

PRACE POGLĄDOWE

Grażyna Stroszejn-Mrowca

IDENTYFIKACJA AZBESTU W PRÓBKACH MATERIAŁÓW Z ZASTOSOWANIEM MIKROSKOPU OPTYCZNEGO POLARYZACYJNEGO I KONTRASTU FAZOWEGO (MOP). PREZENTACJA METODY I WYNIKÓW JEJ ZASTOSOWANIA*

IDENTIFICATION OF ASBESTOS IN BULK MATERIALS BY POLARISED LIGHT MICROSCOPY AND PHASE CONTRAST: METHOD AND RESULTS

Z Zakładu Zagrożeń Chemicznych i Pyłowych
Instytutu Medycyny pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

STRESZCZENIE W wyniku realizacji ustawy o zakazie stosowania azbestu z 1997 r. trwa w Polsce sukcesywne usuwanie wyrobów azbestowych przewidziane na około 30 lat. Identyfikacja azbestu w próbkach materiałów jest niezbędną analizą przed rozpoczęciem prac demontażowych. Przedstawiona metoda identyfikacji azbestu z zastosowaniem mikroskopu polaryzacyjnego i kontrastu fazowego polega na badaniu następujących parametrów optycznych włókien azbestowych: barwy, morfologii, współczynnika załamania światła, anizotropii, pleochroizmu, charakteru optycznego i kąta wygaszania. Głównymi zaletami tej metody są: niewielka ilość materiału do badania, krótki czas analizy, wysoka wykrywalność azbestu w próbce (0,1%) oraz wysoka wiarygodność wyników. W pracy zaprezentowano wyniki badań identyfikacyjnych azbestu w kilkunastu próbkach materiałowych, pochodzących z różnych obiektów budowlanych i instalacji. Med. Pr. 2003; 54 (6): 567–572

SŁOWA KLUCZOWE: azbest, próbki materiałów, mikroskop optyczny, kontrast fazowy

ABSTRACT The implementation of the 1997 law on the banned use of asbestos, entailing a successive elimination of asbestos products, is planned for 30 years. Asbestos identification in samples of bulk materials is essential before starting dismantling works. The presented method of asbestos identification by polarized light microscopy and phase contrast involves the study of the following optical parameters of asbestos fibers: color, morphology, refractive index, anisotropy, pleochroism, optic nature and extinguish angle. The major advantages of this method are: small material samples, short time of analysis, high asbestos sample detectability (0.1%) and high reliability of results. This paper presents the results of asbestos identification in over a dozen of samples of bulk materials derived from various buildings and installations. Med Pr 2003; 54 (6): 567–572

KEY WORDS: asbestos, bulk materials, light microscopy, phase contrast

Nadesłano: 20.10.2003

Zatwierdzono: 3.11.2003

Adres autorki: Św. Teresy 8, 90-950 Łódź, e-mail: ewzał@imp.lodz.pl

© 2003; Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

WSTĘP

W wyniku realizacji ustawy o zakazie stosowania azbestu z 1997 r. następuje w Polsce sukcesywne usuwanie wyrobów zawierających azbest. Proces usuwania tych wyrobów szczególnie eternitowych płyt dachowych przewidziany jest na około 30 lat.

Przepisy prawne, dotyczące postępowania z wyrobami zawierającymi azbest zawarte są w czterech ustawach i dwunastu rozporządzeniach ministrów. W oparciu o nie Ministerstwo Gospodarki opracowało „Zbiór przepisów i procedur dotyczących bezpiecznego postępowania z wyrobami zawierającymi azbest”, które dotyczą wszystkich uczestników procesu usuwania wyrobów azbestowych z obiektów budowlanych czy instalacji przemysłowych (1). Określają one obowiązki właścicieli obiektów lub wyrobów, ekip usuwających wyroby, wytwórców odpadów, odbiorców odpadów, pracowników oraz zarządzających składowiskami odpadów.

Jednym z pierwszych przedsięwzięć, jakie powinny wyprzedzać rozpoczęcie prac remontowo-budowlanych jest rozeznanie rodzaju azbestu oraz oszacowanie jego zawartości w usuwanych materiałach. Rozpoznanie azbestu w materiałach budowlanych lub izolacyjnych zazwyczaj jest trudne dla właściciela obiektu lub wykonawcy remontu, ponieważ materiały zawierające azbest są najczęściej nieoznakowane. Odpowiednio przeszkolony pracownik laboratorium badawczego potrafi czasami gołym okiem stwierdzić występowanie azbestu w materiale, ale ostateczną decyzję potwierdzającą lub wykluczającą obecność azbestu można podjąć wyłącznie na podstawie analiz próbek materiałowych przeprowadzonych w laboratorium.

Krótką charakterystyka azbestu, jego miejsc występowania i zastosowania

Azbest to nazwa rynkowa wielu występujących w przyrodzie uwodnionych krzemianów o charakterystycznej budowie krystalicznej i postaci włóknistej. Minerale azbestowe należą do

* Praca wykonana w ramach zadania finansowanego z dotacji na działalność statutową nr IMP 4.12 pt. „Monitorowanie narażenia na pył azbestu w procesach usuwania wyrobów azbestowych ze środowiska”. Kierownik zadania: mgr G. Stroszejn-Mrowca.



grupy serpentynów i amfiboli. Występują w postaci skupień włóknistych lub igiełkowych w pokładach geologicznych na całej kuli ziemskiej (największe złoża występują na terenie: Rosji, Kanady, RPA, Chin, Włoch, Brazylii) (2). Najszerzej stosowany był azbest chryzotylowy – minerał serpentynowy (90% produkcji światowej azbestu), natomiast z grupy azbestów amfibolowych – krokidolit i amozyt, które stanowiły kilkuprocentowy dodatek w mieszaninie z azbestem chryzotylowym do produkcji niektórych wyrobów. Pozostałe rodzaje azbestów amfibolowych – antofyllit, tremolit i aktynolit wykorzystywane były rzadko i do specjalnych zastosowań. Wysoka odporność na działanie czynników mechanicznych i niepalność sprawiły, że azbest wykorzystywany był jako materiał izolacji ognioochronnej i dźwiękowej, elektrycznej i termicznej, a także jako składnik materiałów budowlanych w postaci płyt lub mas.

Niektóre właściwości fizyczne i chemiczne azbestu przedstawiono w tabeli I (3,4). Szczególną właściwością azbestu jest jego struktura włóknista i łatwe wzdlużne rozszczepianie włókien, natomiast dość trudne jest dzielenie włókien azbestowych w poprzek z uwagi na ich wyjątkową sprężystość i dużą wytrzymałość mechaniczną. Włókna elementarne chryzotyłu są długie, elastyczne i zakrzywione, mają tendencję do tworzenia wiązek o krzywoliniowym kształcie z rozszczepionymi końcami. Chryzotyl jest wrażliwy na działanie kwasów, ale bardziej odporny na działanie zasad niż włókna amfibolowe. Włókna krokidolitu są proste, igiełkowate oraz krótsze i cieńsze niż włókna innych azbestów amfibolowych poddane rozdrabnianiu mechanicznemu. Właściwości te decydują o stopniu agresywności biologicznej poszczególnych odmian azbestu.

Większość importowanego surowca (około 85%) przeznaczona była w Polsce do produkcji wyrobów azbestowo-cementowych w postaci płyt dachowych i elewacyjnych oraz rur. Zawartość azbestu chryzotylowego w tych wyrobach waha się od 5-20%, przy czym do produkcji rur stosowanych jako wysokociśnieniowe przewody wodociągowe, kanalizacyjne, a także przewody kominowe stosowano domieszkę krokidolitu lub amozytu w ilości około 20% ogólnej zawartości azbestu.

Poza produkcją azbestocementu największym obszarem wykorzystania azbestu były produkowane materiały izolujące od ognia, wysokiej i niskiej temperatury, wilgoci i hałasu. Najprostszą formą izolacji maszyn i urządzeń był azbest w formie natrysku bezpośredniego lub natrysku w matach tkanych lub zszywanych. W przypadku konstrukcji pozostających pod długotrwałym oddziaływaniem wysokich temperatur stosowano tekturę azbestową, płyty i maty.

Największym obszarem występowania wyrobów azbestowych są niewątpliwie obiekty budowlane. W budynkach mieszkalnych (wielolokalowych i jednorodzinnych, hotelach, motelach, schroniskach); budynkach administracyjnych (biura, lokale handlowe); budynkach publicznego przeznaczenia (szkoły, banki, muzea, szpitale); budynkach o przeznaczeniu technicznym (kotłownie, piece, turbiny, instalacje z gorącą

wodą, lotniska, hangary); budynkach gospodarczych, rolnych – azbest może występować w konstrukcjach budowlanych w:

- izolacji rur doprowadzających zimną, ciepłą i gorącą wodę lub parę,
- kotłowniach pieców elektrycznych lub olejowych,
- osłonach kanałów wentylacyjnych i kominów wentylacyjnych,
- sufitach i wykładzinach w kotłowniach,
- płytach azbestowo-cementowych (falistych) na dachach i płaskich okładzinowych na ścianach zewnętrznych, jako osłony balkonowe i podokienne parapety zewnętrzne,
- płytach azbestowo-cementowych, pokrywających wewnętrzne ściany działowe, urządzenia klimatyzacyjne i wentylacyjne, nawiewne kanały wentylacyjne, szkieletowe konstrukcje stalowe, wewnętrzne wykładziny dachowe,
- wewnętrznej izolacji termicznej kuchenek i pieców gazowych,
- płytach i wylewkach podłogowych.

Azbest może również występować w środkach transportu: w wagonach kolejowych, autobusach, samochodach jako izolacja ognioodporna – okładziny cienne pasków i klocków hamulcowych, a także w tarczach sprzęgłowych.

Ważnym obszarem zastosowania azbestu był przemysł. Azbest był tu wykorzystywany zarówno luzem, jak również w postaci mat, uszczelek, szczeliw, sznurów i płyt. Bardzo często może jeszcze występować w urządzeniach i maszynach pracujących w środowiskach wysokich temperatur, hałasu, ciśnienia.

Celem pracy jest omówienie metody identyfikacji różnych odmian azbestu wraz z prezentacją wyników jej zastosowania w próbkach materiałów budowlanych i izolacyjnych. Identyfikację przeprowadzono w celu potwierdzenia lub wykluczenia obecności azbestu oraz określenia jego odmiany.

METODY IDENTYFIKACJI AZBESTU W PRÓBKACH MATERIAŁÓW

W świecie identyfikację azbestu w próbkach materiałowych prowadzi się stosując następujące metody: dyfraktometrii rentgenowskiej (5-8), fourierowskiej spektrometrii w podczerwieni (9) i mikroskopii polaryzacyjnej (10-14). Rentgenowską analizę składników krystalicznych (faz) w materiałach polikrystalicznych, opartą na dyfrakcji promieni rentgenowskich, prowadzi się metodą proszkową, tzn. próbki uzyskuje się przez sproszkowanie badanego materiału. Identyfikacja faz polega na porównaniu dyfraktogramów badanej próbki z dyfraktogramami wzorcowymi. W wielu przypadkach, gdy analizowana próbka jest wieloskładnikowa, jednoznaczna identyfikacja faz może okazać się niemożliwa, a w przypadku azbestu, występowanie odmian niewłóknistych o tym samym składzie chemicznym uniemożliwia identyfikację odmian włóknistych. Analizy rentgenowskie muszą być wówczas uzupełnione badaniami mikroskopowymi.

Identyfikacja azbestu w próbkach metodą spektrometrii FT-IR, wykorzystująca zjawisko selektywnej absorpcji pro-



Tabela 1. Niektóre właściwości fizyczne i chemiczne minerałów azbestowych (3,4)

Właściwości	Minerał				
	Chryzotyl	Amozyt	Aktynolit	Antofyllit	Tremolit
Skład chemiczny	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	$[Mg,Fe]_7Si_8O_{22}(OH)_2$	$[Ca_2(Mg,Fe)_3Si_8O_{22}(OH)_2]$	$[(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2]$	$[Ca_2Mg_3Si_8O_{22}(OH)_2]$
Barwa	biała, szara, do białozielonej, poźółkła	białobrazowa, szara, zielonkawa	zielonkawo-szara	szara, biała, szarobrazowa lub zielona	jasnozielona
Wygląd	miękkie, elastyczne i faliste włókna lub wiązki włókien czepliwych	miękkie lub szorstkie proste włókna i wiązki równoległych włókien, łatwe do wyizolowania i preparatyki			
Połysk	jedwabisty	szklisty	szklisty	szklisty	szklisty
Masa właściwa g/cm^3	2,4–2,6	3,1–3,2	3,0–3,2	2,9–3,1	2,9–3,2
Wytężalność na rozciąganie	wysoka	wysoka	niska	średnia	niska
Temperatura topnienia $^{\circ}C$	1515	1395	1390	1460	1300
Odporność na kwasy i alkalia	słaba	dobra	dostateczna	bardzo dobra	słaba
Własności optyczne	dwuosiowe pozytywne wygaszanie równoległe	dwuosiowe pozytywne wygaszanie równoległe	dwuosiowe pozytywne wygaszanie równoległe lub nachylone	dwuosiowe pozytywne wygaszanie równoległe	dwuosiowe pozytywne wygaszanie równoległe lub nachylone
Współczynniki załamania zakres:	n_{α}	1,670–1,675	1,619–1,658	1,596–1,654	1,599–1,620
	n_{γ}	1,545–1,557	1,683–1,694	1,625–1,667	1,622–1,641
Krokidolit					
					$[NaFe_3^{2+}Fe^{3+}Si_8O_{22}(OH)_2]$ niebieska, zielona

mieniowania podczerwonego przez drgające cząstki polega na porównaniu położenia i intensywności pasm absorpcji, występujących w spektrogramach badanych próbek i odpowiednich wzorców.

Obie metody wymagają posiadania kosztownej aparatury, a skomplikowane techniki wykonywania preparatów do badań wydłużają znacznie czas analiz, co wpływa na wysokie ich koszty.

Metoda identyfikacji azbestu w próbkach materiałowych z wykorzystaniem mikroskopii optycznej jest szczególnie szeroko stosowana w laboratoriach europejskich i amerykańskich. Głównymi zaletami tej metody są: niewielka ilość materiału wymagana do analiz (ok. 1 cm^3 lub strzępek izolacji), krótki czas analizy jednej próbki, wysoka wykrywalność azbestu w próbce (granica wykrywalności 0,1% masy próbki) oraz wysoka wiarygodność wyników. Metoda ta polega na obserwacjach i badaniu pewnych właściwości optycznych minerałów azbestowych przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego, wyposażonego w urządzenie do kontrastu fazowego. Identyfikację włókien azbestowych przeprowadza się z uwzględnieniem następujących właściwości optycznych: barwy, morfologii, współczynnika załamania światła, anizotropii, pleochroizmu, charakteru i kąta wygaszania światła, charakteru optycznego (znaku wydłużenia).

METODA IDENTYFIKACJI W MIKROSKOPIE OPTYCZNYM POLARYZACYJNYM (MOP) I W DODATNIM KONTRAŚCIE FAZOWYM

Badania identyfikacyjne azbestu w próbkach materiałów prowadzone są według następującego schematu:

- Wstępne badanie wizualne całej próbki w celu ustalenia sposobu przygotowania preparatów mikroskopowych. W zależności od twardości, jednorodności i postaci, próbki są wstępnie rozdrabniane mechanicznie lub ręcznie, a następnie w miarę potrzeb ucierane w moździerz agatowy.

- Wyizolowanie z próbki (jeśli to możliwe) widocznych wiązek włókien.

- Badania przy użyciu mikroskopu stereoskopowego (w powiększeniu 25–100 x) wyodrębnionych wiązek włókien lub próbek utartych materiałów. Badania te mają na celu ustalenie stopnia jednorodności próbki, wykrycie obecności włókien w próbce w celu ich dalszego wyodrębnienia, wstępną ocenę zawartości włókien w próbce. W materiałach niejednorodnych obserwacje i wyszukiwanie włókien muszą być prowadzone kolejno we wszystkich warstwach materiału. Obserwacje dotyczą koloru, struktury, wyglądu i połysku włókien.

- Wykonanie preparatów mikroskopowych z wyodrębnionych włókien lub próbki materiału w odpowiednio dobranych cieczach immersyjnych.

- Badanie identyfikacyjne przygotowanych preparatów przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego w świetle spolaryzowanym i w kontraście fazowym dodatnim.

Do identyfikacji azbestu w próbkach materiałów przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego stosuje się następującą charakterystykę włókien azbestowych (13,15):

- obserwowane włókna o długości powyżej 5 μm posiadają, w większości, stosunek wydłużenia od 20:1 do 100:1 lub większy;
- włókna wykazują zdolność rozszczepienia wzdłużnego na bardzo cienkie fibryle o średnicy mniejszej niż 0,5 μm ; oraz posiadają dwie lub więcej z następujących cech:
 - równoległe włókna tworzą wiązki;
 - wiązki włókien posiadają końce wystrzępione (rozszczepione);
 - włókna posiadają kształt cienkich igieł;
 - włókna wykazują zakrzywienia (krzywizny);
 - włókna występują w zwartej masie lub pojedynczo.

W tabeli II przedstawiono właściwości optyczne włókien azbestowych badane w mikroskopie polaryzacyjnym z obrotowym stolikiem doposażonym w dodatni kontrast fazowy (powiększenie 400x).

Pleochroizm jest to zjawisko polegające na różnej absorpcji światła przez substancję w zależności od orientacji wektora natężenia pola elektrycznego fali świetlnej. Kryształy, które wykazują pleochroizm (anizotropię absorpcji) są w świetle spolaryzowanym różnie zabarwione w zależności od kierunku obserwacji. Wśród minerałów azbestowych pleochroizm wykazuje tylko krokidolit, który zmienia barwę z zielonej na pomarańczową. Efekt ten można obserwować przy ustawieniu włókna pod kątem 45° w stosunku do skrzyżowanych polaryzatorów i lekkim (ok. 10°) rozchyleniu analizatora. Czasami zmianę barwy w tych warunkach optycznych można zaobserwować przy amozycie.

Anizotropię i kąt wygaszania bada się w świetle spolaryzowanym i wygaszonym (skrzyżowane polaryzatory). Włókna występujące w próbkach materiałów mogą być kryształami lub mogą być amorficzne. Minerale azbestowe są kryształami optycznie anizotropowymi i dwuosiowymi.

Kryształ dwuosiowy umieszczony w świetle spolaryzowanym i wygaszonym przepuszcza trochę światła i jest widoczny jako świecące włókno. Przy pełnym obrocie stolika mikroskopu włókno azbestu pojawia się i znika czterokrotnie. Kąt zawarty pomiędzy włóknem wygaszonym a osiami pionową lub poziomą, które tworzą skrzyżowane nitki w okularze o kierunkach zgodnych z kierunkami drgań polaroidów, nosi nazwę kąta wygaszania. Jeżeli włókno gaśnie na osiach, to kąt wygaszania równy jest 0°. Wiele struktur włóknistych wykazuje pełne wygaszenie przy kącie 0°. Do tych włókien należą: chryzotyl, amozyt, krokidolit i antofyllit. Aktynolit i tremolit wykazują wygaszanie nachylone pod kątem <5°.

Charakter optyczny (znak wydłużenia) sprawdza się w świetle spolaryzowanym i wygaszonym z użyciem kompensatora (płytki gipsowej).

Kryształy dwuosiowe, do których należy azbest, są określane jako optycznie dodatnie lub ujemne. Wszystkie minerały azbestowe z wyjątkiem krokidolitu wykazują dodatni charakter optyczny (znak wydłużenia). Krokidolit posiada ujemne wydłużenie.

Przy równoległym ustawieniu kierunku płytki gipsowej i włókna o dodatnim wydłużeniu, włókno ma kolor niebieski na purpurowym tle, przy ustawieniu prostopadłym włókno zabarwia się na kolor żółto-pomarańczowy na ciemnopurpurowym tle. Włókno o ujemnym wydłużeniu przy równoległym ustawieniu z płytką gipsową barwi się na kolor żółto-pomarańczowy, przy ustawieniu prostopadłym – na kolor niebieski.

Współczynnik załamania światła (n) analizuje się w mikroskopie wyposażonym w kontrast fazowy dodatni, stosując ciecze immersyjne o współczynnikach załamania zbliżonych do współczynników załamania minerałów azbestowych, a mianowicie:

- dla chryzotyłu stosowano ciecz o $n_c = 1,55$, wykonaną według receptury (3,3 ml aldehydu cynamonowego + 1,7 ml szczawianu dwuetylu),

Tabela II. Właściwości optyczne azbestu badane w mikroskopie polaryzacyjnym i w dodatnim kontraście fazowym

Azbest	Chryzotyl	Amozyt	Krokidolit	Aktynolit	Antofyllit	Tremolit
Morfologia	faliste włókna i zakrzywione wiązki włókien	proste, igielkowe włókna tworzące wiązki równoległych włókien				
Pleochroizm	brak	czasami brązowy	zielona – pomarańczowa	brak	brak	brak
Wygaszanie światła i kąt wygaszania	całkowite 0°	całkowite 0°	całkowite 0°	całkowite < 5°	całkowite 0°	całkowite < 5°
Znak wydłużenia	prawie zawsze dodatni	dodatni	dodatni	dodatni	dodatni	zwykle ujemny
Barwa w dodatnim kontraście fazowym:						
włókna tła	niebieska czerwono-żółta	niebieska czerwono-żółta	niebieska czerwono-żółta	niebieska czerwono-żółta	niebieska czerwono-żółta	niebieska czerwono-żółta
n_c cieczy immersyjnej	1,55	1,68	1,70	1,62	1,62	1,62



■ dla antofyllitu, tremolitu i aktynolitu stosowano ciecz o $n_c = 1,62$ (czysty aldehyd cynamonowy),

■ dla amozytu stosowano ciecz o $n_c = 1,68$ (2,3 ml dwujodometanu + 2,7 ml 1-bromonaftalenu),

■ dla krokidolitu stosowano ciecz o $n_c = 1,70$ (2,9 ml dwujodometanu + 2,1 ml 1-bromonaftalenu).

Badania rozpoczyna się od zastosowania cieczy o $n_c = 1,62$ lub $n_c = 1,68$ dla zaobserwowania, które włókna mają współczynnik załamania wyższy, które – niższy, a które zbliżony do zastosowanej cieczy.

Jeżeli w analizowanym preparacie mikroskopowym obserwuje się obecność białych włókien na żółtym tle, to współczynnik załamania tych włókien jest niższy od współczynnika załamania zastosowanej cieczy immersyjnej; obecność czarnych włókien na białym tle świadczy o obecności włókien o wyższym współczynniku niż współczynnik załamania cieczy immersyjnej; jeżeli włókno jest zabarwione na niebiesko na żółto-pomarańczowym tle, to współczynnik załamania tego włókna jest zbliżony do współczynnika załamania cieczy.

ZASTOSOWANIE METODY (MOP)

Analizy identyfikacyjne próbek materiałowych poprzedziły badania preparatów azbestów wzorcowych. Azbesty wzorcowe pochodzą z National Institute of Standards and

Technology w Gaithersburg USA (NIST) i zawierają próbki trzech azbestów komercyjnych: chryzotylu, amozytu i krokidolitu (SRM 1866a) oraz próbki trzech azbestów niekomercyjnych: antofyllitu, tremolitu i aktynolitu (SRM 1867). Zgodnie z załączonym certyfikatem własności optyczne azbestów wzorcowych były oznaczone przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego, tak więc próbki te mogą służyć jako standardy kalibracyjne dla opisanej i stosowanej metody. Wykonano szereg badań własności optycznych azbestów wzorcowych w celu zapoznania się między innymi z morfologią, barwą i wyglądem włókien w określonych warunkach optycznych.

Próbki materiałowe do badań identyfikacyjnych azbestu pochodziły z różnych przemysłowych obiektów budowlanych, budynków użyteczności publicznej i budynków mieszkalnych. W tabeli III zawarto wykaz miejsc poboru próbek, ich pochodzenia oraz wyniki analiz identyfikacyjnych. Próbki były pobierane z różnych elementów konstrukcji budowlanych obiektów, jak również instalacji technologicznych, ciepłowniczych i wentylacyjnych. W większości przypadków nie można było wizualnie stwierdzić obecności włókien azbestowych w próbkach, wyglądem nie przypominały znanych wyrobów azbestowych. Były wśród nich pokruszone, zwietrzałe, pokryte tynkiem lub farbą płyty o różnej twardości i niejednorodnej strukturze, wyroby „miękkie” w postaci sznurów, szczeliw, włókniny oraz uszczelki. Różne pochodzenie i twardość pró-

Tabela III. Wyniki analiz identyfikacyjnych próbek materiałowych na zawartość azbestu

L.p.	Miejsce poboru próbki materiałowej	Pochodzenie próbki	Obecność „+” lub brak „–” form włóknistych	Rodzaj włókien
PRZEMYSŁOWE OBIEKTY BUDOWLANE				
1	Konstrukcje żelbetowe stropu hali produkcyjnej	plyty podwieszone zakrywające konstrukcje żelbetowe	+	chryzotyl
2	Wentylatornia	sznury uszczelniające połączenia rur	+	chryzotyl
3	Kratka wentylacyjne	pył osiadły	+	chryzotyl
4	Połączenia rur w stacji chłodziw	uszczelki połączeń	+	chryzotyl
5	Słup stalowy – konstrukcja nośna w hali produkcyjnej	farba ze słupa stalowego	–	–
6	Zabudowanie pasa okiennego w pomieszczeniu produkcyjnym	fragment obudowy	+	chryzotyl krokidolit
7	System wentylacyjny w budynku produkcyjnym	sznur uszczelniający połączenie kanałów wentylacyjnych	+	chryzotyl
8	Elementy wygłuszające podwieszone pod sufitem hali produkcyjnej	fragmenty płyt	+	stuczne włókna mineralne
9	Magazyn – otulina ocieplenia rurociągów	fragmenty otuliny	+	sztuczne włókna mineralne
10	Elementy zewnętrznego ocieplenia hali produkcyjnej	fragmenty ocieplenia	+	sztuczne włókna mineralne
BUDYNKI MIESZKALNE				
11	Materiał ocieplający budynek	fragment płyty	–	–
12	Otulina rury ciepłowniczej	fragment włókniny	+	sztuczne włókna mineralne
13.	Ściany podokienne	plyty osłonowe przy wymienniku ciepła	+	chryzotyl
14.	Ściany boczne podokienne, sufity	plyty osłonowe, wewnętrzne	+	chryzotyl



bek wymagały stosowania różnych technik wstępnej obróbki dla uzyskania pyłu o stopniu rozdrobnienia odpowiednim do wstępnych obserwacji w mikroskopie stereoskopowym i preparatyki w cieczach immersyjnych. Wykonano i analizowano od kilku do kilkunastu preparatów z jednej próbki materiału. W większości przebadanych próbek stwierdzono obecność włókien chryzotylowych, były to płyty sufitowe, zakrywające konstrukcje żelbetowe stropu, płyty osłonowe przy wymiennikach ciepła, płyty osłonowe podokienne, sznury uszczelniające połączenia rur i kanałów wentylacyjnych oraz uszczelki połączeń rur. W próbce fragmentu obudowy pasa okiennego w hali produkcyjnej stwierdzono obecność chryzotyłu i krokidolitu. W kilku próbkach nie stwierdzono obecności włókien azbestu, natomiast stwierdzono obecność sztucznych włókien mineralnych (wełny skalnej lub szklanej). Były to fragmenty płyt wyguszających hałas podwieszonych pod sufitem hali produkcyjnej, fragmenty otuliny rurociągów ciepłowniczych oraz fragmenty płyt ocieplających halę produkcyjną.

PODSUMOWANIE

Przedstawiona metoda identyfikacji azbestu z wykorzystaniem mikroskopu polaryzacyjnego (MOP) umożliwia potwierdzenie lub wykluczenie obecności azbestu w próbkach materiałów pochodzących z różnych obiektów budowlanych i instalacji przeznaczonych do remontów, demontażu czy likwidacji. Metoda wymaga posiadania niedrogiego wyposażenia aparaturowego, tj. mikroskopu polaryzacyjnego, wyposażonego w dodatni kontrast fazowy, co umożliwia jej szerokie rozpowszechnienie w laboratoriach. Identyfikacja odmian azbestu występujących w próbkach materiałowych oparta jest na badaniach właściwości optycznych, takich jak: współczynnik załamania, anizotropia, pleochroizm, charakter optyczny, kąt wygaszania, barwa, morfologia. Zastosowanie tej metody wymaga od analityka nabycia odpowiednich umiejętności, najlepiej poprzez odbycie przeszkolenia w laboratorium prowadzącym takie badania.

Czas analizy jednej próbki materiałowej przez doświadczonego analityka nie przekracza 1 godziny, a więc jest to bardzo szybka metoda potwierdzenia obecności azbestu. Metoda pozwala wykryć zawartość azbestu przekraczającą 0,1% masy próbki. Wykrywalność ta jest wystarczająca dla produkowanych i stosowanych materiałów azbestowych. Zastosowanie mikroskopu optycznego stwarza pewne ograniczenie, dotyczące bardzo cienkich włókien; przy powiększeniu 400x w preparacie mikroskopowym widoczne są włókna o minimalnych średnicach 0,3 μm , badanie anizotropii włókien można prowadzić dla włókien o średnicach powyżej 0,5–0,6 μm , natomiast pełną analizę identyfikacyjną dla włókien o średnicach około 2–3 μm .

PODZIĘKOWANIA

Autorka serdecznie dziękuje prof. Staffanowi Krantz z Instytutu Badań Środowiskowych (Institute for Applied

Environmental Research) Uniwersytetu Sztokholmskiego za stworzenie organizacyjnych możliwości do odbycia szkolenia w zakresie identyfikacji azbestu w próbkach materiałów metodą mikroskopii optycznej.

Szczególnie serdeczne podziękowania należą się dr. Lennartowi Lundgren za wielki entuzjazm dla opisywanej metody i interesujące, pełne zaangażowania przeprowadzenie szkolenia.

PIŚMIENNICTWO

1. Zbiór przepisów i procedur dotyczących bezpiecznego postępowania z wyrobami zawierającymi azbest. Departament Restrukturyzacji Przemysłu, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2001.
2. Azbest w budownictwie i w przemyśle. Materiały Ogólnokrajowej Konferencji Naukowo-Technicznej, 24 listopada 1988, Łódź. Naczelna Organizacja Techniczna, Łódź 1988.
3. Azbest i inne naturalne włókna mineralne. Kryteria zdrowotne środowiska. Tom 53. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1990.
4. Woźniak H., Więcek E.: Asbestos and asbestos-related diseases. *Ann. Agric. Environ. Med.* 1996; 3: 1–8.
5. Crable J.V.: Quantitative determination of chrysotile, amosite and crocidolite by X-ray diffraction. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1966; 27: 293–298.
6. Crable J.V., Knott M.J.: Application of X-ray diffraction to the determination of chrysotile in bulk or settled dust samples. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1966; 27: 383–387.
7. Crable J.V., Knott M.J.: Quantitative X-ray diffraction analysis of crocidolite and amosite in bulk or settled dust samples. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1966; 27: 449–459.
8. Chrysotile asbestos (bulk) by XRD. NIOSH method 9000. National Institute of Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH 1994.
9. Luoma G.A., Yee L.K., Rowland R.: Determination of Microgram of Asbestos in Mixtures by Infrared Spectrometry. *Anal. Chem.* 1982; 54: 2140–2142.
10. Polarized light microscopy of asbestos. OSHA method ID-191. Occupational Safety and Health Administration, Salt Lake City, UT 1992.
11. Klinger P.A., Nicholson K.R.: Asbestos (bulk) by PLM. NIOSH method 9002. National Institute of Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH 1994.
12. Perkins R.L., Harvey B.W.: Test method for the determination of asbestos in bulk building materials. EPA/600/R-93/116. Environmental Protection Agency, Washington, DC 1993.
13. Identyfikacja azbestu w materiałach sypkich metodą mikroskopii optycznej (PLM). Contract MAT1-CT 93-0003 [raport końcowy]. National Institute of Occupational Health, Copenhagen 1996.
14. Costa U., Bruni M., Cimini F.: Detection of asbestos on ships: the optical microscope as an investigative technique. *Med. Lav.* 1997; 88 (6): 507–516.
15. Sachambiński M., Łobocka E.: Skazenie środowiska azbestem wywołane eksploatacją dolnośląskich skał maficznych (amfibolitów, gabbro, diabazów i serpentynitów). *Górnictwo Odkrywkowe* 2001; 43 (4): 102–121.

