

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 16**  
(styczeń–marzec)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok VII**

**Warszawa–Opole 2014**

---

ELŻBIETA GIERGICZNY\*

## Identyfikacja azbestu w materiałach budowlanych

**Słowa kluczowe:** azbest, identyfikacja, materiały budowlane, dyfraktometria rentgenowska.

Przed przystąpieniem do prac związanych z usuwaniem i zabezpieczeniem wyrobów azbestowych należy w pierwszej kolejności przeprowadzić badania pozwalające na stwierdzenie, czy w materiałach przewidzianych do usunięcia obecny jest azbest.

W prezentowanej pracy przedstawiono rezultaty badań identyfikacji azbestu w materiałach budowlanych metodą proszkową dyfrakcji rentgenowskiej przy wykorzystaniu dyfraktometru X'Change firmy Philips. Potwierdzono, że metoda ta jest w pełni przydatna do jakościowej oceny zawartości azbestu w materiałach budowlanych.

### 1. Wprowadzenie

Azbest ze względu na swoje unikalne właściwości, takie jak: giętkość i sprężystość włókien, wysoką wytrzymałość na rozciąganie, bardzo dobre właściwości termoizolacyjne i dźwiękochłonne, znaczną odporność na czynniki chemiczne i wysoką temperaturę, stosowany był w wielu technologiach. Jego szerokie zastosowanie w stosunkowo dużych ilościach miało miejsce, niemal na całym świecie, w ostatnich stu latach. Również i w Polsce azbest stosowany był do produkcji wielu wyrobów przemysłowych, a przede wszystkim do produkcji materiałów budowlanych. Blisko 90% azbestu używano do produkcji wyrobów azbestowo-cementowych, takich jak: płyty faliste do pokryć dachowych, płyty prasowane płaskie do dachów, elewacji, ścian osłonowych i działowych, rury wysokociśnieniowe i kanalizacyjne, przewody kominowe oraz osłony przewodów ciepłowniczych i wentylacyjnych. Wyroby azbestowo-cementowe zawierają w swoim składzie od 10 do 18% azbestu; są one ogniotrwałe, wytrzymałe na działania mechaniczne, lekkie i trwałe [1–3].

---

\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, e.giergiczny@icimb.pl

Po kilkudziesięciu latach powszechnego stosowania azbestu okazało się, że jest on bardzo niebezpieczny dla zdrowia człowieka. W latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku zostało udokumentowane i powszechnie uznane rakotwórcze działanie azbestu. Chorobotwórcze działanie azbestu jest wynikiem obecności włókien azbestowych w powietrzu. Szczególnie niebezpieczne są włókna respirabilne, tzn. o długości powyżej 5  $\mu\text{m}$ , średnicy poniżej 3  $\mu\text{m}$  i stosunku długości do średnicy większej od 3. Dopóki włókna azbestowe nie są uwalniane do powietrza i wdychane, wyroby zawierające azbest nie stanowią zagrożenia dla zdrowia ludzi. W przeszłości na szkodliwe działanie azbestu narażeni byli pracownicy fabryk, w których produkowano wyroby azbestowe i osoby zajmujące się ich montażem. Obecnie główne źródła zagrożenia stanowią wyroby azbestowe, które wskutek korozji (głównie karbonatyzacji) w coraz większym stopniu emitują do środowiska szkodliwe włókna. Czynnikiem uwalniającym włókna azbestu do powietrza mogą być również mechaniczne uszkodzenia wyrobów podczas ich demontażu [1–3].

W roku 1997 w Polsce została wydana ustawa o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest [4], a w 2002 r. Rada Ministrów przyjęła „Program usuwania azbestu i wyrobów zawierających azbest stosowanych na terytorium Polski”. Kontynuacją i aktualizacją tego programu jest „Program Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009–2032” [5–6]. Przy wprowadzaniu tego programu szacowano, że na terenie kraju użytkowanych jest jeszcze 14,5 mln ton wyrobów zawierających azbest, z czego co najmniej 95% stanowią materiały budowlane. Przyjęte programy mają na celu eliminację i unieszkodliwianie wyrobów azbestowych w sposób kontrolowany i bezpieczny, tak aby nie powodować zwiększenia emisji włókien do środowiska.

Azbest jest nazwą handlową włóknistych materiałów, które pod względem chemicznym są uwodnionymi krzemianami metali, zawierającymi w swoim składzie magnez, sód, wapń lub żelazo.

Pod względem mineralogicznym rozróżnia się dwie grupy azbestów: grupę serpentynów i grupę azbestów amfibolowych.

Do grupy serpentynów należy tylko jedna odmiana azbestu – azbest chryzotylowy (uwodniony krzemian magnezu  $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), który był wydobywany i stosowany w największych ilościach (85–90% ogólnego zużycia azbestu). Włókna azbestu chryzotylowego są najcieńsze ze wszystkich znanych włókien pochodzenia naturalnego. Mają kształt rurek, których przeciętna średnica wynosi 350 Å, grubość włókien wynosi 15–42 nm, zaś długość dochodzi do 60 mm. Chryzotyl ma kolor żółtawy, po rozwłóknieniu prawie biały, jest miękki i jedwabisty. Często nazywany jest białym azbestem [1, 7].

W grupie amfibolowej wyróżnia się pięć odmian minerałów włóknistych o ogólnym wzorze chemicznym  $\text{M}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ , przy czym M oznacza: wapń, magnez,

sód lub żelazo o różnym udziale. Do azbestów amfibolowych należą: amozyt, krokidolit, antofillit, tremolit i aktynolit. Dwa ostatnie nie posiadają znaczenia przemysłowego. Włókna azbestów amfibolowych są grubsze i twardsze od chryzotyli, a ich przeciętna średnica wynosi 100–300 nm. Amozyt (azbest brązowy) jest krzemianem żelazowo-magnezowym, krokidolit (zwany azbestem niebieskim) jest krzemianem sodowo-żelazowym, a antofillit krzemianem magnezowym zawierającym żelazo. Krokidolit najczęściej spośród amfiboli był stosowany w przemyśle. Ze względu na kształt włókien i skład chemiczny jest on azbestem najbardziej agresywnym biologicznie [1, 7].

Przed przystąpieniem do prac związanych z usuwaniem i zabezpieczeniem wyrobów azbestowych należy w pierwszej kolejności przeprowadzić badania pozwalające na stwierdzenie, czy w materiałach przewidzianych do usunięcia obecny jest azbest.

Azbesty są ciałami stałymi o budowie krystalicznej, co umożliwia wykorzystanie dyfraktometrii rentgenowskiej do ich identyfikacji w różnych materiałach.

W prezentowanym artykule przedstawiono wyniki identyfikacji azbestu metodą proszkową dyfrakcji rentgenowskiej przy wykorzystaniu dyfraktometru X'Change firmy Philips. Potwierdzono, że metoda ta jest przydatna do jakościowej oceny zawartości azbestu w materiałach budowlanych.

## 2. Część doświadczalna

### 2.1. Materiały użyte do badań

Materiałami użytymi do badań były próbki materiałów budowlanych dostarczone przez zleceniodawców zewnętrznych. Próbki opisano w następujący sposób:

- próbka 1 – fragment płyty falistej w kolorze szarym, pobrany z miejsca składowania płyt przy budynku mieszkalnym;
- próbka 2 – izolacja termiczna chroniąca napowietrzny rurociąg ciepłowniczy, składająca się z dwóch warstw – jedną stanowiły „zbite” włókna koloru szaro-brązowego, drugą natomiast zaprawa cementowa w kolorze szarym;
- próbka 3 – fragment płyty cementowej ze ściany działowej w hali magazynowej;
- próbka 4 – fragment płyty cementowej ze ściany działowej w domku letniskowym.

Próbki materiałów budowlanych przed badaniem zostały rozkruszone i rozmielone w młynku, a następnie roztarte w moździerzu agatowym, tak aby całość próbki przeszła przez sito o rozmiarach oczka 0,040 mm. W przypadku próbki izolacji termicznej (próbka 2) każdą warstwę przygotowywano oddzielnie. Część

sproszkowanych próbek poddano działaniu 10% kwasu solnego w celu usunięcia (przynajmniej częściowego) minerałów węglanowych obecnych w badanych materiałach budowlanych [8]. Po przemyciu wodą destylowaną, przesączeniu i wysuszeniu próbki poddawano dodatkowej analizie.

## 2.2. Metodyka badań

Do identyfikacji azbestu w próbkach materiałów budowlanych wykorzystano metodę proszkową dyfrakcji rentgenowskiej przy wykorzystaniu dyfraktometru X'Change firmy Philips (promieniowanie  $\text{CuK}\alpha$ ). Pomiarzy zostały wykonane w zakresie kątów  $2\theta$  od  $5^\circ$  do  $60^\circ$ , przy szybkości rejestracji  $0,02^\circ 2\theta/\text{s}$ . Do identyfikacji faz, których refleksy zostały zarejestrowane na dyfraktogramach, wykorzystano program PC-Identify wyposażony w bazę danych rentgenograficznych JCPDS.

W przypadku próbki 1 (płyta falista) prawidłowość interpretacji wyników uzyskanych metodą XRD potwierdzono badaniami z wykorzystaniem mikroskopii elektronowej sprzężonej ze spektrometrem rentgenowskim. Obserwacje mikroskopowe przeprowadzono przy użyciu mikroskopu elektronowego NOVA NONO SEM 200.

## 2.3. Wyniki badań

Celem prowadzonych badań było stwierdzenie, czy materiały budowlane, które zostały dostarczone do badań, zawierają azbest.

Przeprowadzona na wstępie ocena makroskopowa (wizualna) fragmentów płyt budowlanych i warstwy zaprawy z izolacji termicznej rurociągu pozwoliła na stwierdzenie, że w badanych materiałach obecne są włókna. Dalsze badania miały na celu wykazanie, czy zaobserwowane włókna są włóknami azbestu.

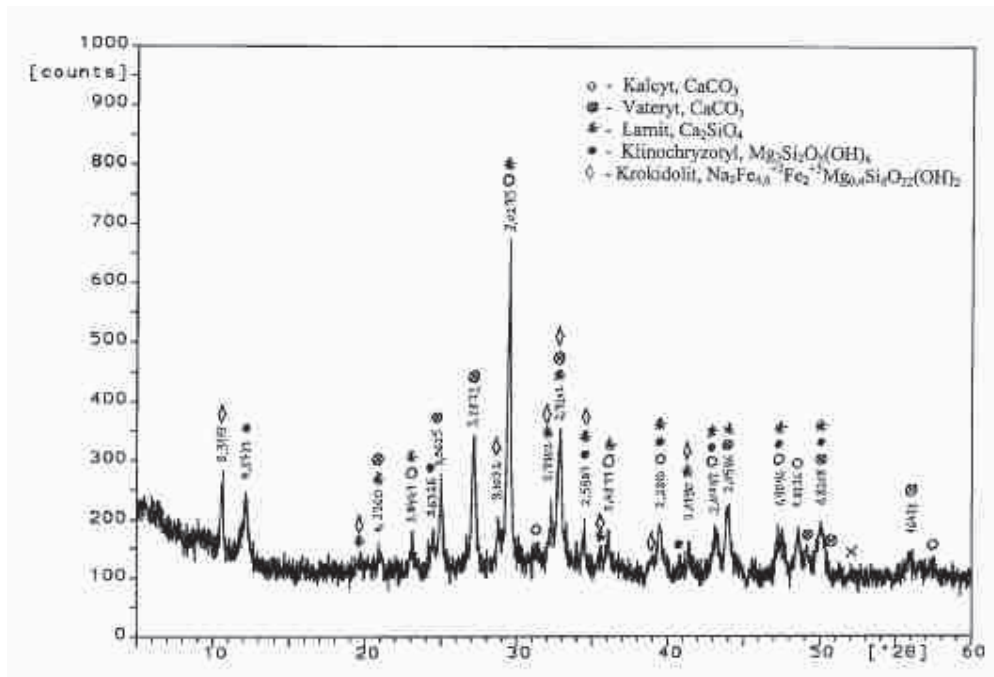
### Próbka 1

W pierwszej kolejności wykonano badania sproszkowanego fragmentu płyty falistej. Dyfraktogram przedstawiono na rycinie 1.

Na podstawie przeprowadzonej analizy dyfraktometrycznej stwierdzono, że głównymi fazami krystalicznymi występującymi w badanej próbce są: węglan wapnia  $\text{CaCO}_3$  w dwóch odmianach polimorficznych – kalcytu i waterytu – oraz larnit  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ . Stwierdzono ponadto obecność głównych refleksów charakterystycznych dla klinochryzotyłu  $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  ( $d_{\text{hkl}}$ :  $7,2727\text{\AA}$  i  $3,6326\text{\AA}$ ) oraz dla krokidolitu  $\text{Na}_2\text{Fe}_{4,6}^{+2}\text{Fe}_2^{+3}\text{Mg}_{0,4}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  ( $d_{\text{hkl}}$ :  $8,3119\text{\AA}$  i  $3,1032\text{\AA}$ ), które nie są w koincydencji z refleksami pochodzącymi od innych związków.

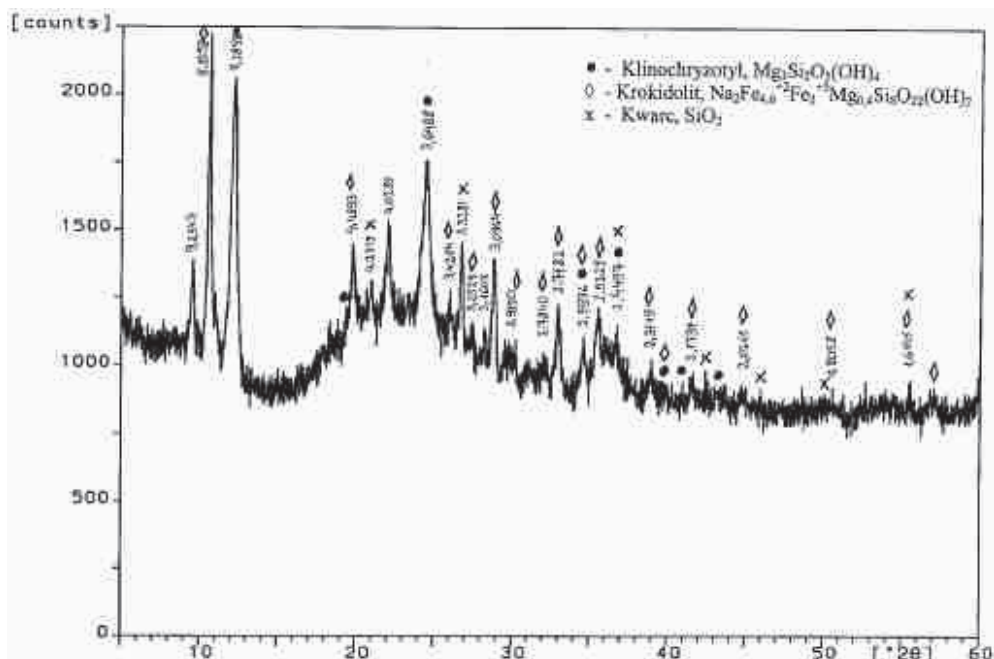
Dla potwierdzenia obecności tych minerałów w badanej płycie przeprowadzono również analizę XRD próbki poddanej działaniu 10% kwasu solnego. Wynik

przedstawia dyfraktogram zamieszczony na rycinie 2. Potwierdzono obecność w badanej płycie klinochryzotylu i krokidolitu. Refleksy zarejestrowane na dyfraktogramie (ryc. 2) i przypisane tym minerałom są zgodne z danymi krystalograficznymi klinochryzotylu i krokidolitu zamieszczonymi w kartotece JCPDS (nr karty: 43-0662 i 27-1415).



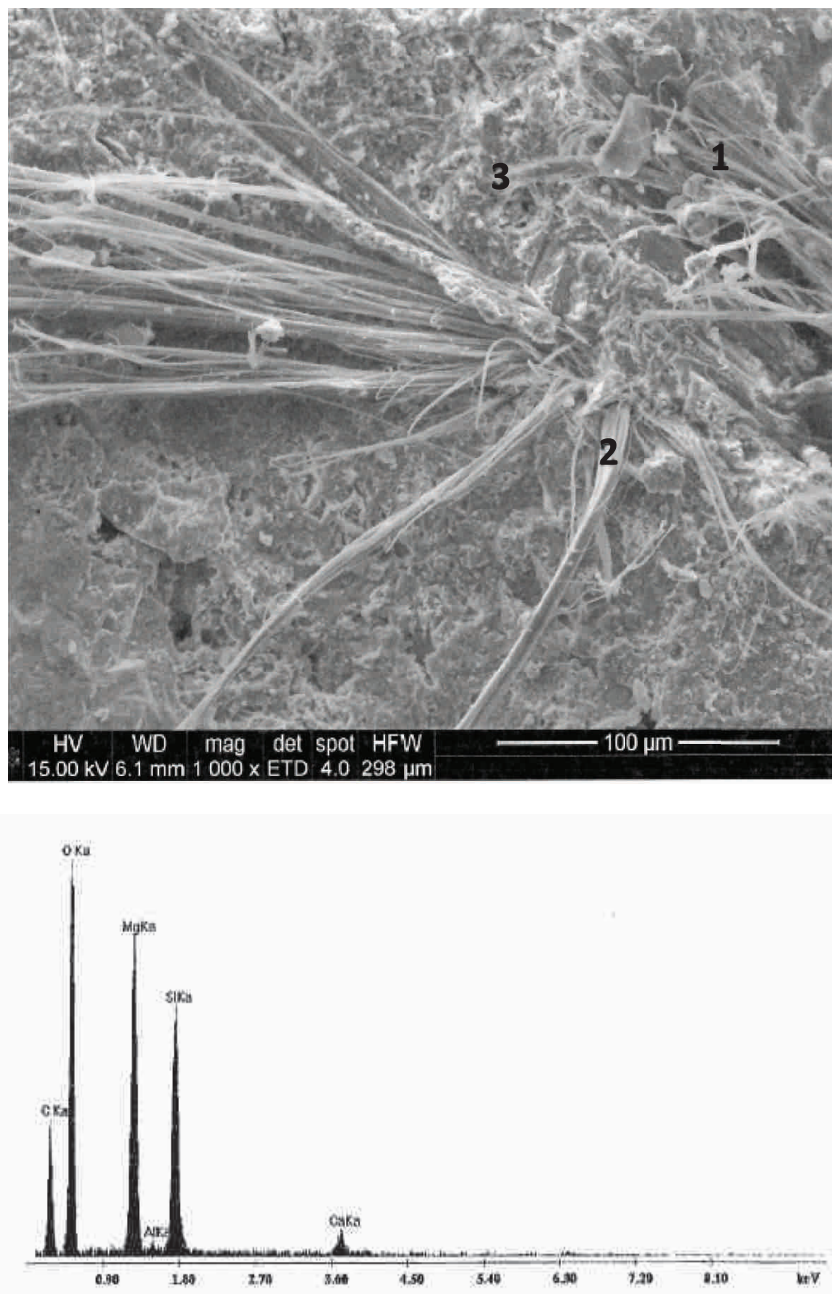
Ź r ó ł o: Ryciny 1–8 opracowanie własne.

Ryc. 1. Dyfraktogram fragmentu płyty falistej pobrany z miejsca składowania płyt przy budynku mieszkalnym



Ryc. 2. Dyfraktogram fragmentu płyty falistej pobrany z miejsca składowania płyt przy budynku mieszkalnym (próbka poddana działaniu 10% HCl)

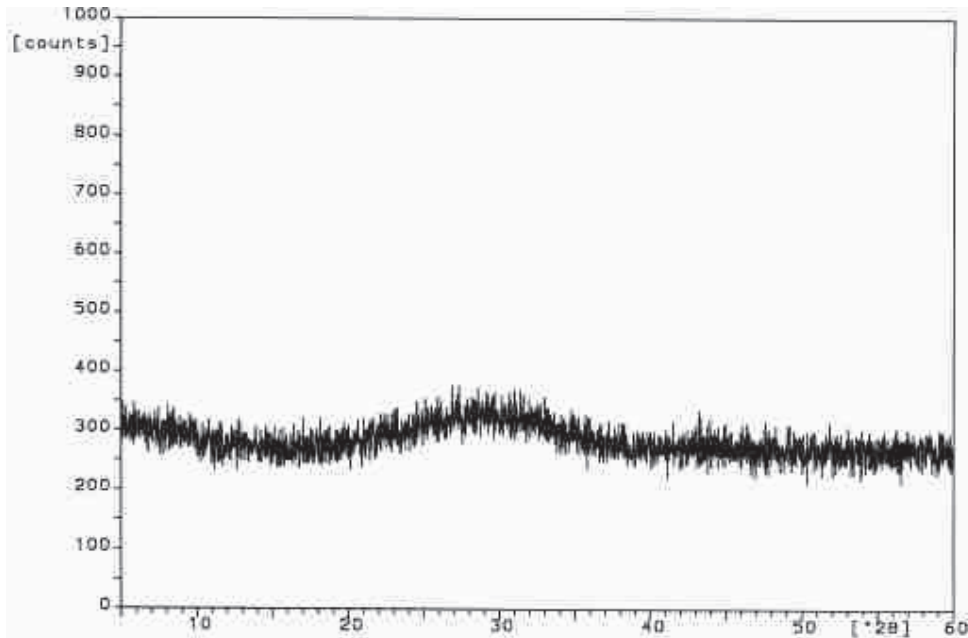
Dla próbki 1 wykonano również badania z zastosowaniem mikroskopii elektronowej sprzężonej ze spektrometrem rentgenowskim. Obraz mikroskopowy badanej próbki wraz z identyfikacją wykonaną przy pomocy analizatora rentgenowskiego w mikroobszarze przedstawiono na rycinie 3. Badania mikroskopowe potwierdziły, że w badanej próbce obecne są włókna azbestu. Analiza punktowa powierzchni włókien (punkty 1, 2 i 3 na ryc. 3) wykazała, że występują tu przede wszystkim takie pierwiastki, jak: magnez, krzem i tlen, co świadczy o tym, że badane włókna zbudowane są z uwodnionego krzemianu magnezu.



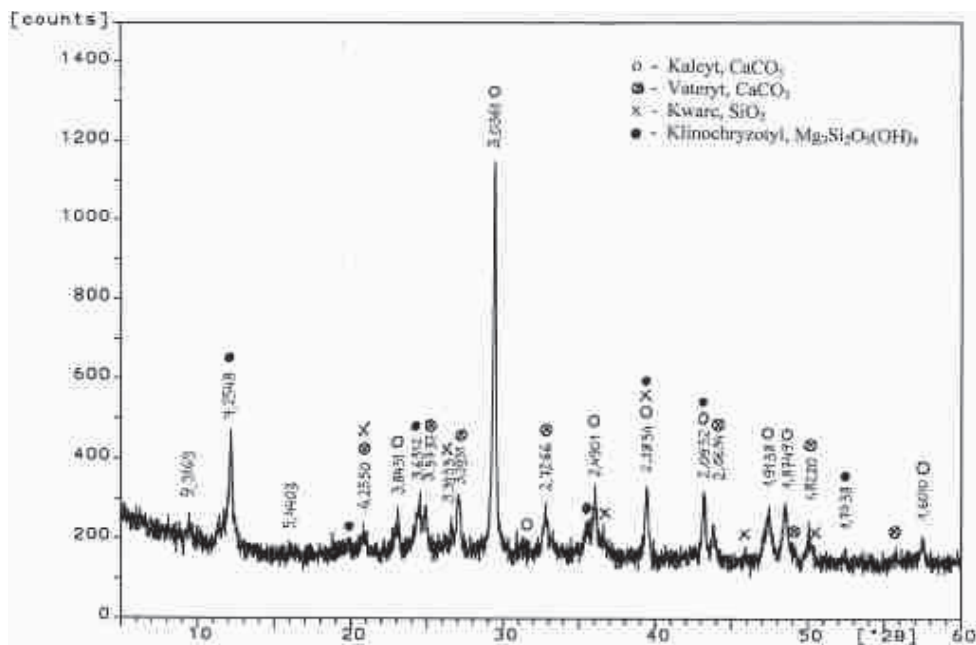
Ryc. 3. Obraz mikroskopowy fragmentu płyty falistej oraz analiza EDX zaobserwowanych włókien (punkt 2 na zdjęciu)

## Próbka 2

Próbkę 2 stanowił fragment izolacji termicznej chroniącej napowietrzny rurociąg ciepłowniczy, składający się z dwóch warstw. Jedną warstwę stanowiły włókna koloru szarobrazowego, drugą natomiast zaprawa cementowa. Wyniki analizy XRD przedstawiono na rycinach 4 i 5.



Ryc. 4. Dyfraktogram warstwy „zbitych” włókien z izolacji termicznej chroniącej napowietrzny rurociąg ciepłowniczy



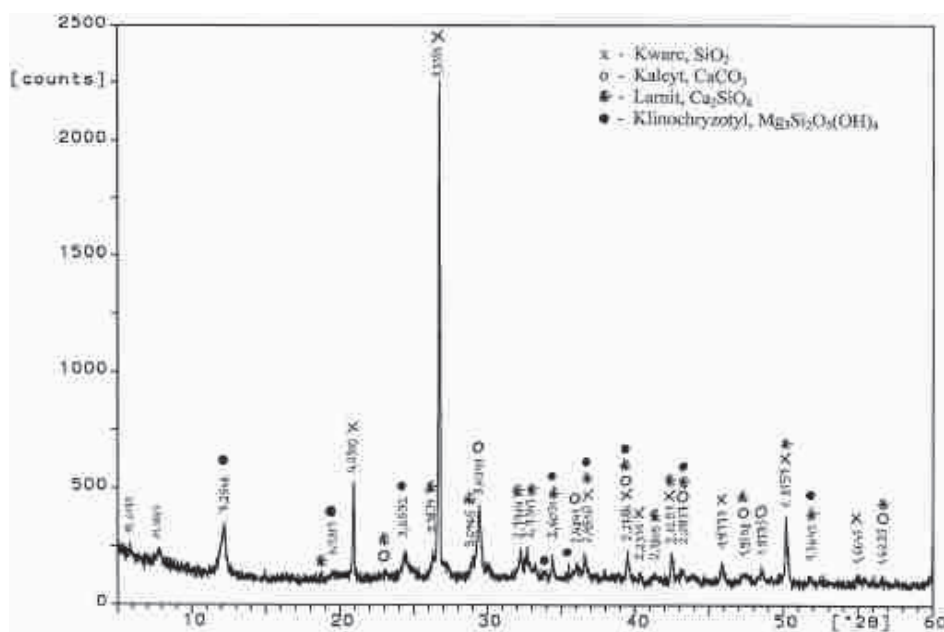
Ryc. 5. Dyfraktogram zaprawy z izolacji termicznej chroniącej napowietrzny rurociąg ciepłowniczy



Na dyfraktogramie warstwy „zbitych” włókien nie pojawiły się żadne refleksy od faz krystalicznych (ryc. 4). Badane włókna są substancją amorficzną, a więc nie są to włókna azbestowe. Najprawdopodobniej warstwę tę stanowi tzw. wata szklana. W badanej zaprawie cementowej (dyfraktogram – ryc. 5) stwierdzono obecność następujących faz krystalicznych: kalcytu, waterytu, kwarcu i klinochryzotyłu. Na dyfraktogramie zarejestrowane są wszystkie refleksy charakterystyczne dla klinochryzotyłu, a dwa najsilniejsze ( $d_{hkl}$ : 7,2548Å i 3,6312Å) nie są w koincydencji z refleksami pochodzącymi od innych minerałów. Można zatem stwierdzić, iż badana warstwa izolacji termicznej zawiera włókna azbestu chryzotylowego.

### Próbka 3

Dyfraktogram płyty cementowej ze ściany działowej w hali magazynowej przedstawia rycina 6. Zidentyfikowano w niej obecność następujących faz krystalicznych: kwarcu, kalcytu, klinochryzotyłu i larnitu. Refleksy pochodzące od klinochryzotyłu są bardzo wyraźne, a najsilniejsze z nich nie wchodzi w koincydencję z refleksami od innych substancji krystalicznych. Na tej podstawie można stwierdzić, że włókna widoczne gołym okiem w badanej płycie cementowej są włóknami azbestu chryzotylowego.

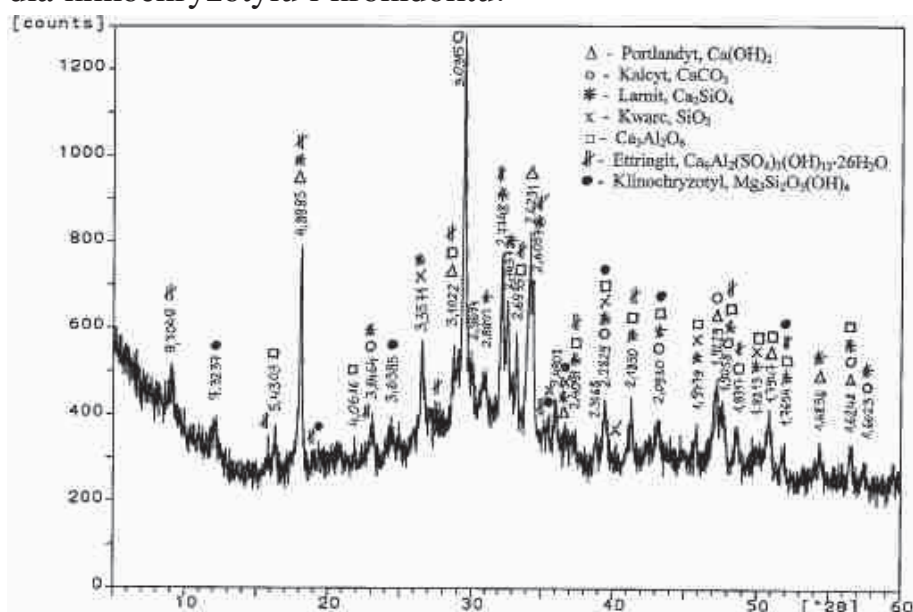


Ryc. 6. Dyfraktogram płyty cementowej ze ściany działowej w hali magazynowej

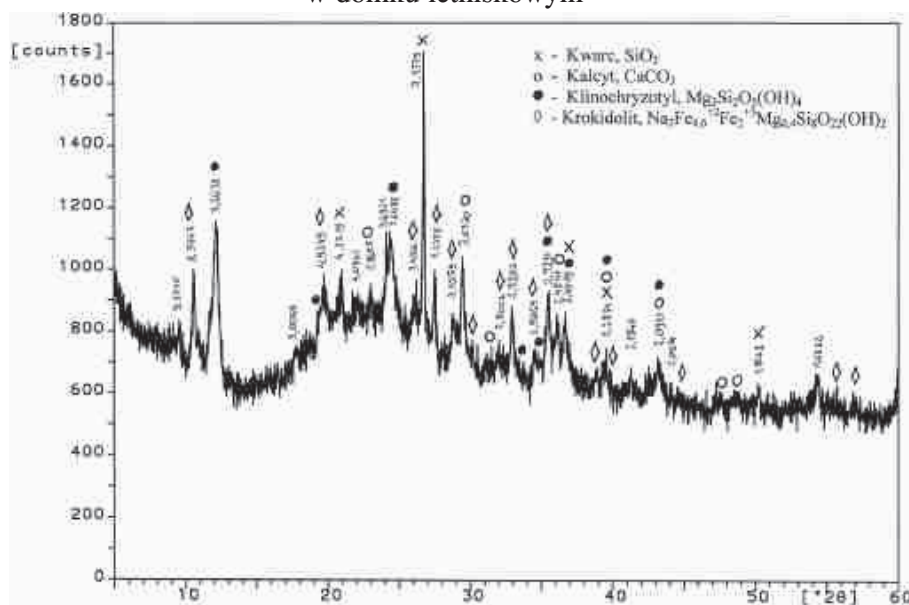
### Próbka 4

Próbkę 4 (fragment płyty cementowej ze ściany działowej w domku letniskowym) poddano badaniom XRD dwukrotnie. W pierwszym etapie wykonano badania rozmielonego fragmentu płyty (dyfraktogram – ryc. 7), a następnie badania rozdrobionej próbki, poddanej działaniu 10% kwasu solnego (dyfraktogram – ryc. 7). Pierwsza analiza wykazała, że w badanym fragmencie płyty obecne są

następujące fazy krystaliczne: kalcyt  $\text{CaCO}_3$ , portlandyt  $\text{Ca(OH)}_2$ , kwarc  $\text{SiO}_2$ , larnit  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  i ettringit  $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$ . Stwierdzono ponadto obecność głównych refleksów charakterystycznych dla klinochryzotylu  $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  ( $d_{\text{hkl}}$ : 7,3237Å i 3,6385Å), które nie pokrywały się z refleksami pochodzącymi od innych związków. Refleksy te miały stosunkowo niską intensywność, dlatego wykonano powtórne badanie dla próbki poddanej działaniu 10% kwasu solnego. Druga analiza potwierdziła obecność klinochryzotylu oraz pokazała, że w badanej płycie obecny jest również krokidolit. Na otrzymanym dyfraktogramie (ryc. 8) zarejestrowane są wszystkie główne refleksy charakterystyczne dla klinochryzotylu i krokidolitu.



Ryc. 7. Dyfraktogram fragmentu płyty cementowej ze ściany działowej w domku letniskowym



Ryc. 8. Dyfraktogram fragmentu płyty cementowej ze ściany działowej w domku letniskowym (próbka poddana działaniu 10% HCl)

### 3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność dyfrakcji rentgenowskiej do identyfikacji obecności azbestu w materiałach budowlanych. Badania dotyczyły fragmentów płyt budowlanych i dwuwarstwowej izolacji termicznej napowietrznego rurociągu. Dokonana na wstępie ocena wizualna każdej próbki wykazała, że w materiałach przeznaczonych do badań obecne są włókna, natomiast wyniki analiz dyfraktometrycznych pozwoliły na stwierdzenie, że są to włókna azbestu. Tylko w przypadku warstwy izolacji termicznej, którą tworzyły „zbite” włókna koloru szarobrunatnego, analiza XRD wykazała, że badane włókna mają postać amorficzną, a więc nie są to włókna azbestu.

Analizy dyfraktometryczne wykonano dla próbek otrzymanych przez rozmielenie otrzymanych materiałów oraz w dwóch przypadkach dla próbek poddanych działaniu 10% kwasu solnego. Poprzez usunięcie minerałów, które rozpuściły się w kwasie, uzyskano znacznie lepszy obraz refleksów charakterystycznych dla minerałów azbestowych (refleksy miały większą intensywność oraz większa ich liczba nie była w koincydencji z refleksami pochodzącymi od innych minerałów).

W płycie falistej pobranej ze składowiska i w płycie ze ściany działowej w domu letniskowym (próbki nr 1 i 4) zidentyfikowano klinochryzotyl i krokidolit, natomiast w warstwie zaprawy cementowej izolacji rurociągu (próbka nr 2) i w płycie cementowej ze ściany działowej w hali magazynowej (próbka nr 3) tylko klinochryzotyl. Mineral ten jest odmianą chryzotyłu, który krystalizuje w układzie jednoskośnym [9], należy do grupy serpentynów, znany jest jako azbest chryzotylowy. Krokidolit natomiast należy do grupy azbestów amfibolowych.

Dodatkowe badania wykonane dla płyty falistej (próbka nr 1) przy użyciu mikroskopu elektronowego sprzężonego z analizatorem rentgenowskim potwierdziły obecność włókien azbestowych w tym materiale (ryc. 3).

Przeprowadzone badania identyfikacyjne azbestu w materiałach budowlanych przy wykorzystaniu dyfraktometrii rentgenowskiej proszkowej potwierdziły, że jest to metoda w pełni przydatna do tego celu.

### Literatura

- [1] Sz e s z e n i a - D ą b r o w s k a N., S o b a l a W., *Zanieczyszczenie środowiska azbestem – skutki zdrowotne. Raport z badań*, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Oficyna Wydawnicza MA, Łódź 2010.
- [2] P y s s a J., R o k i t a G.M., *Azbest – występowanie, wykorzystanie i sposób postępowania z odpadami azbestowymi*, „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2007, t. 23, z. 1, s. 49–61.
- [3] B a j o r e k R., P a r o s a R., *Azbest – zastosowanie i szkodliwe oddziaływanie*, <http://www.izolacje.com.pl/arttykul/id286,azbest...> (15.02.2011).

- [4] Ustawa z dnia 19 czerwca 1997 r. o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest, Dz.U. z 1997 r. nr 101, poz. 628 ze zm.
- [5] Program usuwania azbestu i wyrobów zawierających azbest stosowanych na terytorium Polski przyjęty przez Radę Ministrów Rzeczypospolitej Polskiej w dniu 14 maja 2002 r., [https://www.mg.gov.pl/NR/rdonlyres/.../6578\\_raportazb2.pdf](https://www.mg.gov.pl/NR/rdonlyres/.../6578_raportazb2.pdf) (3.02.2014).
- [6] Program Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009–2032, załącznik do uchwały nr 39/2010 Rady Ministrów z dnia 15 marca 2010 r., <http://www.mg.gov.pl/Bezpieczenstwo+gospodarcze/Program+Oczyszczania+Kraju+z+Azbestu/Informacja+o+Programie> (3.02.2014).
- [7] Z a r e m b a T., P e s z k o M., *Investigation of the thermal modification of asbestos waste for potential use in ceramic formulation*, „Journal of Thermal Analysis and Calorimetry” 2008, Vol. 92, No. 3, s. 873–877.
- [8] S ą k o l G., B r e w c z y ń s k i P.Z., B i e n e k M., *Określenie rodzaju azbestu w izolacji termicznej metodą proszkową (DSH) dyfrakcji rentgenowskiej*, „Medycyna Środowiskowa/Environmental Medicine” 2012, Vol. 15, nr 3, s. 72–77.
- [9] B o l e w s k i A., *Mineralogia szczegółowa*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1982.

## ELŻBIETA GIERGICZNY

### IDENTIFICATION OF ASBESTOS IN BUILDING MATERIALS

**Keywords:** asbestos, identification, building materials, X-ray diffraction.

Prior to the work of removing and securing of asbestos products it is necessary to carry the research allowing to determine whether the asbestos is present in the materials provided for removal.

In this paper the results of identification of asbestos in building materials by powder X-ray diffraction method using X'Change diffractometer from Philips have been presented. It was confirmed that of X-ray diffraction method is fully useful for qualitative assessment of the presence of asbestos in building materials.