

Krzysztof Kadlewicz*

BADANIA STEŻEŃ WŁÓKIEN AZBESTU W POWIETRZU NA STANOWISKACH PRACY I W ŚRODOWISKU

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodykę badań stężeń włókien azbestu w powietrzu, na stanowiskach pracy i w środowisku. Omówiono regulacje prawne, uzasadniające tego typu badania oraz doświadczenia Laboratorium Badań Środowiska Pracy i Ochrony Powietrza Głównego Instytutu Górnictwa (powstało w 1998 r.) z zakresu badań, kontaktów z inwestorami i wykonawcami prac związanych z usuwaniem wyrobów zawierających azbest. Badania są wykonywane na stanowiskach pracy, podczas usuwania wyrobów z azbestem z różnych obiektów, głównie z budynków mieszkalnych, oraz w środowisku, na przykład w rejonach remontowanych obiektów, w celu oceny poprawności wykonywanych prac.

W artykule przedstawiono także informacje o wyposażeniu Laboratorium, metodyce pobierania próbek powietrza oraz dokumentowaniu i niepewności wyników.

Laboratorium Badań Środowiska Pracy i Ochrony Powietrza posiada Certyfikat Polskiego Centrum Akredytacji nr AB 301. Od 2003 roku zakres akredytacji obejmuje między innymi pobieranie próbek do oznaczania stężeń liczbowych włókien respirabilnych azbestu w środowisku pracy i środowisku zewnętrznym. Próbkę są pobierane według opracowanej w Laboratorium procedury badawczej (PB-11), w systemie zarządzania zgodnym z normą PN-EN ISO 17025:2005. W ramach wewnątrzinstytucyjnej współpracy, oznaczenia liczby włókien azbestu w próbkach są wykonywane metodą mikroskopii optycznej w Laboratorium Pomiarów Zapylenia Powietrza GIG według akredytowanej w Polskim Centrum Akredytacji procedury KD-2205-1.

Testing of the asbestos fibres concentration in the atmosphere at workstations and in the environment

Abstract

The paper presents the methodology for determining the concentrations of asbestos fibres in the atmosphere, at workstations and in the environment. There have been discussed the legal regulations, that substantiate this type of tests, and the experience of the Testing Laboratory for Work Environment and Atmosphere Protection of the Central Mining Institute, within the scope of testing, relations with the investors and contractors for works connected with the removal of asbestos-containing products. The tests are being conducted at workstations, when removing the products with asbestos from various buildings, mainly from dwelling houses, as well as in the environment, for example in the areas of renovated buildings, for estimation of correctness of performed work.

In the article, there have also been presented the information on the equipment of the testing laboratory, methodology of collecting air samples, as well as on documenting, and uncertainty of results. The Testing Laboratory for Work Environment and Atmosphere Protection holds the Certificate of the Polish Centre for Accreditation No. AB 301.

Since 2003, the scope of accreditation includes among other things, collecting the samples with the aim to determine the numerical concentrations of respirable asbestos fibres in the work and in the outer environment. The samples are being taken in accordance with the testing procedure (PB-11), worked out in the Laboratory, in the management system corresponding with the PN-EN ISO 17025:2005 standard. Within the range of intra-institute cooperation, determination of the numbers of asbestos fibres in the samples are made by using the optical microscopy method in the Laboratory for Measurements of Atmospheric Dust, according to the KD-2205-1 procedure, accredited in the Polish Centre for Accreditation.

* Główny Instytut Górnictwa.

WPROWADZENIE

Azbest jest minerałem z grupy serpentynów lub amfiboli. W przyrodzie występuje w postaci igielkowatych skupień, ma strukturę włóknistą i budowę krystaliczną. Znanych jest kilka typów azbestu: chryzotyl – minerał skałotwórczy z grupy serpentynów oraz pięć minerałów z grupy amfiboli: amozyt, aktynolit, antofyllit, krokidolit i tremolit. Azbest, ze względu na właściwości, był szeroko stosowany do produkcji materiałów ogniotrwałych, izolacyjnych i kwasoodpornych.

Na terenie kraju, według szacunków Ministerstwa Gospodarki, znajduje się około 15 500 tys. Mg wyrobów zawierających azbest, w tym 14 900 tys. Mg płyt azbestowo-cementowych oraz 600 tys. Mg rur i innych wyrobów. Spośród ostatnich należy wymienić przede wszystkim rury wodociągowe i kanalizacyjne oraz przewody kominowe.

Trwałość wyrobów azbestowo-cementowych określa się na 30 do 50 lat. Najdłuższa jest trwałość płyt azbestowo-cementowych, natomiast okres eksploatacji innych wyrobów jest z reguły krótszy. Niezależnie jednak od trwałości wyrobów azbestowych z upływem czasu pogarszał się ich stan techniczny. Był to ważny argument dotyczący rozpowszechniania, stosowania i egzekwowania bezpiecznych metod eksploatacji, usuwania, transportu i unieszkodliwiania odpadów powstałych z tych wyrobów (O azbeście... 2005).

Objawy chorobowe związane z ekspozycją na azbest zawodową, jak i środowiskową, występują najczęściej po długim czasie od pierwszego narażenia – około 10–40 lat. Przykładowo, latencja nowotworu – międzybłoniaka opłucnej – zwykle wynosi 30–40 lat. Z badań wynika, że zagrożenie na drodze pokarmowej jest znikome. Udowodnione rakotwórcze działanie włókien azbestu, dostającego się do organizmu z powietrza, było powodem ograniczania jego stosowania w przemyśle. Zakaz obrotu i stosowania azbestu w Unii Europejskiej obowiązuje od 2005 roku. W Polsce, Rozporządzeniem Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z 1996 roku (Rozporządzenie 1996) wprowadzono zakaz stosowania wyrobów azbestowych w budownictwie. Zgodnie natomiast z Ustawą z 19 czerwca 1997 roku o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest (Ustawa 1997), z małymi wyjątkami, nie mogą być wprowadzane, produkowane i stosowane wyroby zawierające azbest.

Zakazy i działania dotyczące azbestu zostały określone również w Prawie ochrony środowiska (Ustawa 2001a). Artykuł 160 tej ustawy brzmi: „1. Zabronione jest, z wyjątkiem przypadków określonych w ustawie i przepisach odrębnych, wprowadzanie do obrotu lub ponowne wykorzystanie substancji stwarzających szczególne zagrożenie dla środowiska. 2. Substancjami stwarzającymi szczególne zagrożenie dla środowiska są w szczególności: 1) azbest, (...) art. 161: „1. Substancje stwarzające szczególne zagrożenie dla środowiska powinny być wykorzystywane, przemieszczane i eliminowane przy zachowaniu szczególnych środków ostrożności. 2. Instalacje lub urządzenia, w których są lub były wykorzystywane substancje stwarzające szczególne zagrożenie dla środowiska, powinny zostać oczyszczone lub unieszkodliwione”.

Odrębne, istotne regulacje prawne dotyczące azbestu wynikają z Ustawy o odpadach (Ustawa 2001b). Odpady zawierające azbest, jako odpady niebezpieczne, muszą być w odpowiedni sposób zabezpieczane, transportowane i składowane.

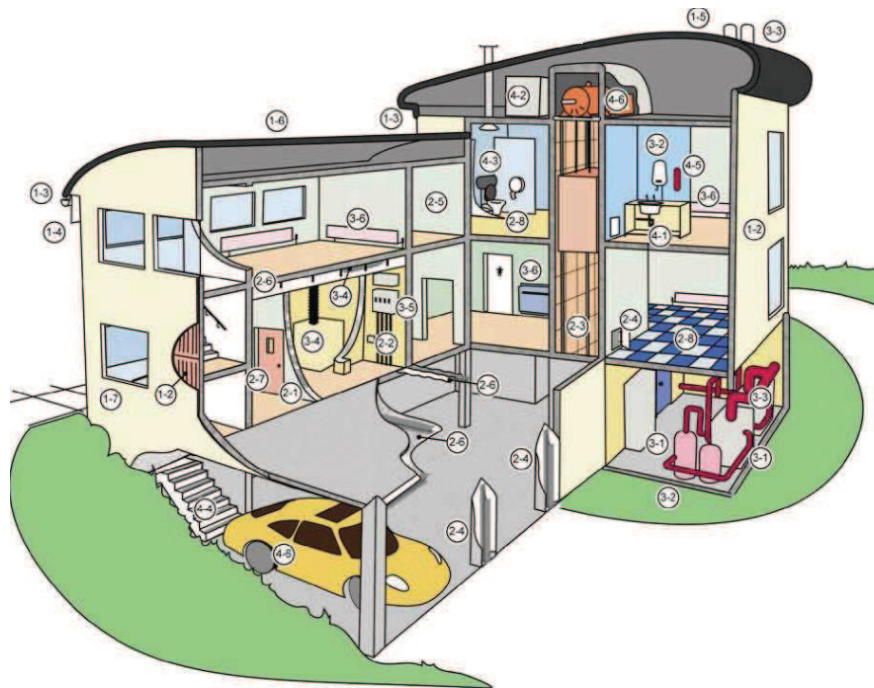
Zgodnie z założeniami zawartymi w „Programie usuwania azbestu i wyrobów zawierających azbest, stosowanych na terytorium Polski”, do 2032 roku powinno nastąpić sukcesywne usuwanie tych wyrobów oraz stopniowa likwidacja negatywnego ich oddziaływania na człowieka i środowisko.

Występowanie azbestu kojarzy się głównie z pokryciami dachów (eternit falisty, płytki karo) i elewacjami budynków (płyty acekol). Często w budynkach wielorodzinnych występuje również w kanałach wentylacyjnych, przewodach kominowych, obudowach zsyków i wind. W przemyśle spotyka się go najczęściej w postaci izolacji czy uszczelnień: koce, sznury, maty, płótna, uszczelki – ciepłownictwo, energetyka, budownictwo przemysłowe.

Zawartość azbestu w produkowanych materiałach kształtowała się następująco: wyroby faliste produkowane w latach 60. zawierały od 11,5 do 15% masy suchej azbestu. Później produkowane w Polsce płyty azbestowo-cementowe zawierały różne ilości azbestu (w zależności od producenta) – od 10 do 14%. Do końca lat 70. do wyrobu płyt azbestowo-cementowych stosowano mieszankę krokidolitu i chryzotyłu, natomiast z początkiem lat 80. zaczęto używać wyłącznie chryzotyłu. Ogólnie można stwierdzić, że udział azbestu w wyrobach azbestowo-cementowych zależał od ich przeznaczenia i przedstawiał się następująco (Brzozowski, Obmiński 2004): w płytach płaskich prasowanych: 10–11%, w płytach falistych: 10–14%, w rurach niskociśnieniowych: 14–16%, w rurach wysokociśnieniowych: do 18% (czasem do 25%), w szczeliwach azbestowo-kauczukowych o nazwie GAMBIT, POLONIT: około 30%, w płaszczach cementowo-azbestowych: 20–70%, w płaszczach gipsowo-azbestowych: 20–60%, w sznurach różnej grubości: od kilku do kilkudziesięciu %, w tekturze azbestowej: < 50%, w płytach ognioochronnych z dodatkiem azbestu „Sokalit”: około 15%, w płytach ognioochronnych „Pyral”: około 35%, w płytach ligno-cementowych FIBROBET i ligno-cementowych modyfikowanych: 5–6%, w materiałach ciernych stosowanych w pojazdach: do 40%, w płaszczach ochronnych sieci ciepłej: około 37%, w masach izolacyjnych: 15–30% „kurzu azbestowego”.

Potencjalne miejsca w budynku mieszkalnym, w których może znajdować się azbest, przedstawiono na rysunku 1 (Azbest 2006).

W publikacji, z której pochodzi rysunek, zostały omówione przede wszystkim dobre praktyki usuwania azbestu słabo związanego, natomiast problem usuwania wyrobów zawierających azbest mocno związany, na przykład wyrobów azbestowo-cementowych, nie został dostatecznie przedstawiony. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że w tzw. starych krajach UE azbest słabo związany jest powszechnie stosowany nie tylko w przemyśle, lecz także w budownictwie mieszkaniowym. W przypadku Polski zapasy azbestu słabo związanego są znacznie mniejsze niż ilości wyrobów azbestowo-cementowych i z tego względu wydaje się celowe opracowanie poradnika dobrych praktyk w zakresie usuwania tych wyrobów (Fołtyn 2007).



Rys. 1. Schemat przedstawiający typowe umiejscowienie materiałów zawierających azbest w budynku (Azbest 2006): 1 – dach/elewacja zewnętrzna: 1-1 dachówki/blacha dachowa, 1-2 okładzina, powłoka ścienna, 1-3 orynnowanie/rury ściekowe, 1-4 panele podsufitowe, 1-5 deflektory kominowe, 1-6 pilśni dachowa, 1-7 panele podokienne, 2 – elewacja wewnętrzna: ściany/sufity: 2-1 ściany działowe, 2-2 panele urządzeń elektrycznych, grzewczych, kuchenek, łazienek, szafek, 2-3 panele okładziny szybu, wyciągowe, 2-4 panele dostępu do przewodu pionowego, obudowa przewodu pionowego, 2-5 powłoki ozdobne, 2-6 powłoki natryskowe elementów konstrukcyjnych, płytek sufitów zawieszonych, pasów przeciwpożarowych, izolacji strychu lub sufitu, drzwi, 2-7 panele, płyty, podłoga, 2-8 płytki, linoleum, okładzina podniesionych podłóg, 3 – ogrzewanie, wentylacja i urządzenia elektryczne: 3-1 boiler/podgrzewacz wody: izolacja zewnętrzna i wewnętrzna, uszczelki, 3-2 rurociągi: izolacja, uszczelki, okładzina papierowa, 3-3 rura ogniowa i uszczelki, 3-4 przewody: izolacja, uszczelki, okładzina wewnętrzna i miszki ochronne przeciwdrganiami, 3-5 elektryczna aparatura rozdzielcza: elementy wewnętrzne, panele otaczające, 3-6 urządzenie grzewcze: uszczelki, panele otaczające, 4 – pozostałe elementy: 4-1 maty bitumiczne pod zlew, 4-2 zbiorniki na wodę, 4-3 zbiorniki na wodę i sedesy, 4-4 brzeg stopnia schodów, 4-5 koce przeciwpożarowe, 4-6 okładzina hamulca/sprzęgło (samochód w garażu i silnik do wyciągów pionowych)

Fig. 1. The scheme presenting the typical location of materials that contain asbestos in a building (Azbest 2006): 1 – roof/external elevation: 1-1 roof tiles/roof metal sheet, 1-2 facing, wall coatings, 1-3 guttering/sewage pipes, 1-4 panels under the ceiling, 1-5 chimney cowlings, 1-6 roof felt, 1-7 panels under the window, 2 – internal elevation: walls/ceilings: 2-1 partition walls, 2-2 panels of the electrical, heating devices, kitchenettes, bathrooms, cupboards, 2-3 facing panels of the shaft, ventilating, 2-4 panels of the access to the vertical duct, lining of the vertical duct, 2-5 decorative coatings, 2-6 spray coatings of constructional elements, of tiles of the suspended ceilings, of the fire-fighting strips, of insulation of the loft or ceiling, doors, 2-7 panels, plates, floor, 2-8 tiles, linoleum, facing of the elevated floors, 3 – heating, ventilation and electrical devices: 3-1 boiler/water heater: external and internal insulation, gaskets, 3-2 pipelines: insulation, gaskets, paper facing, 3-3 fire pipe and gaskets, 3-4 pipelines: insulation, gaskets, internal facing and protective, anti-vibration bellows, 3-5 electric distribution equipment: internal elements, surrounding panels, 3-6 heating device: gaskets, surrounding panels, 4 – the rest of elements: 4-1 bituminous mats under the sink, 4-2 water tanks, 4-3 water tanks and toilets, 4-4 the edge of the stairs step, 4-5 fire-fighting blankets, 4-6 facing of the brake/clutch (car in the garage and engine for the elevators)

Mieszkańcy nie zawsze zdają sobie sprawę z niebezpieczeństwa, które stwarzają znajdujące się w powietrzu, niewidoczne gołym okiem, włókna azbestu, nie tylko dla pracowników firm wykonujących prace demontażowe, ale również dla nich samych. Dotychczasowe kontakty zarówno z przedstawicielami firm, jak i ich pracownikami,

w tym kierownikami budów, pozwalają na stwierdzenie, że znajomość obowiązujących regulacji prawnych, jak i zagrożeń dla zdrowia przy wykonywaniu prac z wyrobami zawierającymi azbest jest niedostateczna. Odosobnione są przypadki kompetentnych i wymagających inspektorów nadzoru, reprezentujących inwestorów. Brak znajomości lub niestosowanie przepisów, to najczęstsza przyczyna zwiększonego uwalniania się włókien azbestu z wyrobów budowlanych zawierających azbest, podczas ich demontażu i usuwania. Jest to tzw. emisja niezorganizowana.

Przez wiele lat badania i pomiary stężeń włókien azbestu w powietrzu zarówno na stanowiskach pracy, jak i w środowisku były wykonywane przez pracowników Laboratorium Badań Środowiska Pracy i Ochrony Powietrza GIG. Wykonano je dla prawie pięćdziesięciu firm, przede wszystkim prowadzących prace demontażowe. Autor ma nadzieję, że opisana metodyka, doświadczenia i skrótowo przedstawione wyniki badań, pozwolą na przybliżenie problemu zagrożeń, możliwości ich zmniejszenia i sposobu monitorowania powietrza. Zagadnienia te dotyczą nie tylko pracowników, mieszkańców czy użytkowników budynków i obiektów posiadających elementy z materiałów zawierających azbest, lecz ze względu na przemieszczanie się włókien i zagrożenie dla zdrowia, pośrednio każdego obywatela.

1. REGULACJE PRAWNE DOTYCZĄCE BADAŃ I POMIARÓW WŁÓKIEN AZBESTU

Emisja włókien azbestu może pochodzić z różnych źródeł i może mieć również charakter zorganizowany. W związku z tym, w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Rozporządzenie 2005a) została podana dopuszczalna wartość emisji pyłu wynosząca $0,1 \text{ mg/m}^3$ (w praktyce jest to średnia wartość stężenia pyłu w gazach odlotowych, mierzona w przekroju pomiarowym metodą wagową – przyp. aut.). W przypadku prowadzenia badań metodą mikroskopii optycznej, fazowo-kontrastowej, są to nie więcej niż 2 włókna długości powyżej $5 \mu\text{m}$, o średnicy $< 3 \mu\text{m}$ i stosunku długości do szerokości > 3 – w 1 ml gazów odlotowych w warunkach umownych. Określone w Rozporządzeniu wymiary włókien, to jednocześnie definicja włókien respirabilnych, których stężenie w powietrzu jest oznaczane na stanowiskach pracy, ponieważ stanowią największe zagrożenie, ze względu na zatrzymywanie w organizmie i penetrację w tkance płucnej.

W Rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy zmieniającym Rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Rozporządzenie 2005d) zostały zawarte najwyższe dopuszczalne stężenia (NDS) obowiązujące dla wszystkich odmian włókien azbestu, wynoszące: dla pyłu całkowitego zawierającego azbest $0,5 \text{ mg/m}^3$ (wagowo) lub $0,1 \text{ włókien/cm}^3$ czyli $0,1 \text{ włókna w 1 ml powietrza}$, co odpowiada wartości $100\,000 \text{ włókien/m}^3$. Stosowanie jako kryterium metody wagowej jest mało precyzyjne i nie ma większego sensu, ponieważ nie jest znany udział pyłu azbestowego w pyłu całkowitym. Podobnie w innych krajach UE, w Dyrektywie 2003/18/EC (Dyrektywa 2003) zostało podane $\text{NDS} = 0,1 \text{ włókna/cm}^3$ jako średnia ważona w przeliczeniu na ośmiodzinny okres odniesienia. Jednocześnie podano, że „gdzie to możliwe, liczenie włókien będzie dokonywane za pomocą mikroskopu z kontrastem fazowym, zgodnie

z metodą zalecaną przez Światową Organizację Zdrowia z 1997 roku (Determination...) lub inną metodą dającą równorzędne wyniki. Wypada wspomnieć, że we wcześniejszych polskich wersjach rozporządzeń NDS wynosiło $1,0 \text{ mg/m}^3$ dla mniej szkodliwych odmian azbestu, z wyjątkiem krokidolitu i antygorytu włóknistego ($0,5 \text{ mg/m}^3$) odpowiednio $0,5$ i $0,2$ włókna/ cm^3 . W Rozporządzeniu obowiązującym od 2003 roku (Rozporządzenie 2002b) (przed zmianami w 2005 r.) utrzymano podobne wartości wagowe, z tym, że $0,5 \text{ mg/m}^3$ dotyczyło tylko krokidolitu, natomiast mikroskopowe – $0,2$ włókien/ cm^3 dotyczyło wszystkich odmian azbestu.

Częstotliwość wykonywania badań na stanowiskach pracy reguluje Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Rozporządzenie 2005c). W §7 Rozporządzenia zapisano: „Laboratoria wykonujące badania i pomiary czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy powinny uzyskać akredytację na podstawie przepisów ustawy z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (Dz. U. z 2004 r. Nr 204, poz. 2087 oraz z 2005 r. Nr 64, poz. 565)”.

Odrębną grupę regulacji, pośrednio z zakresu badań i pomiarów stężeń włókien azbestu w powietrzu, stanowią rozporządzenia dotyczące zasad bezpieczeństwa i higieny pracy oraz sposobów i warunków użytkowania, zabezpieczania i usuwania wyrobów zawierających azbest.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy w sprawie zasad bezpieczeństwa i higieny pracy przy zabezpieczaniu i usuwaniu wyrobów zawierających azbest oraz programem szkolenia w zakresie bezpiecznego użytkowania takich wyrobów (Rozporządzenie 2005b) pracodawcy są zobowiązani do kontroli stopnia narażenia pracowników na działanie pyłu azbestu w sposób określony w przepisach dotyczących badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy oraz podejmowania działań zmniejszających narażenie i ograniczających jego stężenia do wartości dopuszczalnych.

O planach kontroli jakości powietrza obejmujących stężenie azbestu jest mowa również w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 23 października 2003 r. w sprawie wymagań w zakresie wykorzystywania i przemieszczania azbestu oraz wykorzystywania i oczyszczania instalacji lub urządzeń, w których był lub jest stosowany azbest (Rozporządzenie 2003). Projekt i harmonogram usuwania lub wymiany azbestu lub wyrobów zawierających azbest z takich pomieszczeń uwzględnia wykonanie pomiarów stężeń pyłów azbestu w środowisku pracy przed i po wykonaniu prac (§5.3).

W Rozporządzeniu MGPIPS z dnia 2 kwietnia 2004 r. w sprawie sposobów i warunków bezpiecznego użytkowania i usuwania wyrobów zawierających azbest (Rozporządzenie 2004) zostało zdefiniowane pojęcie emisji azbestu, podana identyfikacja azbestu i określony sposób potwierdzania prawidłowości wykonywanych prac na podstawie wyników badań jakości powietrza, przeprowadzanych przez akredytowane laboratorium. Najważniejsze zalecenia dotyczą sposobów usuwania wyrobów z azbestem, z czym w praktyce nie jest najlepiej. Według Rozporządzenia wykonawca prac jest zobowiązany do zastosowania odpowiednich środków technicznych ograniczających do minimum emisję azbestu do środowiska. Oczyszczanie powinno być wyko-

nywane skutecznymi urządzeniami filtracyjno-wentylacyjnymi lub na mokro, a wyroby przed ich demontażem powinny być nawilżane i utrzymywane w stanie wilgotnym podczas prac. Prawidłowe postępowanie przy demontażu pokrycia dachowego w Niemczech przedstawiono na fotografii 1. Rzetelność firm i stopień kontroli prac także w polskich warunkach decydują o minimalizowaniu emisji włókien i struktur azbestu do środowiska podczas wykonywania prac z materiałami zawierającymi azbest.



Fot. 1. Niemiecki przykład prawidłowego postępowania przy demontażu pokrycia dachowego z eternitu (odkurzacz z filtrem Hepa) i usuwania azbestu miękkiego (maska z nawiewem powietrza, specjalistyczny odkurzacz) (wykonywanie prac z azbestem – www.pip.gov.pl)

Photo. 1. German example of the correct acting at the disassembly of the roof covering made of eternit (vacuum cleaner with the Hepa filter) and removal of the soft asbestos (mask with the blast of air, specialist vacuum cleaner) (conducting works with asbestos – www.pip.gov.pl)

2. METODY BADAŃ I POMIARÓW STĘŻEŃ WŁÓKIEN AZBESTU W POWIETRZU

Badania stężeń włókien azbestu w powietrzu w Laboratorium Badań Środowiska Pracy i Ochrony Powietrza GIG są wykonywane zgodnie z akredytowaną procedurą badawczą PB-11: „Pobieranie próbek do oznaczenia stężenia liczbowego respirabilnych włókien azbestu w powietrzu na stanowiskach pracy i w środowisku”. W procedurze określono sposób postępowania podczas pobierania próbek powietrza ze stanowisk pracy za pomocą metody dozymetrii indywidualnej lub metody stacjonarnej. Procedura ta została opracowana na podstawie norm PN-Z-04008-07, PN-88/Z-04202/02 i PN-84/Z-04030/02. Dotyczy ona pobierania próbek powietrza do oznaczenia w nich zawartości włókien respirabilnych azbestu metodą mikroskopii optycznej, która stanowi kryterium oceny warunków na stanowiskach pracy zgodnie z Rozporządzeniem w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Rozporządzenie 2002b, 2005d), oraz warunków w środowisku zewnętrznym w rejonie źródeł możliwej emisji pyłu azbestowego.

Procedurę stosuje się do badań na wszystkich stanowiskach pracy, na których w wyniku prowadzonych procesów technologicznych mogą występować pyły prze-

mysłowe zawierające włókna azbestu. Najmniejsze stężenie liczbowe respirabilnych włókien azbestu, które można oznaczyć z zastosowaniem wymienionej procedury i procedury badawczej Laboratorium Pomiarów Zapylenia Powietrza GIG nr KD-2205-1, wynosi:

- 0,7 włókna/m³ (0,000007 włókna/cm³) – na stanowisku pracy,
- 0,01 włókna/m³ – w środowisku zewnętrznym.

2.1. Badania wykonywane na stanowiskach pracy

Próbki pyłu do oznaczania stężenia liczbowego włókien azbestu na stanowiskach pracy z wykorzystaniem metody dozymetrii indywidualnej są pobierane za pomocą zestawu, w skład którego wchodzi:

- głowica pomiarowa o symbolu katalogowym SKC 225-70 lub specjalistyczna do pyłów azbestowych zawierająca oprawkę do sącza z zaczepem umożliwiającym jej przymocowanie do ubrania pracownika w strefie oddychania (fot. 2),
- aspirator (pompka osobista) typu SKC model 224-52, połączony z głowicą pomiarową za pomocą węża polietylenowego i umieszczony w kieszeni lub na pasku ubrania roboczego pracownika,
- sączi pomiarowe (membrany filtracyjne) nitrocelulozowe o średnicy 25 mm – CNF produkcji Sartorius AG – Niemcy (nr kat. 11404-25N) o wymiarach porów 0,8 μm.

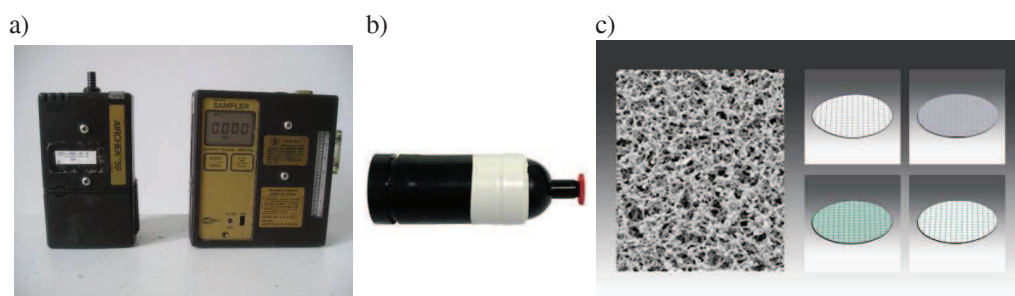


Fot. 2. Zestaw do pobierania próbek powietrza z wykorzystaniem filtrów oraz opravek, głowic i kaset firmy SKC (materiały informacyjne SKC)

Photo. 2. Unit for collecting air samples by using filters and holders, heads and cassettes of the SKC manufacture (SKC information materials)

Badanie za pomocą metody dozymetrii indywidualnej z użyciem pompki osobistej – najczęściej aspiratora firmy SKC typu 224-52 (fot. 3) – prowadzi się przez 4–6 godzin trwania zmiany roboczej; w połowie tego okresu wymienia się sącze ze względu na prawdopodobieństwo zbyt dużego pokrycia pyłem i trudności w wykonywaniu analiz mikroskopowych. Zagadnienie to dotyczy również pobierania próbek w środowisku zewnętrznym. Bezpośrednio po zakończeniu pobierania, próbki (sączi w oprawce roboczej) wyjmuje się z głowicy pomiarowej i umieszcza w kasetce trans-

portowej, w której mogą być przechowywane. Próbki są przekazywane do Laboratorium Pomiarów Zapylenia Powietrza GIG.



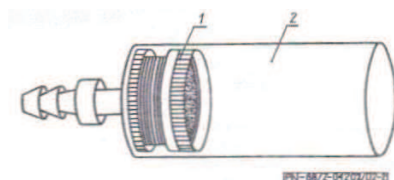
Fot. 3. Aspiratory akumulatorowe („pompki”) firmy SKC, model 224-52 i 224-PCXR4 oraz specjalna głowica-kaseta do pyłów azbestu i membrany filtracyjne nitrocelulozowe z siatką (fot. a – K. Kadlewicz, fot. b – SKC, fot. c – Sartorius)

Photo. 3. Battery aspirators („small pumps”) of SKC manufacture, model 224-52 and 224-PCXR4, and special head-cassette for asbestos dusts and filter nitrocellulose membranes with the net

Najczęściej badania tego typu są wykonywane w celu oceny zagrożenia pracowników usuwających płyty azbestowo-cementowe typu acekol z elewacji budynków oraz płyty eternitu falistego z dachów.

2.2. Analizy mikroskopowe

Metoda mikroskopowa (PCM – *Phase-Contrast Microscopy*) jest referencyjna według aktualnych wymagań UE czy zaleceń WHO (Determination...; Określanie stężenia... 1997). W Polsce analizy wykonuje się według normy PN-88/Z-04202.02: Ochrona czystości powietrza – badania zawartości azbestu – oznaczanie stężenia liczbowego respirabilnych włókien azbestu na stanowisku pracy metodą mikroskopii optycznej. Zgodnie z nią pompkę pyłomierza mocuje się do pasa pracownika wytypowanego do pobierania próbek powietrza. Głowicę pomiarową z założonym sączkiem mocuje się natomiast do ubrania, tak aby wlot powietrza znajdował się w strefie oddychania i nie był zwrócony ku górze. Zalecane w normie specjalne głowice pomiarowe z oprawką i kołnierzem ochronnym przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Głowica pomiarowa (PN-88/Z-04202.02): 1 – oprawka, 2 – kołnierz ochronny

Fig. 2. Measuring head (PN-88/Z-04202.02): 1 – holder, 2 – protective flange

Pompkę należy połączyć z głowicą pomiarową i rozpocząć pomiar przez równoczesne włączenie pompki i sekundomierza oraz zanotować czas rozpoczęcia pomiaru. Czas pobierania próbki powietrza należy tak dobrać, aby uzyskać zalecane pokrycie

sączka włóknami azbestu. Pokrycie powinno wynosić co najmniej 50 włókien na 1 mm^2 , tj. w przybliżeniu 0,4 włókna w polu zliczania siatki Walton-Becketta. Dopuszcza się zmniejszenie pokrycia sączka do 20 włókien na 1 mm^2 , tj. w przybliżeniu 15 włókien na 100 pól zliczania, w przypadkach, gdy oznaczenie stężenia włókien z małą precyzją jest zadowalające. Pokrycie sączka nie powinno przekraczać 650 włókien na 1 mm^2 , tj. średnio 5 włókien w polu zliczania. Większe pokrycie dopuszcza się w przypadku czytelnych preparatów mikroskopowych. Czas trwania pojedynczego pomiaru t można określić w przybliżeniu według wzoru

$$t = \frac{AL}{aX_o r}, \text{ min}$$

gdzie:

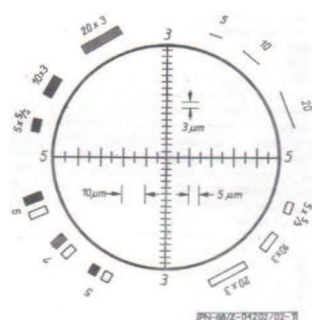
- A – czynna powierzchnia sączka, mm^2 ;
- L – wymagane pokrycie sączka włóknami, wyrażone liczbą włókien w polu zliczania;
- a – powierzchnia pola zliczania siatki Walton-Becketta, mm^2 (rys. 3);
- X_o – oczekiwane średnie stężenie włókien w czasie pobierania próbki, wyrażone liczbą włókien w 1 ml;
- r – objętość przepływu powietrza, ml/min.

Po pobraniu próbki powietrza należy zanotować czas trwania pojedynczego pomiaru, a następnie w pomieszczeniu bez źródeł emisji pyłu wykręcić oprawkę i wyjąć sączek. Sączki należy umieścić w osobnych, szczelnych pojemnikach, na przykład z tworzywa sztucznego. Zaleca się jednoznaczne znakowanie oprawek i pojemników do sączków w celu uniknięcia powtórnego użycia tego samego sączka.

Po przetransportowaniu sączków w szczelnie zamkniętych pojemnikach (kasetach) do Laboratorium Pomiarów Zapylenia Powietrza KD „Barbara” GIG, zostają one poddane procesowi uprzeczystnienia za pomocą balsamu uzyskanego na bazie szczawianu dwuetylu i ftalanu dwumetylu, zgodnie z normą PN-88/Z-04202 lub w parach acetonu w ewaporatorze, według własnej procedury.

Tak spreparowane sączki ogląda się pod mikroskopem optycznym fazowo-kontrastowym o łącznym powiększeniu $600\times$ i zlicza włókna. Każdorazowo analizuje się 100 pól zliczania. Metoda analizy jest zgodna z procedurą KD-2205-1 „Rozkład ziarnowy pyłu. Oznaczenie liczbowe włókien respirabilnych” edycja 2. z dnia 26.02.2007 r. Procedura posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji – certyfikat nr AB 712. Zliczanie odbywa się w siatce okularowej (rys. 3), według wzorców dla pojedynczych, rozszczepionych i pęków włókien, opisanych w normie PN-88/Z-04202 (rys. 4).

W Laboratorium Pomiarów Zapylenia Powietrza KD „Barbara” GIG znajduje się mikroskop BX-51 firmy Olympus (fot. 4) do światła przechodzącego, wyposażony w polaryzację, kontrast fazowy, ciemne pole, możliwość pracy w powiększeniach od $40\times$ do $1000\times$. Mikroskop jest sprzężony z kamerą cyfrową Color-View o rozdzielczości 5 mln pikseli i programem do archiwizacji, wizualizacji danych analysis work.



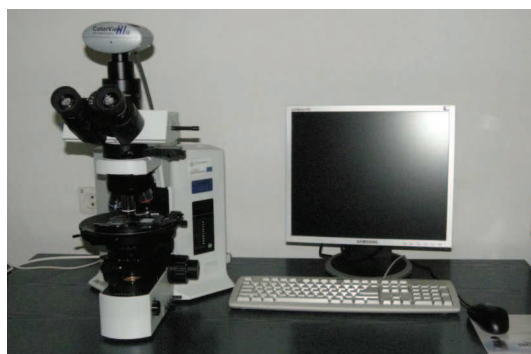
Rys. 3. Siatka okularowa Walton-Becketta typu G22 (PN-88/Z-04202)

Fig. 3. Ocular net of Walton-Beckett, type G22 (PN-88/Z-04202)



Rys. 4. Wybrane wzorce włókien i pęków włókien azbestu według PN-88/Z-04202

Fig. 4. Chosen standards of fibres and bunches of asbestos fibres according to PN-88/Z-04202



Fot. 4. Mikroskop BX-51 firmy Olympus do światła przechodzącego z polaryzacją, kontrastem fazy, kamerą cyfrową i programem do archiwizacji, wizualizacji danych

Photo. 4. Olympus BX-51 microscope for transmission light, with polarization, phase contrast, digital camera and program for archiving, data visualization

Wyniki badań, czyli całkowita liczba zliczonych włókien respirabilnych, są przekazywane do Laboratorium Badań Środowiska Pracy i Ochrony Powietrza GIG, w którym wykonuje się obliczenia stężeń włókien w próbkach powietrza, zgodnie

z normą PN-88/Z-04202. Dla pojedynczej próbki stężenie włókien respirabilnych azbestu w powietrzu, wyrażone liczbą włókien w 1 ml (cm^3), wylicza się według wzoru

$$X = \frac{AN}{anrt}$$

gdzie:

- A – czynna powierzchnia sącza;
- N – całkowita liczba zliczonych włókien;
- a – powierzchnia zliczania;
- n – liczba analizowanych pól zliczania;
- r – objętość przepływu powietrza przez sącze, ml/min;
- t – czas pobierania próbki, min.

Należy zaznaczyć, że zarówno wartości kryterialne w postaci NDS, jak i przedstawiane w literaturze wyniki stężeń, dotyczą wartości uzyskanych na podstawie obliczeń z danych analiz mikroskopowych. Całkowita liczba zliczanych włókien na 100 pól zliczania dla pojedynczej próbki mieści się najczęściej w granicach od 1 do kilku, rzadko kilkunastu włókien w środowisku zewnętrznym oraz kilkunastu, kilkudziesięciu, czasem ponad stu włókien w środowisku pracy.

Dokumentacja badań stężeń włókien azbestu w środowisku pracy zawiera ocenę higieniczną stanowisk, według obowiązujących kryteriów zgodnych z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 10.10.2005 r. (Rozporządzenie 2005d), zmieniającym Rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy oraz z normą PN-Z-04008-7:2002 [10].

2.2. Badania wykonywane w środowisku zewnętrznym

Podobnie jak w środowisku pracy, metodyka badań w środowisku zewnętrznym została opracowana na podstawie obowiązujących norm i procedur pomiarowych. Ze względu na potrzebę uzyskania większych przepływów zasysanego powietrza, próbki zwykle pobiera się za pomocą aspiratorów zasilanych z sieci 230 V – typu AS-50, produkcji TWO-MET w Zgierzu (fot. 4). Parametry aspiratora przedstawiono w tablicy 1. Próbkę pobiera się na takie same jak w środowisku pracy sącze membranowe nitrocelulozowe.

W związku z tym, że badania w środowisku, zgodnie z §7, ust. 4 Rozporządzenia Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 2 kwietnia 2004 r. w sprawie sposobów i warunków bezpiecznego użytkowania i usuwania wyrobów zawierających azbest są wykonywane w celu oceny prawidłowości prowadzonych prac, zaleca się wykonawcom i wykonuje najczęściej dwie serie pomiarów. Laboratorium BŚPiOP wykonuje ocenę na podstawie porównania wyników uzyskanych w pierwszym etapie – przed rozpoczęciem robót – z wynikami serii pomiarowej wykonanej po zakończeniu robót związanych z demontażem płyt zawierających azbest. W pierwszej serii badań, prowadzonej w celu ustalenia, tzw. tła, określa się stan zanieczyszczenia powietrza włóknami azbestu w rejonie planowanego demontażu elementów zawierających azbest. Drugą serię przeprowadza się w tym samym rejonie, po zakończeniu

prac, usunięciu i wywiezieniu na składowisko odpadów – materiałów z azbestem. Porównanie wyników z obu serii pomiarowych daje wiarygodną ocenę prawidłowości prowadzonych prac.

Tablica 1. Dane techniczno-ruchowe aspiratora AS-50

Nominalna wydajność ssania	(50 l/min)
Nominalne ciśnienie ssania	10 kPa
Moc silnika napędowego	90 W
Zakres pomiarowy rotametu	(15–60 l/min)
Zakres regulacji wydatku	(15–60 l/min)
Tolerancja przepływu (nastawionego) przy zmianach spadku ciśnienia na filtrze pomiarowym 0,1–30,0 kPa	+/-5%
Wymiary gabarytowe (szer.) (dł.) (wys.)	155x200x330 mm
Ciężar	ok. 8,2 kg
Rodzaj pracy	ciągła



Fot. 5. Aspirator AS-50

Photo. 5. Aspirator AS-50

Prace remontowo-budowlane związane z zagrożeniem azbestem polegają najczęściej na demontażu płyt acekol ze ścian zewnętrznych, pakowaniu ich do folii, tymczasowym składowaniu w rejonie budowy i wywozie na składowisko zewnętrzne. W dalszym etapie, w ramach termomodernizacji, ściany budynków są ocieplane i tynkowane.

Po przeprowadzeniu wizji lokalnej w rejonie budynków mieszkalnych i innych – badania wykonuje się w ustalonych, wybranych miejscach w bliskiej odległości (ok. 1–2 m od ścian budynków). Dokładna lokalizacja miejsc pobierania próbek jest opisywana i przedstawiana graficznie na szkicu. W czasie badań określa się również warunki atmosferyczne: kierunek i prędkość wiatru, temperaturę, wilgotność powietrza, ciśnienie atmosferyczne.

Badania zawartości włókien azbestowych w powietrzu są wykonywane również w pomieszczeniach. Sposób prowadzenia tego typu badań został określony w opracowanej na podstawie norm amerykańskich i ISO normy PN-EN 16000-7:2007. Norma dotyczy:

- lokali mieszkalnych mających pokoje gościnne, sypialne, pomieszczenia do majsterkowania, pokoje do zabawy i odpoczynku, piwnice, kuchnie i łazienki,
- pracowni lub miejsc pracy w budynkach niepodlegających inspekcjom BHP w odniesieniu do substancji zanieczyszczających powietrze (np. biura i punkty sprzedaży),
- budynków użyteczności publicznej i handlowej (np. szpitale, szkoły, przedszkola, ośrodki sportu, biblioteki, bary i restauracje, teatry i pomieszczenia o innym przeznaczeniu),
- kabin pojazdów i transportu publicznego.

Z uwagi na brak normatywów dotyczących środowiska zewnętrznego, niektóre zapisy tej normy można wykorzystać do ustalenia metodyki pobierania próbek i prowadzenia badań. Praktyka i doświadczenia uzyskane przez pracowników Laboratorium BŚPiOP GIG potwierdzają zasadność tych zaleceń, które od kilkunastu lat są stosowane. Zalecenia zawarte w normie są następujące: „Warunki pogodowe mogą ograniczyć możliwość zebrania odpowiednich próbek powietrza w środowisku zewnętrznym. Jeśli to możliwe, zaleca się, aby pobieranie próbek było przeprowadzane w warunkach niskiej wilgotności i przy niedużym wietrze. Zaleca się, aby szczególnie dane odnośnie do pogody, prędkości wiatru i jego kierunku w okresie pobierania próbek zostały odnotowane (...) Zaleca się, aby wszelkie dostępne informacje dotyczące lokalnej topografii oraz rodzaje i umiejscowienie źródeł zostały zanotowane”.

Z powodu wylapywania na filtrach wszystkich pyłów (nie tylko włókien azbestu) istotnym problemem jest czas pobierania próbek i stosowany przepływ. W normie zwrócono uwagę na skutki dużego pokrycia filtrów: „Niższy próg wykrywalności dla danego pomiaru, może w zasadzie zostać osiągnięty poprzez zwiększenie badanej objętości powietrza i badanej powierzchni filtra. Jeśli wydłuży się czas pobierania próbek lub zwiększy prędkość przepływu, zwiększając tym samym objętość badanego powietrza (przepuszczonego przez filtr), wówczas stężenie niewłóknistych cząstek w powietrzu wewnątrz może doprowadzić do zwiększonego tworzenia się aglomeratów na filtrze. To z kolei może prowadzić do zapchania się filtra podczas pobierania próbek i w rezultacie do niedopuszczalnego spadku ciśnienia w filtrze, tak że dochodzi do obniżenia przepływu. Większe obciążenie filtra cząstkami niewłóknistymi może również doprowadzić do zasłonięcia włókien azbestu, wprowadzając ujemny błąd systematyczny. Cząstki osadzone nie powinny przekroczyć 10% powierzchni filtra.

Wybór odpowiedniego czasu na pobieranie próbek, intensywność i częstotliwość symulacji oraz obszar, który ma zostać zbadany stanowi problem do optymalizacji, który powinien zostać rozwiązany na etapie planowania określonego celu pomiaru. W określeniu optymalnych warunków pobierania próbek może być przydatne badanie pilotażowe”.

W praktyce, pracownicy Laboratorium pobierający próbki, obserwują stan zanieczyszczenia sącza filtracyjnego oraz kontrolują na bieżąco przepływ powietrza na

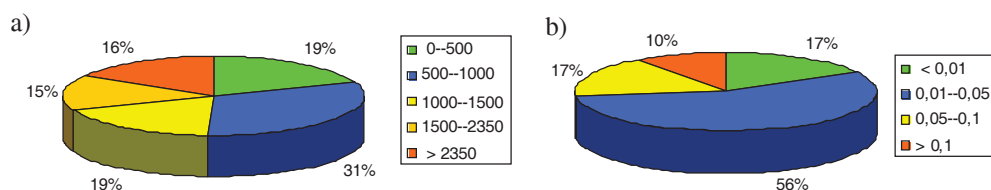
rotametrze zabudowanym w aspiratorze. Przepływ może być regulowany, a nieuniknione w związku z zapychaniem się filtra jego spadki są zapisywane. Taka sytuacja sugeruje konieczność skrócenia czasu pobierania próbek. Objętość pojedynczej próbki powietrza wynosi zwykle 1–2 m³.

Obecnie zarówno w Polsce, jak i w UE brak jest kryteriów dopuszczalnego stężenia włókien azbestu w powietrzu atmosferycznym. Niektóre kraje członkowskie stosują swoje różne i trudne do porównania kryteria. W Laboratorium jako wartość NDS w środowisku jest przyjmowana wartość dopuszczalna według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 5.12.2002 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Rozporządzenie 2002a) wynosząca dla jednej godziny 2350 włókien/m³. W Rozporządzeniu MŚZNiL z 1998 roku wartość ta wynosiła 1000 włókien/m³ w odniesieniu do 24 godzin.

Dokumentacja z badań i pomiarów stężeń azbestu w środowisku zewnętrznym, wykonywana w Laboratorium Badań Środowiska Pracy i Ochrony Powietrza GIG zawiera ocenę stopnia zanieczyszczenia powietrza w oparciu o kryterium, jakim jest wartość godzinowa zawarta w ww. Rozporządzeniu z 2002 roku.

3. WYBRANE WYNIKI BADAŃ STĘŻEŃ WŁÓKIEN AZBESTU

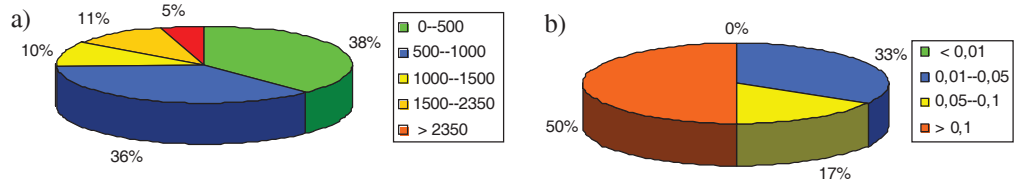
Na rysunkach 5–7 przedstawiono dane dotyczące lat 2007 i 2008. Przedziały stężeń dobrano na podstawie danych literaturowych i byłych oraz istniejących kryteriów stężeń. W przypadku środowiska zewnętrznego przeanalizowano 301 próbek pobranych w 2007 roku oraz 228 próbek pobranych w 2008 roku. Znacznie mniejsza liczba próbek dotyczyła badań środowiska pracy – w sumie 47.



Rys. 5. Porównanie wyników stężeń włókien azbestu w powietrzu: a – w środowisku, b – na stanowiskach pracy, uzyskanych w 2007 roku

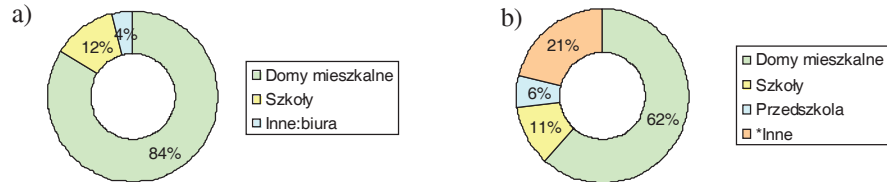
Fig. 5. Comparison of the results of asbestos fibre concentration in the atmosphere: a – in the environment, b – at workstations, obtained in 2007

Zdecydowana większość miejsc, w których wykonywano badania, to rejony budynków mieszkalnych wielorodzinnych, gdzie demontowano płyty elewacyjne azbestowo-cementowe, czasem dachowe. Wśród innych – w 2007 roku były budynki użyteczności publicznej – starostwa, pawilony handlowe, biura, nadszuby sztybów kopalnianych, stacje – rozdzielnie wysokiego napięcia.



Rys. 6. Porównanie wyników stężeń włókien azbestu w powietrzu: a – w środowisku, b – na stanowiskach pracy, uzyskanych w 2008 roku

Fig. 6. Comparison of the results of asbestos fibre concentration in the atmosphere: a – in the environment, b – at workstations, obtained in 2008



Rys. 7. Miejsca pobierania próbek powietrza w środowisku: a – 2007 rok, b – 2008 rok

Fig. 7. Places of collecting air samples in the environment in the years: a – 2007, b – 2008

3.1. Omówienie wyników badań

Zdecydowana większość próbek wykazywała wartości stężeń włókien poniżej wartości dopuszczalnych. Dotyczyło to zarówno badań w środowisku, jak i na stanowiskach pracy.

W przypadku środowiska zewnętrznego liczba wyników przekraczających 2350 włókien/m³ zmalała w 2008 roku w porównaniu z 2007 rokiem z 16 do 5%. Może to sugerować poprawę prawidłowości prowadzenia prac i zapobiegania nadmiernej emisji do powietrza, równocześnie jednak można przyjąć, że we wcześniejszym okresie były demontowane elementy w gorszym stanie technicznym, mogące powodować większe uwalnianie się włókien. Stwierdzono również nieliczne przypadki dużej liczby włókien w powietrzu i występowanie przekroczenia ich liczby przed rozpoczęciem robót demontażowych. Z kolei na stanowiskach pracy, podczas wykonywania prac związanych z usuwaniem wyrobów zawierających azbest, nastąpił wzrost liczby próbek, w których stwierdzono przekroczenia NDS – z 10 do 50%. W większości przypadków przekroczenia były nieznaczne i mieściły się w granicach błędu metody. Niestety zespoły pomiarowe często stwierdzały brak obowiązującego zraszania elementów wodą. Trudno natomiast porównywać wyniki z badań stanowiskowych, ze względu na znacznie mniejszą ich liczbę w 2008 roku.

Znacznie bardziej jest utrudnione porównywanie wyników środowiskowych, jednak nie tylko ze względu na mniejszą ich liczbę w 2008 roku, ale na występowanie różnych warunków atmosferycznych podczas badań. Wydaje się oczywiste, że ze względu na możliwość unoszenia i przemieszczania się włókien, na uzyskiwane wyniki najbardziej wpływa prędkość i kierunek wiatru oraz wilgotność powietrza. W niektórych przypadkach pomiary następowały niezwłocznie po usunięciu i wywie-

zieniu azbestu, z kolei w innych – po zakończeniu wielomiesięcznych prac termomodernizacyjnych – ociepleniu budynków i ich otynkowaniu. Niejednokrotnie wykonawcy specjalnie wydłużali termin kolejnych badań, licząc na samoistne „doczyszczanie” terenu, na przykład na skutek opadów deszczu.

Zdaniem autora, nawet, jeśli badania są obciążone błędami i trudno je porównywać, to dają one przybliżone informacje o istniejących zagrożeniach i emisji włókien azbestu do środowiska. Ocena liczbowego stężenia włókien respirabilnych azbestu w powietrzu jest jedynym laboratoryjnym sposobem oceny prawidłowości wykonywanych prac, niezależnie od wykonawcy.

Przedstawione wyniki wskazują również na zmniejszenie się liczby zamówień na tego typu badania, co sugeruje oszczędność ze strony wykonawców lub brak zainteresowania wynikami ze strony inwestorów. Stworzenie jednoznacznych kryteriów dotyczących wartości dopuszczalnych oraz wprowadzenie ujednoliconej metodyki wykonywania tego typu badań i obowiązku jej stosowania, pozwoliłoby na bardziej precyzyjną ich ocenę, jak również byłoby instrumentem zapobiegającym niewłaściwemu demontażowi wyrobów azbestowych i niekontrolowanej emisji włókien do środowiska.

3.2. Niepewność wyników stężeń włókien azbestu

Na niepewność wyników stężeń włókien azbestu w powietrzu wpływa niepewność pobierania próbek powietrza, co sprowadza się do właściwego zmierzenia objętości pobranej próbki oraz niepewność wyznaczania liczby włókien respirabilnych w próbkach – preparatach z filtrów membranowych – z zastosowaniem badań mikroskopowych.

Przy pobieraniu próbek powietrza można wyróżnić niepewność pomiaru objętości i niepewność pomiaru czasu badania, co daje standardową złożoną niepewność pobierania próbek. W przypadku aspiratorów osobistych typu SKC z układem kompensacji, stabilizacja przepływu ogranicza zmiany strumienia zasysanego powietrza, niemniej można oszacować niepewność pomiaru objętości, uwzględniając:

- niepewność wyznaczenia strumienia objętości (przepływu),
- niepewność wynikającą ze zmian temperatury przy ustalaniu przepływu,
- niepewność wynikającą ze zmian prędkości zasysania,
- niepewność wynikającą ze zmian temperatury i ciśnienia w miejscach pobierania próbek.

W przypadku aspiratorów typu AS-50 natomiast, bez układu kompensacji, należy skorygować sposób obliczania niepewności.

Wyliczona niepewność standardowa złożona, zgodnie z zaleceniami Polskiego Centrum Akredytacji, powinna być podawana jako niepewność rozszerzona, która wynika z pomnożenia niepewności standardowej przez współczynnik rozszerzenia k wynoszący 2, który dla rozkładu normalnego zapewnia poziom ufności w przybliżeniu 95% lub taki współczynnik, który dla innego rozkładu prawdopodobieństwa pozwoli na uzyskanie poziomu ufności w przybliżeniu 95%.

Niepewność rozszerzona wyznaczenia objętości próbki wynosi zwykle kilka procent.

W metodzie z wykorzystaniem mikroskopu optycznego – fazowokontrastowego (w metodzie PCM), wyznaczenie właściwej liczby włókien jest zdecydowanie bardziej utrudnione. W normie PN-EN ISO 16000-7:2007 zostały zawarte ograniczenia wykrywalności dla analiz wykonywanych z zastosowaniem PCM: „granica wykrywalności dla analiz PCM na lekko obciążonych filtrach jest określona ilością włókien tła, które można ocenić na podstawie badania próbki filtrów dla każdej partii. Granica wykrywalności zwiększy się wraz ze wzrostem gęstości cząstek na filtrze, ale nie ma danych liczbowych dotyczących tego efektu”.

Do interpretacji wyników uzyskanych za pomocą metody PCM w powyższej normie została zaproponowana zmienność rozkładu typu Poissona i wzory empiryczne do obliczenia 95% granicy ufności, a mianowicie: „Współczynnik wariancji dla analizy PCM jest kombinacją zmienności rozkładu typu Poissona, błędów w pomiarze objętości powietrza oraz składnika subiektywnego. Składnik subiektywny jest największym z tych efektów i każde laboratorium analityczne może określić jego wartość dla swojej grupy analityków. Badania wykazały, że dla losowej grupy laboratoriów, międzylaboratoryjny 90% przedział ufności może być oszacowany poprzez połączenie zmienności typu Poissona ze składnikiem subiektywnym równym 0,45. W celu zapewnienia zgodności stałej wartości stężenia, należy wziąć pod uwagę zmienność całkowitą.

Górna i dolna 95% granica ufności są podane równaniami empirycznymi:

$$L_{LCL} = \frac{2x + 4 - \left[(4 + 2x)^2 - 4(1 - 4s_R^2)x^2 \right]^{1/2}}{2x(1 - 4s_R^2)} \quad (2)$$

$$L_{UCL} = \frac{2x + 2,25 + \left[(2,25 + 2x)^2 - 4(1 - 2,25s_R^2)x^2 \right]^{1/2}}{2x(1 - 2,25s_R^2)} \quad (3)$$

gdzie:

L_{LCL} – współczynnik do obliczenia dolnej 95% granicy ufności;

L_{UCL} – współczynnik do obliczenia górnej 95% granicy ufności;

s_R – subiektywna część składowa międzylaboratoryjnego współczynnika wariancji;

x – całkowita liczba policzonych włókien.

Równanie (2) nie jest obowiązujące dla wartości $s_R \geq 0,50$. Równanie (3) nie jest obowiązujące dla wartości $s_R \geq 0,66$.

Grupy laboratoriów lub analityków które zebrały wystarczające dane, aby otrzymać własną wartość s_R mogą zastosować te wzory do uzyskania 95% granicy przedziału ufności w celu jej użycia. Użytkownik danych laboratoryjnych powinien otrzymać wartość s_R od laboratorium lub powinien przyjąć wartość 0,45 dla interpretacji wyników PCM.

Na przykład, przy założeniu s_R równego 0,45, w celu wykazania zgodności ze standardem 0,01 włókna/ml, przy użyciu pojedynczej próbki, w której zliczono 100 włókien, równanie (3) wskazuje, że zmierzone w powietrzu stężenie włókien powinno

być 3,13 razy mniejsze od standardu 0,01 włókna/ml. Zmierzone stężenie włókien w powietrzu nie może być zatem wyższe niż 0,003 włókna/ml (100 włókien policzonych) w celu wykazania zgodności ze standardem 0,01 włókna/ml przy 95% ufności”.

Wyniki badań mikroskopowych uzyskiwanych w Laboratorium Pomiarów Zapylenia Powietrza GIG są wyznaczane z niepewnością 25%, z oznaczalnością do 0,5 włókna przy poziomie ufności 95% i współczynniku rozszerzenia k wynoszącym 2. Wartości niepewności są przyjmowane na podstawie wewnątrzlaboratoryjnych i międzylaboratoryjnych badań porównawczych. Istotne są w tym przypadku, oprócz parametrów sprzętu (mikroskopu), cechy osobowe badacza (Pindel 2009), zdolność rozdzielać jego oka oraz jego samopoczucie i stopień zmęczenia oka. Pewnym zagrożeniem dla prawidłowości wyników są występujące w powietrzu, równocześnie z włóknami azbestu, włókna wełny szklanej czy mineralnej, która była montowana pod płytami elewacyjnymi acekol. Występuje to podczas prac demontażowych czy po ich zakończeniu. Ograniczenie identyfikacji włókien związane z ich morfologią w metodzie PCM pozwala zmniejszyć mikroskopia w świetle spolaryzowanym czy inne, znacznie droższe metody mikroskopii elektronowej (SEM, TEM), umożliwiające identyfikowanie włókien na podstawie składu chemicznego czy struktury krystalicznej.

PODSUMOWANIE

Pracownicy Laboratorium Badań Środowiska Pracy i Ochrony Powietrza Zakładu Oszczędności Energii i Ochrony Powietrza GIG w czasie wieloletnich badań zdobyli doświadczenie w zakresie pobierania próbek powietrza do oznaczania stężeń liczbowych włókien respirabilnych azbestu w środowisku pracy i środowisku zewnętrznym. Próbki są pobierane zgodnie z opracowaną w Laboratorium procedurą badawczą w systemie zarządzania zgodnym z normą PN-EN ISO 17025:2005. W ramach wewnątrzinstytutowej współpracy, liczbę włókien azbestu w pobieranych próbkach oznacza się metodą mikroskopii optycznej w Laboratorium Pomiarów Zapylenia Powietrza GIG, według akredytowanej w PCA procedury KD-2205-1, wyniki są przekazywane do Laboratorium BŚPiOP. Na podstawie uzyskanych wyników oblicza się stężenie włókien w powietrzu i opracowuje sprawozdanie wraz z oceną higieniczną. Co do badań środowiska pracy, dla którego określono wartość dopuszczalną (NDS), ocena pozwala na stwierdzenie, czy na danym stanowisku istnieją bezpieczne warunki pracy. Przedstawione wyniki potwierdzają, że nie zawsze tak jest. Bezpośrednie obserwacje metod usuwania wyrobów zawierających azbest wskazują, że duże stężenia są związane z brakiem stosowania obowiązujących technik prowadzenia prac. Wynika to z różnych przyczyn, których analizy można szukać w opracowaniach Państwowej Inspekcji Pracy.

Badania środowiska zewnętrznego zwykle są wykonywane w celu oceny stopnia zanieczyszczenia terenu włóknami azbestu, gdzie planuje się usuwanie elementów zawierających azbest, oraz określenia prawidłowości prowadzonych prac i stopnia oczyszczenia terenu po zakończeniu prac demontażowych. Uzyskane wyniki w zdecydowanej większości potwierdzały prawidłowość wykonanych prac, ale zdarzały się sytuacje wymagające ponownego oczyszczenia i powtórzenia badań. Należy zana-

czyć, że w środowisku występują również włókna pochodzące z innych źródeł, mogące powodować podwyższone stężenia włókien azbestu w powietrzu, niezależnie od prowadzonych prac. Z tego powodu właściwa ocena powinna następować na podstawie porównania dwóch serii pomiarowych – przed i po zakończeniu robót.

Obecnie brak jest jednoznacznych normatywów i regulacji prawnych dotyczących badań stężeń włókien azbestu w środowisku. Pozwala to na przykład na taką ich interpretację, która nie wymaga, w opinii wykonawców, potrzeby wykonywania badań. Dotychczasowe doświadczenia wynikające ze współpracy pracowników Laboratorium Badań Środowiska Pracy i Ochrony Powietrza z przedstawicielami firm wykonujących prace związane z usuwaniem azbestu, wskazują na słabą znajomość obowiązujących przepisów. Również liczba firm oraz realizowanych prac w stosunku do zainteresowania badaniami wskazuje na omijanie obowiązku ich wykonywania. To z kolei pozwala wnioskować, że prace te nie są wykonywane z należytą starannością, niejednokrotnie przez przypadkowych przedsiębiorców nastawionych na zysk.

Metoda mikroskopii optycznej z kontrastem fazy, pomimo że obciążona znaczną niepewnością, pozwala na uzyskiwanie wiarygodnych i porównywalnych wyników, które mogą być podstawą do oceny stopnia narażenia na włókna respirabilne pracowników wykonujących prace związane z azbestem, jak również na ocenę prawidłowości wykonywanych prac.

Opracowanie jednoznacznych kryteriów wykonywania badań w środowisku oraz ustalenie racjonalnych normatywów dopuszczalnych stężeń w powietrzu atmosferycznym powinno zapobiegać nadmiernej emisji włókien do powietrza i przyczynić się do poprawy stanu środowiska.

Literatura

1. Azbest (2006): Podręcznik wydany przez Komitet Starszych Inspektorów Pracy (SLIC), KOMISJA EUROPEJSKA, DG ds. Zatrudnienia, Spraw Społecznych i Równości Szans. Warszawa 2006 (www.pip.gov.pl).
2. Brzozowski A., Obmiński A. (2004): Gdzie występuje potrzeba zabezpieczenia lub usuwania azbestu w Polsce? *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka* nr 4.
3. Determination of airborne fibre number concentrations. A recommended method, by phase-contrast optical microscopy (membrane filter method). Geneva, WHO 1997.
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2003/18/WE z 27 marca 2003 r. zmieniająca dyrektywę Rady UE 83/477/EWG w sprawie ochrony pracowników przed zagrożeniami związanymi z narażeniem na działanie azbestu w miejscu pracy, OJEU L.97/48, 15.04.2003.
5. Fołtyn M. (2007): Azbest – jak ograniczyć ryzyko. Podręcznik dobrych praktyk. *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka* nr 6.
6. O azbeście bez trucia – czyli techniczne, zdrowotne i prawne aspekty użytkowania wyrobów zawierających azbest. Warszawa, Urząd Miasta Stołecznego – Biuro Ochrony Środowiska 2005.
7. Określanie stężenia włókien unoszących się w powietrzu. Zalecana metoda: mikroskopia optyczna z kontrastem fazowym (metoda z wykorzystaniem filtra membranowego). Geneva, WHO 1997.

8. Pindel T. (2009): Czulość i wiarygodność pomiarów czystości powietrza pod kątem analizy włókien respirabilnych azbestu za pomocą mikroskopii optycznej oraz innych metod badawczych. Seminarium szkoleniowe: Ocena zagrożeń obiektów budowlanych zanieczyszczonych pyłem azbestowym i metody kontroli zagrożeń. Warszawa, ITB.
9. PN-EN ISO 16000-7:2007 Powietrze wewnątrz – Część 7: Strategia pobierania próbek do pomiaru stężeń włókien azbestu zawieszonych w powietrzu.
10. PN-Z-04008-7:2002 Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacji wyników.
11. Rozporządzenie (1996): Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z 11 września 1996 r. w sprawie czynników rakotwórczych w środowisku pracy oraz nadzoru nad stanem zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki (Dz. U. Nr 121, poz. 571).
12. Rozporządzenie (2002a): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 grudnia 2002 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. Nr 1 z 2003 r., poz. 12).
13. Rozporządzenie (2002b): Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. Nr 217, poz. 1833, z późn. zmianami).
14. Rozporządzenie (2003): Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 23 października 2003 r. w sprawie wymagań w zakresie wykorzystywania i przemieszczania azbestu oraz wykorzystywania i oczyszczania instalacji lub urządzeń, w których był lub jest wykorzystywany azbest (Dz. U. Nr 192, poz. 1876).
15. Rozporządzenie (2004): Rozporządzenie MGPIPS z dnia 2 kwietnia 2004 r. w sprawie sposobów i warunków bezpiecznego użytkowania i usuwania wyrobów zawierających azbest (Dz. U. Nr 71, poz. 49).
16. Rozporządzenie (2005a): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2005 r., w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz. U. Nr 260, poz. 2181).
17. Rozporządzenie (2005b): Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 14 października 2005 r. w sprawie zasad bezpieczeństwa i higieny pracy przy zabezpieczaniu i usuwaniu wyrobów zawierających azbest oraz programu szkolenia w zakresie bezpiecznego użytkowania takich wyrobów (Dz. U. Nr 216, poz. 824).
18. Rozporządzenie (2005c): Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. Nr 73, poz. 645).
19. Rozporządzenie (2005d): Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 10 października 2005 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. Nr 212, poz. 1769).
20. Rozporządzenie (2008): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2008 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody (Dz. U. Nr 206, poz. 1291).
21. Ustawa (1997): Ustawa z dnia 19 czerwca 1997 r. o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest (Dz. U. z 2004 r. Nr 3, poz. 20, z późn. zmianami).
22. Ustawa (2001a): Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. Nr 62, poz. 627 z późn. zmianami, tekst jednolity Dz. U. Nr 25 z 2008 r., poz. 150).
23. Ustawa (2001b): Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz. U. 2007 Nr 39, poz. 251 z późn. zmianami).

Recenzent: doc. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk