie silniejszego działania długich włókien, zarówno pod względem rozwoju tkanki łącznej, jak i częstotliwości występowania guzów nowotworowych spowodowała, że zaczęto się zastanawiać nad tym, jaką



Fot. 1. Pobieranie próbki powietrza za pomocą aspiratora indywidualnego, podczas usuwania osłon balkonowych z eternitu. □ Kasetka z filtrem zbierającym pyły

długość musi mieć włókno, aby mogło być włóknem kancerogennym, a przy tym jaka powinna być jego maksymalna grubość. Na to pytanie, w pierwszej połowie lat siedemdziesiątych, różni autorzy udzielili różnych odpowiedzi. W odniesieniu do długości włókien szacunkowe dane wynoszą od 3 do 20  $\mu\text{m}$ , a w odniesieniu do średnicy włókien – od 0,5 do 2,5  $\mu\text{m}$ .

Według badań przeprowadzonych w Niemczech w latach 70., maksymalną kancerogenność wykazują włókna o średnicy 0,1  $\mu\text{m}$ . Kancerogenność maleje następnie wraz ze wzrostem średnicy i przy około 2,0  $\mu\text{m}$  osiąga wartość bliską zera. W odniesieniu do długości włókien, kancerogenne właściwości włókien można już zaobserwować przy długości 2  $\mu\text{m}$  i osiągają one swoje maksimum przy 20  $\mu\text{m}$ . Włókna o średnicy poniżej 0,25  $\mu\text{m}$  i długości powyżej 8  $\mu\text{m}$  korelowały najlepiej z częstotliwością nowotworów. Korelacja stawała się natomiast słabsza wraz z tym, jak włókna stawały się grubsze i krótsze. Tym niemniej należy podkreślić, że nie można wykluczyć kancerogennego działania włókien krótkich ( $< 5 \mu\text{m}$ ), chociaż jest ono słabe. Chociaż włóknisty kształt cząstek pyłów azbestowych musi być obecnie uznany za czynnik kancerogenny, to należy podkreślić, że istnieją także inne czynniki wpływające na kancerogenność tych pyłów. Do najważniejszych należy wymiar dynamiczny włókna, który determinuje miejsce osadzania się (depozycji) pyłu w układzie oddechowym, jak również skuteczność osadzania oraz trwałość włókien w tkance.

Chryzotyl ulega tylko częściowemu rozpuszczeniu w płynach fizjologicznych,

dotyczy to zwłaszcza ubytku magnezu. W eksperymencie na zwierzętach chryzotyl traktowany kwasem solnym, a więc praktycznie pozbawiony magnezu, okazał się o wiele mniej kancerogenny od azbestu nie trawionego kwasem. Fakt ten interpretuje się w ten sposób, że również właściwości chemiczne włókien mają swój udział w kancerogenności azbestów.

W odróżnieniu od chryzotylu, krokidolit prawie nie ulega zmianom w środowiskach biologicznych. Względnie wysoką częstotliwość międzybłoniaków wśród pracowników narażonych na krokidolit można by więc tłumaczyć większą trwałością tych włókien w organizmie.

### Ryzyko zdrowotne dla osób narażonych na pył azbestu

Skutki zdrowotne obserwowane u osób narażonych na pył azbestu są wynikiem wnikania (wdychania) do układu oddechowego włókien azbestu zawieszonych w powietrzu. Wchłanianie azbestu drogą pokarmową i przez skórę ma nieznaczący wpływ na rozwój chorób wywołanych przez azbest. Na występowanie i typ zmian patologicznych wpływa rodzaj azbestu, rozmiary włókien i ich stężenie w powietrzu oraz czas narażenia i rodzaj ekspozycji.

Narażenie zawodowe na pył azbestu może być przyczyną pylicy azbestowej (azbestozy), zmian opłucnowych, raka płuca oraz międzybłoniaków opłucnej i otrzewnej.

Tabela 4  
RYZYKO RAKA PŁUCA U OSÓB NARAŻONYCH NA PYŁ AZBESTU CHRYZOTYLOWEGO (0,2 wł./cm<sup>3</sup>) W ZALEŻNOŚCI OD CZASU NARAŻENIA I NAWYKU PALENIA TYTONIU [10]

Czas narażenia, lata	Ryzyko raka płuca, osoby palące	Ryzyko raka płuca, osoby niepalące
10	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-4}$
20	$2,4 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-4}$
30	$3,6 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-4}$
40	$4,8 \times 10^{-3}$	$4,8 \times 10^{-4}$

W przypadku ekspozycji parawodowej i środowiskowej na pył azbestu w zależności od poziomu ekspozycji możliwy jest wzrost ryzyka raka płuca, chociaż głównym skutkiem zdrowotnym, który należy brać pod uwagę, jest międzybłoniak opłucnej.

Istnieją badania doświadczalne, kliniczne i epidemiologiczne sugerujące, że z narażeniem na pył azbestu może

być związane zwiększone ryzyko rozwoju nowotworów krtani, żołądka, okrężnicy, jajników oraz innych tkanek i narządów. Jednak zwiększone ryzyko tych nowotworów nie jest dotąd dostatecznie udokumentowane.

Wszystkie choroby wywołane przez pył azbestu charakteryzują się długimi okresami czasu pomiędzy pierwszym narażeniem a ujawnieniem się zmian patologicznych, okresy te wynoszą najczęściej 15 – 25 lat w przypadku pylicy azbestowej i 20 – 40 lat w przypadku nowotworów. Oznacza to, że obserwowane obecnie skutki są rezultatem warunków narażenia jakie panowały przed kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu latami.

**Pylica azbestowa** (azbestoza) jest śródmiąższowym patologicznym zwłóknieniem tkanki płucnej, charakteryzującym się występowaniem tzw. ciałek azbestowych lub włókien azbestowych. Proces zwłóknienia jest procesem przewlekłym, który jest kontynuowany nawet po ustaniu narażenia. Schorzenie to obserwowane jest tylko w warunkach narażenia zawodowego, przy stężeniach włókien azbestu przekraczających wartości dopuszczalne.

**Zmiany opłucnowe** wywołane pyłem azbestu mają postać blaszek, zgrubień i odczynów wysiękowych, towarzyszących procesom zwłóknienia tkanki płucnej.

**Rak płuca** jest najczęściej występującym nowotworem złośliwym wywołanym na ogół w warunkach narażenia zawodowego przez wszystkie rodzaje azbestu. Ryzyko raka płuca jest jednak bardzo zróżnicowane i zależy przede wszystkim od rodzaju azbestu, charakterystyki wymiarowej włókien, stężenia włókien, okresu narażenia i nawyku palenia tytoniu.

W tabeli 4. przedstawiono oszacowanie ryzyka raka płuca u osób narażonych na pył azbestu chryzotylowego o stężeniu 0,2 wł./cm<sup>3</sup> (wartość NDS) w zależności od czasu narażenia i nawyku palenia tytoniu.

Jeżeli przyjąć akceptowalne ryzyko nowotworowe podczas całego życia (70 lat) na poziomie  $10^{-4} \div 10^{-3}$ , to z tabeli tej wynika, że w granicach ryzyka akceptowalnego mieszczą się osoby niepalące i narażone nawet przez 40 lat. Można także przyjąć, że w granicach ryzyka akceptowalnego mieszczą się osoby palące, ale narażone na pył azbestu chryzotylowego przez mniej niż 10 lat. Przekroczenie stężenia włókien azbestu powyżej poziomu dopuszczalnego powoduje proporcjonalny wzrost ryzyka.

**Międzybłoniak opłucnej** jest nowotworem złośliwym występującym niezmiernie rzadko w populacji nie narażonej na pył azbestu. Międzybłoniak może się rozwinąć w warunkach ekspozycji zawodowej, parawodowej i środowiskowej, a ryzyko jego rozwoju zależy od rodzaju azbestu i przede wszystkim od czasu jaki upłynął od pierwszego narażenia. Okazało się, że w etiologii międzybłoniaka główną rolę odgrywa azbest krokidolity, amosytowy i tremolity. Rola azbestu chryzotylowego nie jest do końca wyjaśniona, ponieważ obserwowane przypadki tego nowotworu w populacjach narażonych na azbest chryzotylowy przypisuje się często zanieczyszczeniom przez azbesty amfibolowe. W Polsce, w latach 1986 – 1996 odnotowano 51 przypadków międzybłoniaków opłucnej uznanych za chorobę zawodową [4]. Przypadki te stanowiły 2,4% ogólnej liczby międzybłoniaków opłucnej rozpoznanych w tym czasie w populacji generalnej. Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że znaczna część tych przypadków miała związek z parawodową lub środowiskową ekspozycją na azbest.

#### PIŚMIENNICTWO

- [1] Jones J.S.P. et al. *Biological effects of mineral fibres*. IARC Scientific Publication. Lyon 1980 No 30, 187-199
- [2] Steenland K., Loomis D., Shy C., Simonsen N. *Review of occupational lung carcinogenesis*. Am. J. Ind. Med. 1996, 29, 474-490
- [3] Lis J., Sylwestrzak A. *Mineralny Dolnego Śląska*. Wyd. Geol. Warszawa 1986
- [4] Szeszenia-Dąbrowska N., Siuta J. *Azbest w środowisku*. Wyd. IMP Łódź 1998
- [5] Ustawa z dnia 19 czerwca 1997 r. o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest. DzU nr 101, poz. 628
- [6] *Azbest i inne naturalne włókna mineralne. Kryteria zdrowotne środowiska*. Tom 53. PZWL 1990
- [7] Clifton R.A. *Asbestos*. W: Mineral facts and problems. Washington DC, US Department of the Interior. (Bureau of Mines Bulletin No 675) 1985
- [8] Stroszejn-Mrowca G., Szczepaniak M., Więcek E. *Ekspozycja zawodowa na pyły zawierające azbest w zakładach produkujących i stosujących azbest w latach 1986-1989*. „Medycyna Pracy” 42, 1991, s.343-397
- [9] Woźniak H., Więcek E., Hanke W., Szymczak W. *Azbest. Wytyczne szacowania ryzyka zdrowotnego dla czynników rakotwórczych*. Zeszyt 5. Wyd. IMP Łódź 1997
- [10] Więcek E., Woźniak H. *Dokumentacja wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń w środowisku pracy. Pyły zawierające azbest*. „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy”. 3 (41) 2004 (w druku)
- [11] *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*. D. Koradecka (red. nauk.) CIOP, Warszawa 1999
- [12] *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne*. CIOP-PIB, Warszawa 2003