

Helena Woźniak¹
Edward Więcek¹
Grażyna Bielichowska-Cybula¹
Barbara Opalska²

NARAŻENIE NA PYŁ ORAZ RYZYKO NOWOTWOROWE ZWIĄZANE Z WYDOBYCIEM I PRZEROBEM AMFIBOLITU*

DUST EXPOSURE AND CANCER RISK ASSOCIATED WITH AMPHIBOLITE MINING AND PROCESSING

¹ Z Zakładu Zagrożeń Chemicznych i Pyłowych

Pracownia Aerozoli i Mikroklimatu

Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

Kierownik zakładu: prof. dr hab. M. Jakubowski

² Z Zakładu Patomorfologii

Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

Kierownik zakładu: dr hab. med. J. Stetkiewicz

STRESZCZENIE Z wydobyciem i przerobem amfibolitu związane jest narażenie pracowników na pył, charakteryzujący się obecnością domieszek minerałów azbestowych (aktynolit, tremolit) oraz obecnością włókien respirabilnych czyli cząstek o długości powyżej 5 µm i średnicy poniżej 3 µm (stosunek długości do średnicy cząstek powyżej 3 : 1). Taki pył jak wynika z badań epidemiologicznych i doświadczalnych może być przyczyną rozwoju nowotworów u osób narażonych. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów stężenia pyłu całkowitego, respirabilnego, włókien respirabilnych oraz skład fazowy próbek pobranych w zakładzie wydobywającym i przerabiającym skałę amfibolową. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono narażenie skumulowane pracowników dla 10-, 20- i 30-letniego okresu narażenia. Narażenie skumulowane kształtowało się w dwóch przedziałach: 0,1–1,0 w/cm³ • lata i 1,0–10,0 w/cm³. Przyjmując potencjał kancerogenny dla włókien amfibolitowych przypadający na jednostkę narażenia skumulowanego taki, jak dla azbestu amosytowego, wynoszący w zależności od narażenia skumulowanego 15 • 10⁻⁵ i 90 • 10⁻⁵ (Hodgson i Darnton) obliczono ryzyko dodatkowych zgonów z powodu międzybłoniaków w założeniu, że pierwsza ekspozycja na włókna następuje w wieku 30 lat. Stwierdzono, że wydobycie i przerób amfibolitu stwarzają podwyższone 10–24 razy ryzyko zgonów z powodu międzybłoniaków w stosunku do ryzyka akceptowalnego (1 • 10⁻⁴) na wszystkich stanowiskach pracy po 20- i 30-letnim okresie narażenia z wyjątkiem warsztatów remontowych i 20 letniego okresu narażenia i pracowników administracji. Ryzyko dodatkowe zgonów na raka płuca było niewielkie (poniżej 1 • 10⁻⁴) dla wszystkich stanowisk i okresów narażenia. Med. Pr. 2001; 52; 6; 437–443

SŁOWA KLUCZOWE: amfibolit, narażenie skumulowane, międzybłoniaki, szacowanie ryzyka nowotworowego

ABSTRACT Mining and processing of amphibolite is associated with workers' exposure to dust containing asbestos minerals (actinolite, tremolite) and with the presence of respirable fibers, i.e. small particles above 5 µm long and below 3 µm in diameter (with length-to-diameter ratio higher than 3:1). Results of epidemiological and laboratory studies show that such dust may be responsible for the development of cancer in dust-exposed people. This work reports the measurement results of concentrations of total dust, respirable fibers and mineral composition of samples collected in plant mining and processing amphibolite rock. Based on the results, cumulated exposure was calculated for the 10-, 20- and 30-year exposure periods. The cumulated exposure was classified into two categories: 0.1–1.0 f/cm³ years and 1.0–10 f/cm³ • years. It has been found that mining and processing of amphibolite is associated with increased risk of death from mesothelioma – 11.2 • 10⁻⁵ (crushers – 10 years of exposure) to 240.0 • 10⁻⁵ (miners – 30 years of exposure). The risk of excessive mortality from lung cancer was not high (below 1 • 10⁻⁴) for all workplaces and periods of exposure. Med Pr 2001; 52; 6; 437–443

KEY WORDS: amphibolite, cumulated exposure, mesothelioma, cancer risk assessment

WSTĘP

Amfibolity związane są z utworami metamorfiku sudeckiego. Występują dość powszechnie w Górach Sowich, Bystrzyckich i Orlickich w regionie Łądko-Śnieżnika. W południowo-wschodniej osłonie masywu granitowego Karkonoszy, w rejonie Sobótki i w osłonie masywu Strzelin-Żułowa genetycznie wyróżnia się orto i paraamfibolity. Za ortoamfibolity uważa się amfibolity licznie występujące w młodszym metamorfiku kłodzkim. Wyróżnia się odmiany gruboziarniste (gabroamfibolity) oraz drobnoziarniste, powstałe prawdopodobnie przez metamorfozę diabazów. Ortoamfibolity są ciemne, prawie czarne, masywne lub złupkowane o teksturach kierunkowych lub bezładnych. Głównymi ich składnikami

mi mineralnymi są hornblenda i zasadowy plagioklaz. Do paraamfibolitów zalicza się amfibolity występujące w okolicach Kamienia Żąbkowickiego, mają barwę ciemnozieloną oraz wyraźną płytkowatą łupliwość.

W południowo-wschodniej osłonie granitu karkonoskiego amfibolity występują w formie wąskich pasm o długości do kilku kilometrów, charakteryzują się zmiennym składem mineralnym i występowaniem licznych odmian, a mianowicie hornblendowa, hornblendowo-tremolitowa, tremolitowo-epidotowa, hornblendowa i aktynolitowa.

Rozpoznane złoża amfibolitów znajdują się w okolicy Ogorzelca, Leszczyńca, Rędzin, Raszowa, Szarocina, Wieściszowic, w okolicach Bystrzycy Kłodzkiej, Kłodzka, Dzierżonowa i Sobótki. (1). Aktualnie wydobycie i przerób amfibolitu prowadzi się w okolicach Ogorzelca.

Wydobycie amfibolitu prowadzone jest metodą odkrywkową, w eksploatowanym wyrobisku, po nawierceniu ot-

* Praca wykonana w ramach Programu Wieloletniego pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowywanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1998–2001. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy. Zadanie nr SPR 04.10.46 pt. „Ocena narażenia zawodowego na azbestowe i azbestopodobne włókna mineralne w kopalniach odkrywkowych surowców skalnych Dolnego Śląska”. Kierownik zadania: dr hab. E. Więcek.

worów strzałowych i wypełnieniu ich materiałem wybuchowym następuje odstrzelenie skały i jej wstępne kruszenie. Następnie wydobyty surowiec transportowany jest do znajdującego się w pobliżu zakładu przerobczego, w którym w urządzeniach krusząco-sortujących produkowane jest z wydobytej skały kruszywo o określonej granulacji. W zakładzie zatrudnionych jest około 40 osób, praca odbywa się w systemie 3-zmianowym.

Kruszywa amfibolitowe stanowią surowiec w budownictwie drogowym (do produkcji asfaltów, asfaltobetonów, mikrodrywanów do utrwalania powierzchniowego) oraz do produkcji betonów wysokich marek.

Problem ekspozycji zawodowej na włóknisty pył mineralny powstający w trakcie wydobywania i przerobu surowców mineralnych na Dolnym Śląsku stanowi od szeregu lat przedmiot badań prowadzonych w Instytucie Medycyny Pracy w Łodzi (2,3,4).

Z przeprowadzonych dotychczas badań wynika, że na stanowiskach pracy wielu kopalń surowców mineralnych na Dolnym Śląsku stężenie respirabilnych włókien mineralnych znacznie przewyższało wartości dopuszczalne (2). W doświadczeniu na zwierzętach próby pyłu pobrane z tych kopalń spowodowały rozwój międzybłoniaków otrzewnej (5).

Celem niniejszych badań była ocena narażenia zawodowego pracowników zatrudnionych przy wydobywaniu i przerobieniu amfibolitu na pył zawierający domieszki minerałów azbestowych.

Do realizacji założonego celu wykonano na wszystkich stanowiskach pracy w zakładzie wydobywania i przerobu amfibolitu pomiary stężeń pyłu całkowitego, respirabilnego, respirabilnych włókien mineralnych oraz badania morfologii cząstek pyłu. Na jednym stanowisku pracy wykonano także pomiary stężenia frakcji wymiarowych pyłu. Identyfikację faz krystalicznych oraz oznaczenie zawartości SiO_2 wykonano w próbach skał, próbach produktu gotowego oraz w pyle opadowym.

MATERIAŁ I METODY

Pomiary stężenia pyłu całkowitego metodą dozymetrii indywidualnej

Próby pyłu do oznaczeń stężenia pyłu całkowitego pobierano za pomocą pyłomierzy indywidualnych AFC-123 (firmy Casella) na filtr membranowy (firmy Sartorius) o średnicy por 8 μm . Natężenie strumienia objętości powietrza przez filtr było równe 1,9 l/min., czas poboru prób wynosił co najmniej 4 godz., czyli połowę zmiany roboczej (PN-91/Z-04030/05) (6).

Pomiary stężenia pyłu respirabilnego na stanowiskach pracy

Pomiary stężenia frakcji respirabilnej pyłu wykonano metodą filtracyjno-wagową. Próby powietrza pobierano za pomocą pyłomierzy indywidualnych AFC-123 (firmy Casella), których głowice pomiarowe były wyposażone w selektor wstępny (cyklon). Jako materiału filtracyjnego używano filtry membranowe (firmy Sartorius) o średnicy por 8 μm . Natężenie

strumienia objętości powietrza przez filtr było równe 1,9 l/min. Czas poboru prób wynosił 6 godz. (PN-91/Z/0403/06) (7).

Pomiary stężenia respirabilnych włókien mineralnych

Pomiary stężenia respirabilnych włókien mineralnych przeprowadzono metodą mikroskopowo-liczbową z zastosowaniem mikroskopu wyposażonego w urządzenie do kontrastu fazowego. Próby powietrza pobierano za pomocą pyłomierzy indywidualnych AFC-123 (firmy Casella) na filtr (firmy Sartorius) o średnicy por 0,8 μm . Natężenie strumienia objętości powietrza przez filtr było równe 1 l/min. Po uprzeczyczeniu filtrów, zliczano w mikroskopie świetlnym, wyposażonym w siatkę okularową Walton-Becketta, respirabilne włókna mineralne w 100 losowo wybranych polach widzenia (PN-88/Z-040202/02) (8). Rozkład długości mineralnych cząstek włóknistych na wybranych stanowiskach pracy wykonano za pomocą laserowego miernika Fiber Monitor 7400.

Badanie morfologii cząstek pyłu

Próby pyłu pobrane na filtr membranowy z powietrza stanowiska pracy badano w transmisyjnym mikroskopie elektronowym TEM-100C (firmy JEOL). W tym celu próby pyłu наносzono na siatki miedziane (stosowane w rutynowej diagnostyce mikroskopowo-elektronowej), pokryte błoną formwarową. Siatki z naniesioną warstwą pyłu napyłano węglem w napyłarce. Przygotowane w ten sposób próbki badanego pyłu oceniano i fotografowano w mikroskopie elektronowym.

Pomiary stężenia frakcji wymiarowych pyłu

Pomiary stężenia 5 frakcji wymiarowych pyłu, wnikaających do różnych odcinków układu oddechowego, wykonano za pomocą miernika GRIMM 1.105. Zastosowanie miernika umożliwiło określenie zgodnie z zaleceniami Europejskiego Komitetu Normalizacji (CEN norma EN 481) (9) procentowego udziału w pyle wdychalnym następujących frakcji:

- frakcja ekstratorakalna (frakcja wnikająca w obręb głowy i nieprzenikająca przez krtań),
- frakcja torakalna (frakcja wnikająca w obręb klatki piersiowej),
- frakcja tchawiczo-oskrzelowa (frakcja wnikająca w obręb klatki piersiowej, ale niewnikająca do pęcherzyków płucnych),
- frakcja respirabilna (frakcja cząstek wnikająca do pęcherzyków płucnych).

Badanie składu mineralnego pyłu

Analizę dyfraktometryczną próbek pyłu wykonano za pomocą dyfraktometru D-5005 firmy Siemens, wyposażonego w goniometr, licznik scytylacyjny, lampę rentgenowską z antykatafordą miedzianą i filtrem niklowym, emitującą promieniowanie o długości fali $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$. Lampa pracowała pod napięciem 40 kV i przy natężeniu prądu 30 mA. Z prób pyłu wykonano dyfraktogramy w zakresie kątów ugięcia 2θ 5-70⁰ następnie dokonano identyfikacji składu fazowego wykorzystując program DIFFRAC^{plus}.

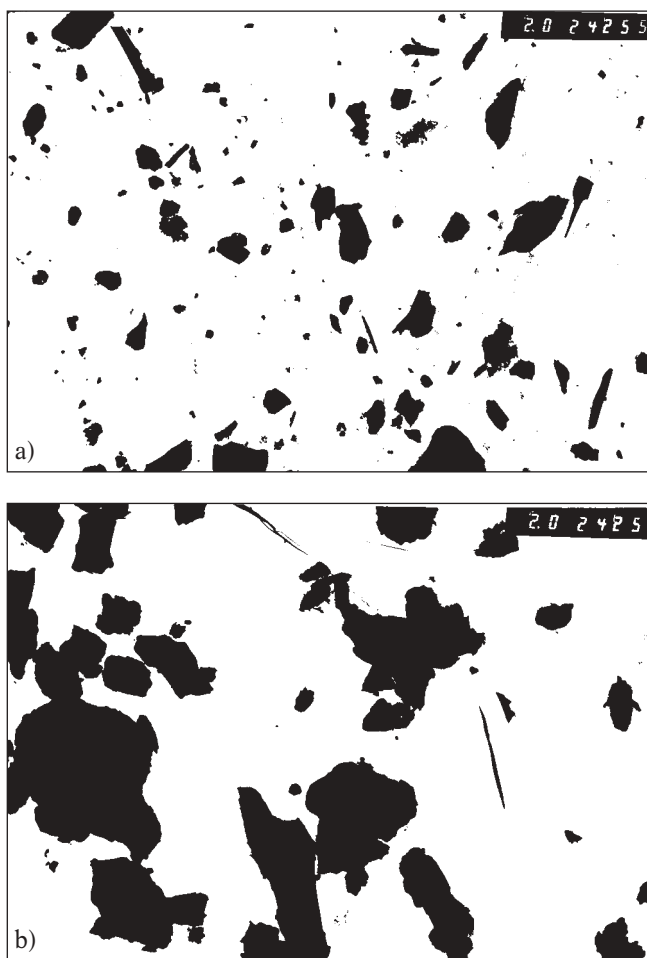
Oznaczanie wolnej krystalicznej krzemionki w pyłe

Zawartość wolnej krystalicznej krzemionki w pyłe pobranym z powietrza na filtr lub w pyłe opadowym oznaczono metodą kolorymetryczną zgodnie z Polską Normą PN-91/Z-04018/04 (10).

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

W tabeli I zamieszczono wyniki uzyskane z badań składu fazowego prób pyłu, pobranych w opalni amfibolitu. Jak wynika z danych zawartych w tabeli I analizowane próby pyłu zawierały domieszki azbestów amfibolowych – aktynolit lub tremolit. Poza minerałami z grupy amfiboli w badanych próbach stwierdzono obecność albitu, klinochloru, kwarcu i oligoklaz. Zawartość wolnej krystalicznej krzemionki w badanych próbach pyłu zawierała się od 3,5 do 10,5%. Jedną próbę przygotowaną z kilku odłamków skał została przekazana do analizy w laboratorium firmy Siemens, laboratorium potwierdziło obecność aktynolitu w próbce. Badania w mikroskopie świetlnym i transmisyjnym mikroskopie elektronowym prób pyłu, pobranych z powietrza stanowisk pracy, potwierdziły obecność cząstek o pokroju włóknistym. Obraz prób pyłu analizowanych w transmisyjnym mikroskopie elektronowym ilustruje ryc. 1.

Wyniki pomiarów stężeń pyłu na stanowiskach pracy w kopalni i w zakładzie przerobu amfibolitu zamieszczono w tabeli II. Pomiary stężeń pyłu wykonano na wszystkich stanowiskach pracy, związanych z wydobywaniem i przerobem amfibolitu. Na stanowiskach pracy wykonano od 2 do 16 pomiarów stężeń pyłu całkowitego i respirabilnych włókien mineralnych i od 2 do 4 pomiarów stężeń frakcji respirabilnej pyłu. Stężenia pyłu całkowitego wahały się od 0,2 mg/m³ (pomieszczenia administracyjne, dozór) do 59,6 mg/m³ na stanowisku wiertaczy strzałowych, stężenia frakcji respirabilnej zawierały się od 0,1 mg/m³ (na wszystkich badanych stanowiskach) do 0,4 mg/m³ na stanowisku wiertaczy strzałowych, stężenia respirabilnych włókien mineralnych wahały się od 0,03 wł/cm³ do 1,01 wł/cm³ na stanowisku w kopalni amfibolitu (wiertacze strzałowi). Na stanowisku operatora



Ryc. 1. Obraz z transmisyjnego mikroskopu elektronowego prób pyłu pobranych podczas remontu urządzeń krusząco-sortujących w kopalni amfibolitu (pow. 4000x): a) naprawa części urządzenia w warsztacie; b) naprawa na stanowisku pracy urządzenia, widoczne cząstki o strukturze włóknistej.

Fig. 1. Transmission electron microscope picture of dust samples collected during maintenance of the crushing/sorting range in the amphibolite mine (x4000 magn.): a) repair of range elements in the workshop; b) field repair; visible fibrous particles.

Tabela I. Zawartość faz krystalicznych w próbkach pyłu pobranych w zakładzie wydobywania i przerobu amfibolitu

Table I. Crystalline phase content of the dust samples collected at workplaces of the Ogorzelec amphibolite mining and processing plant

Rodzaj próby Sample type	Stwierdzone fazy krystaliczne met. rtg Detected crystalline phases method: X-ray	Średnia zawartość SiO ₂ w pyłe, met. chem. % Mean SiO ₂ concentration in dust method: chem. %
Próba przygotowana z kilku odłamków skały Sample prepared from several fragments of rock	aktynolit, albit, klinochlor, kwarc actinolite, albite, clinoclhor, quartz	10,5
Kruszywo amfibolitowe Amphibolite aggregate	aktynolit, kwarc, albit, klinochlor actinolite, quartz, albite, clinoclhor	3,5
Pył opadowy Sediment dust	tremolit, oligoklaz tremolit, kaolinit, kwarc tremolite, oligoclase tremolite, kaolinite, quartz	5,0

Tabela II. Wyniki pomiarów stężeń pyłu na stanowiskach pracy przy wydobyciu i przerobie amfibolitu w Ogorzelcu. Pomiary wykonano metodą dozymetrii indywidualnej

Table II. Results of measurements of dust concentrations at amphibolite mining and processing workplaces of the Ogorzelec plant

Stanowisko Workplace	Średnie ważone dla 8-godzinnego dnia pracy stężenia pyłu Mean 8h working day-weighted dust concentration															
	całkowitego, mg/m ³ Total, mg/m ³					respirabilnego*, mg/m ³ Respirable*, mg/m ³			respirabilnych włókien mineralnych, wł/cm ³ Respirable mineral fibres, f/cm ³							
	n	od from	do to	\bar{x}	δ_g	<95%>	n	od from	do to	\bar{x}	n	od from	do to	\bar{x}	δ_g	<95%>
Kopalnia Mine Wydobycie (wiertacze, operatorzy koparki) Mining (drill and excavator operators)	16	0,5	59,6	4,8	4,2	1,4-6,5	3	0,1	0,4	0,3	16	0,03	1,01	0,28	2,2	0,16-0,47
Zakład przeróbczy (operatorzy kruszarek, przenośników, przesiewaczy) Processing plant (operators of crushers, conveyors, screens)	10	0,7	5,4	2,7	2,1	1,2-3,8	4	0,1	0,3	0,2	10	0,10	0,74	0,31	1,7	0,22-0,37
Warsztaty remontowe (elektrycy, ślusarze, tokarze) Repair shop (electricians, fitters, machine tool operators)	10	0,8	9,6	2,5	2,4	1,4-4,7	3	0,1	0,2	0,1	10	0,03	0,40	0,15	2,1	0,08-0,17
Transport wewnętrzny (kierowcy pojazdów technologicznych) Internal handling (drivers of special-purpose vehicles)	6	0,6	8,8		1,1	0,7-4,3	2	0,1	0,2	0,1	6	0,04	0,47	0,25	2,0	0,13-0,35
Dozór (szytgar) Supervision (foreman)	2	0,2	0,8	0,5	2,7	0,05-3,4	nb				2	0,08	0,59	0,29	2,3	0,10-0,53
Pomieszczenia administracyjne Administration room	4	0,2	0,4	0,3	1,4	0,19-0,53	nb				4	0,04	0,24	0,09	1,99	0,04-0,14

n - liczba pomiarów stężeń pyłu (średnie ważone dla 8 godzinnego dnia pracy).

n - number of dust concentration measurements (mean 8h working day-weighted dust concentration).

od - minimalna wartość stężenia pyłu średniego ważonego dla 8 godzinnego dnia pracy.

from - minimum dust concentration (mean 8h working day-weighted value).

do - maksymalna wartość stężenia pyłu średniego ważonego dla 8 godzinnego dnia pracy.

to - maximum dust concentration (mean 8h working day-weighted value).

\bar{x} - wartość średnia stężenia pyłu średnich ważonych dla 8 godzinnego dnia pracy stężeń pyłu.

\bar{x} - mean dust concentration (mean 8h working day-weighted value).

* ze względu na małą liczbę pomiarów jednostkowych nie obliczono standardowego odchylenia oraz przedziału ufności.

* because of the small number of measurements, the confidence interval has not been calculated.

δ_g - standardowe odchylenie.

δ_g - standard deviation.

<95%> - przedział ufności przy poziomie istotności 95%.

<95%> - confidence interval at 95% significance level.

nb - nie badano.

nb - not determined.

kruszątki w próbach pobranych za pomocą miernika laserowego FM 7400 zbadano rozkład długości cząstek mineralnych o pokroju włóknistym, wyniki badań zamieszczono w tabeli III. W pobranej próbce pyłu stwierdzono obecność włókien respirabilnych (o długości od 5 do 10 μm), cząstki o takiej długości stanowiły 14,3% ogółu cząstek o pokroju włóknistym.

Pomiary przy użyciu laserowego miernika zapylenia GRIMM 1.105, dostosowanego do pomiarów stacjonarnych frakcji wymiarowych wg EN 481, wykonano tylko w kabinie

operatora ciągu krusząco-sortującego. Administracja zakładu wyraziła zgodę na 2-krotne wykonanie pomiarów tylko na jednym stanowisku. Wyniki pomiarów stężenia pyłu wdychalnego oraz udziału procentowego poszczególnych frakcji wymiarowych w pyłe wdychalnym zamieszczono w tabeli IV. Pomiary na tym stanowisku wykonano 2-krotnie, tzn. w zamkniętej kabinie podczas postoju ciągu krusząco-sortującego (zmiana remontowa) oraz podczas procesu produkcyjnego. W trakcie postoju średnie stężenie pyłu wdychalnego wynosiło 555 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w trakcie procesu kruszenia śred-

Tabela III. Rozkład długości włókien mineralnych w powietrzu na stanowiskach operatora kruszarki przenośników i przesiewaczy. Pomiary wykonano za pomocą miernika FM-7400

Table III. Length distribution of airborne mineral fibres collected at the breathing zones of the crusher and screen operators. The measurements were performed using a FM-7400 meter

	Długość włókien μm Fibre length μm									
	<2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	>10
N	0	10	18	8	3	2	0	0	1	0
%	0	23,8	42,8	19,1	7,1	4,8	0	0	2,4	-
$\Sigma\%$	0	23,8	66,6	85,7	92,8	97,6	97,6	97,6	100	-

nie stężenie pyłu wdychalnego w tej samej kabine osiągało wartość 4086 mg/m^3 .

Oszacowanie ryzyka nowotworowego związanego z wydobywaniem i przerobem amfibolitu

Dotychczasowe szacunki ryzyka nowotworowego populacji narażonych na azbest opierały się na bardzo uproszczonych modelach matematycznych, zakładających prostoliniową zależność efektu nowotworowego od wchłoniętej dawki azbestu. W modelach tych najczęściej przyjmowano także jednokowy potencjał nowotworowy wszystkich odmian azbestu. Dopiero ostatnio Hodgson i Darnton (11), analizując umiarkowanie na raka płuca i międzybłoniaka opłucnej i otrzewnej w 30 kohortach zawodowo narażonych na działanie chryzotyłu, amosytu, krokidolitu oraz mieszanin azbestów, potwierdzili jednoznacznie słuszność tzw. hipotezy amfibolowej, wg której potencjał nowotworowy poszczególnych odmian azbestu jest bardzo różny, przy czym azbesty amfibolowe charakteryzują się znacznie wyższym potencjałem od azbestu chryzotylowego. Wśród azbestów amfibolowych największym potencjałem nowotworowym charakteryzuje się krokidolit, podczas gdy azbest amosytowy oraz mieszaniny krokidolitu z amosytem wykazują potencjał nowotworowy pośredni pomiędzy krokidolitem i chryzotyłem. Ilustrację hi-

potęzy amfibolowej mogą stanowić wartości SMR dla raka płuca określone przez Hughesa (12) na podstawie badań na różne rodzaje azbestu. Wartości SMR wynoszą 1,26 dla chryzotyłu, 3,07 dla krokidolitu i amosytu i 2,18 dla mieszanin azbestów amfibolowych, z chryzotyłem. McDonald J.C. i McDonald A.D. (13) oznaczyli natomiast wskaźniki umiarkowości proporcjonalnej PMR, które wynoszą 0,24% dla chryzotyłu, 3,97% dla azbestów amfibolowych oraz 4,21% dla mieszanin azbestów amfibolowych z chryzotyłem. Hodgson i Darnton (11) dokonali także ekstrapolacji wyników dla małych i bardzo małych dawek azbestu, chociaż stwierdzają znaczny stopień niepewności związany z oszacowaniem ryzyka w zakresie dawek, które mogą charakteryzować narażenie pozazawodowe. Praca Hodgsona i Darntona (11) może być podstawą do oszacowania ryzyka nowotworowego, związanego z wydobywaniem i przerobem amfibolitu.

Jak wynika z badań składu fazowego amfibolitu, występują w nim domieszki azbestów amfibolowych tremolit, aktynolit, a w środowisku pracy występuje narażenie na respirabilne włókna mineralne. Prawdopodobieństwo rozwoju nowotworów (rak płuca i międzybłoniak opłucnej i otrzewnej) zależy przede wszystkim od narażenia skumulowanego na respirabilne włókna mineralne i od potencjału nowotworowego włókien. Skumulowane narażenie na respirabilne włókna mineralne w kopalni i zakładzie przerobczym obliczono na podstawie badań środowiska pracy w kopalni i zakładzie przerobczym amfibolitu, zakładając 8-godzinny dzień pracy, średnią liczbę przepracowanych dni w roku w narażeniu na włókna respirabilne równą 240 oraz 10, 20 i 30 letni okres narażenia. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli V, z której wynika, że narażenie skumulowane w zależności od stanowiska pracy i okresu narażenia mieści się w dwóch przedziałach: od $0,1 - 1,0 \text{ wł/cm}^3 \cdot \text{lata}$ i $1,0 - 10,0 \text{ wł/cm}^3 \cdot \text{lata}$. Dla tych przedziałów najlepsze oszacowanie życiowego ryzyka dodatkowych zgonów z powodu międzybłoniaków, przypadające na jednostkę narażenia skumulowanego na włókna amosytu określone przez Hodgsona

Tabela IV. Zawartości procentowe poszczególnych frakcji wymiarowych wg EN 481 w pyłe wdychalnym na stanowisku operatora ciągu kruszącego amfibolitu

Table IV. Percentage content of individual dimensional fibre fractions (as per EN 481) in the inhalable dust at the breathing zone of the amphibolite crushing range operator

Miejsce pomiaru Location	Średnie stężenie pyłu wdychalnego $\mu\text{g/m}^3$ Mean concentration of inhalable dust $\mu\text{g/m}^3$	Udział poszczególnych frakcji w pyłe wdychalnym Proportions of individual fractions in inhaled dust			
		ekstratorakalna Extrathoracic	torakalna Thoracic	tchawiczo-oskrzelowa Tracheo-bronchial	respirabilna Respirable
Kabina operatora ciągu kruszącego (postój urządzeń krusząco-sortujących) Crushing/sorting range operator booth (range inoperative)	555	49	51	41,3	9,7
Kabina operatora ciągu kruszącego (czynne urządzenia) Crushing/sorting range operator booth (range operative)	4086	35,9	64,1	49,4	14,7

Tabela V. Narażenie skumulowane podczas wydobywania i przerobu amfibolitu
Table V. Cumulated exposure during amphibolite mining and processing

Miejsce narażenia Location	Liczba pomiarów n Number of measurements n	Średnie stężenie $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ Mean concentration f/cm^3	Narażenie skumulowane $\mu\text{l}/\text{cm}^3 \cdot \text{lata}$ Cumulated exposure $f/\text{cm}^3 \cdot \text{years}$		
			10 lat 10 years	20 lat 20 years	30 lat 30 years
Kopalnia Mine	16	0,407	0,890	1,781	2,670
Zakład przeróbczy: Processing plant:					
kruszałki Crushers	10	0,343	0,750	1,500	2,250
warsztaty remontowe Repair shops	10	0,164	0,360	0,720	1,079
transport wewnętrzny Internal handling	6	0,260	0,569	1,138	1,706
administracja Administration	4	0,103	0,224	0,448	0,673

i Darntona (11), wynosi odpowiednio $15 \cdot 10^{-5}$ i $90 \cdot 10^{-5}$. Przyjmując takie samo ryzyko dla włókien aktynolitu, tremolitu i amfibolitu można obliczyć ryzyko związane z wydobywaniem i przerobem amfibolitu (tabela VI).

Życiowe ryzyko dodatkowych zgonów z powodu międzybłoniaków zostało obliczone w założeniu, że pierwsza ekspozycja na włókna azbestu następuje w wieku 30 lat. Jeżeli pierwsza ekspozycja następuje w wieku 20 lat, to wg Hodgsona i Darntona (1) ryzyko zwiększa się 2,1 raza, w wieku 25 lat 1,5 raza, w wieku 35 lat 0,6 raza, a w wieku 40 lat 0,4 raza. Ryzyko dodatkowych zgonów z powodu raka płuca dla narażenia skumulowanego w granicach 0,1 do $1,0 \mu\text{l}/\text{cm}^3 \cdot \text{lata}$ jest dla wszystkich rodzajów azbestu nieistotne i nie przekracza $4 \cdot 10^{-5}$ dla krokidolitu, a dla pozostałych az-

bestów jest jeszcze mniejsze. W przypadku narażenia skumulowanego powyżej $1,0 \mu\text{l}/\text{cm}^3 \cdot \text{lata}$ ryzyko dodatkowych zgonów z powodu raka płuca może być oszacowane na $2 \cdot 10^{-5}$ dla chryzotyłu, $85 \cdot 10^{-5}$ dla krokidolitu i na około $10 \cdot 10^{-5}$ dla amosytu, aktynolitu i tremolitu oraz amfibolitu.

WNIOSKI

W próbach skał oraz w próbach surowca gotowego, pobranego z kopalni amfibolitu „Ogorzelec” stwierdzono obecność minerałów z grupy amfiboli, a mianowicie aktynolit i tremolit. Badania w mikroskopie świetlnym oraz w transmisyjnym mikroskopie elektronowym prób pyłu pobranych na filtr z powietrza wykazały obecność cząstek o pokroju

Tabela VI. Ryzyko dodatkowych zgonów z powodu międzybłoniaków związane z wydobywaniem i przerobem amfibolitu w Ogorzelcu

Table VI. Risk of excessive deaths from mesothelioma associated with amphibolite mining and processing at Ogorzelec

Miejsce narażenia Location	Ryzyko Risk		
	okres narażenia Exposure duration		
	10 lat 10 years	20 lat 20 years	30 lat 30 years
Kopalnia Mine	$13,3 \cdot 10^{-5}$	$160,3 \cdot 10^{-5}$	$240,0 \cdot 10^{-5}$
Zakład przeróbczy: Processing plant:			
kruszałki Crushers	$11,2 \cdot 10^{-5}$	$135,0 \cdot 10^{-5}$	$202,5 \cdot 10^{-5}$
warsztaty remontowe Repair shops	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$11,0 \cdot 10^{-5}$	$97 \cdot 10^{-5}$
transport wewnętrzny Internal handling	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$102 \cdot 10^{-5}$	$153 \cdot 10^{-5}$
administracja Administration	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$10,1 \cdot 10^{-5}$

włóknistym. Pozwala to stwierdzić, że zidentyfikowane metodą dyfrakcji rentgenowskiej domieszki aktynolitu i tremolitu mogą stanowić odmianę włóknistą, a zatem pod względem działania nowotworowego powinny być traktowane tak, jak azbesty amfibolowe. Na wszystkich badanych stanowiskach pracy stężenia pyłu całkowitego były wyższe od wartości przyjętej za dopuszczalną – 1 mg/m^3 , stężenie niższe od NDS stwierdzono tylko na stanowiskach dozoru i w pomieszczeniach administracyjnych.

Natomiast stężenia respirabilnych włókien mineralnych były wyższe od wartości dopuszczalnej – $0,2 \text{ wł/cm}^3$ na wszystkich badanych stanowiskach pracy z wyjątkiem pomieszczeń administracyjnych. Odkrywkowy sposób eksploatacji złoża amfibolitu, przerób surowca i składowanie produktu gotowego na wolnym powietrzu może stanowić dla mieszkańców wsi Ogorzelec źródło narażenia pozazawodowego na pył zawierający azbest.

Z przeprowadzonych badań wynika, że wydobywanie i przerób amfibolitu stwarzają podwyższone ryzyko zgonów z powodu międzybłoniaków, które jest różne dla różnych stanowisk pracy. Przy 20- i 30-letnim okresie narażenia ryzyko zgonów, z powodu międzybłoniaków na wszystkich stanowiskach pracy (z wyjątkiem warsztatów remontowych i 20 letniego narażenia) przekracza ryzyko akceptowalne ($1 \cdot 10^{-4}$) od około 10–24 razy i jest największe w kopalni, przy obsłudze kruszarki i w transporcie wewnętrznym. Na ryzyko mniejsze niż $1 \cdot 10^{-4}$ narażeni są tylko pracownicy administracji niezależnie od okresu narażenia. Natomiast ryzyko zgonów z powodu raka płuca związane z wydobywaniem i przerobem amfibolitu należy oszacować jako niewielkie i wynosi ono poniżej $1 \cdot 10^{-4}$.

Należy podkreślić, że ryzyko nowotworowe jest związane także z wiekiem w momencie pierwszego narażenia i maleje jeżeli pracę w narażeniu rozpoczynają osoby starsze niż 30 lat. W ramach zarządzania ryzykiem nowotworowym mającym na celu ograniczenie ryzyka do poziomu co najmniej $1 \cdot 10^{-4}$. W zakładach wydobywania i przerobu amfibolitu należy rozpatrywać następujące możliwości:

- ograniczenie stężeń pyłu w środowisku pracy do wartości dopuszczalnej,
- zatrudnianie do pracy w narażeniu osób starszych niż 30, a nawet 40 lat nie mających wcześniej ekspozycji na azbest,
- ekspozycja na pył amfibolitu nie powinna przekraczać 20 lat.

PISMIENNICTWO

1. Lis J., Sylwestrzak H.: *Minerały Dolnego Śląska*. Wyd. Geologiczne, Warszawa 1986.
2. Maciejewska A., Bielichowska-Cybula G., Krużewska R.: Narażenie na pył przemysłowy i azbestopodobne włókna mineralne na stanowiskach pracy w kopalniach kamienia budowlanego i kruszyw w województwie wałbrzyskim. *Med. Pr.* 1990, 41, 6, 429–434.
3. Więcek E.: Identyfikacja krystalicznych zawartości niektórych metali i minerałów włóknistych (azbest polski) towarzyszących złożom rud niklu. *Med. Pr.* 1983, 34, 235–244.
4. Woźniak H., Więcek E., Dobrucka D., Pelc W., Maciejewska A., Bielichowska B.: Ocena narażenia zawodowego pracowników zatrudnionych przy wydobywaniu surowców skalnych na obszarze masywu Ślęży. *Med. Pr.* 1991, 42, 411–418.
5. Woźniak H., Więcek E., Stetkiewicz J., Wysińska K.: Experimental carcinogenicity and mutagenicity of non-asbestos natural fibres – preliminary raport. *Pol. J. Occup. Med. Environ. Health* 1993, 6, 55–60.
6. Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Oznaczanie pyłu całkowitego na stanowiskach pracy metodą filtracyjno-wagową. PN-91/Z-04030/05.
7. Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Oznaczanie pyłu respirabilnego na stanowiskach pracy metodą filtracyjno-wagową. PN-91/Z-04030/06.
8. Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości azbestu. Oznaczanie stężenie pyłu liczbowego respirabilnych włókien azbestu na stanowiskach pracy metodą mikroskopii optycznej. PN-88/Z-040202/02.
9. Workplace atmospheres – size fraction definitions for measurement of airborne particles. EN 481, 1943.
10. Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości wolnej krystalicznej krzemionki w pyłe całkowitym i respirabilnym w obecności krzemianów na stanowiskach pracy metoda kolorymetryczną. PN-91/Z-04018/04.
11. Hodgson J.T., Darnton A.: The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. *Ann. Occup. Hyg.* 2000, 44, 565–601.
12. Hughes J.M.: Epidemiology of lung cancer in relation to asbestos exposure. W: Liddel D., Miller K. [red.]. *Mineral Fibres and Health*. CRC Press, Boca Raton 1991, ss. 135–145.
13. McDonald J.C., McDonald A.D.: Epidemiology of mesothelioma. W Liddel D., Miller K. [red.]. *Mineral Fibres and Health*. CRC Press, Boca Raton 1991, ss. 147–168.

Adres autorów: Św. Teresy 8, 90-950 Łódź

Nadesłano: 25.10.2001

Zatwierdzono: 22.11.2001