

dr hab. inż. Michał Piasecki, prof. ITB¹⁾
ORCID: 0000-0002-0201-0478

Zanieczyszczenie powietrza pyłem podczas etapów montażu wybranych wyrobów izolacji cieplnej – badanie laboratoryjne

Dust pollution during the installation phases of selected thermal insulation products – laboratory test

DOI: 10.15199/33.2022.07.15

Streszczenie. Celem badań była analiza emisji pyłów z reprezentatywnych wyrobów izolacyjnych dostępnych na rynku w warunkach ich montażu na ścianę. Badania wykonano za pomocą laserowego i optycznego licznika cząstek. Prace badawcze prowadzono w dwóch etapach (metoda in situ i metoda komorowa). Artykuł przedstawia wyniki etapu pierwszego, tj. oceny stężenia pyłu wykonanej podczas kolejnych etapów montażu izolacji (styropianu i wełny mineralnej) w specjalnie zaprojektowanych warunkach laboratoryjnych.

Słowa kluczowe: pył; stężenie pyłu; jakość powietrza; montaż; izolacja; wełna mineralna; styropian.

Abstract. The aim of research was to investigate the issue of dust emissions from representative insulation products available on the market under their application. The tests were performed using a laser and optical particle counter. The research work was carried out in two stages (in situ method and chamber method). The article presents the results of the first stage, i.e. the assessment of dust concentrations performed during various phases of installation of insulation (polystyrene and mineral wool) in special laboratory conditions.

Keywords: dust; dust concentration; air quality; installation; insulation; mineral wool; polystyrene.

Wpływ stężenia różnych frakcji pyłów na bezpieczeństwo i zdrowie ludzi jest dobrze opisany w literaturze. Liczne badania wykazały wyraźny związek pomiędzy ekspozycją na zanieczyszczenia pyłowe a występowaniem wielu efektów zdrowotnych, takich jak zaburzenie tętna, nasilenie objawów astmy, osłabienie czynności płuc, podrażnienie dróg oddechowych, kaszel, problemy z oddychaniem, alergie [1]. Ze względu na silne, niekorzystne oddziaływanie zdrowotne pył zawieszony plasowany jest przez wiele organizacji, w tym WHO, na pierwszym miejscu wśród zanieczyszczeń powietrza zagrażających zdrowiu i życiu [2 – 4].

Ilość pyłów występujących w środowisku pracy podczas montażu izolacji cieplnej może być znaczna, a przewidywanie możliwych stężeń zanieczyszczania w celu oceny ryzyka nie jest oczywiste [5], np. stosowane metody wagiowe do określania stężenia pyłów są mało dokładne i nie umożliwiają określenia

stężenia poszczególnych frakcji pyłów [6], co ma znaczenie przy ocenie respirabilnego narażenia pracownika wykonującego montaż.

Celem prezentowanej w artykule pracy było określenie poziomu emisji pyłu podczas prac związanych z przygotowaniem i montażem izolacji cieplnej (wełna mineralna i styropian) na ścianie na wszystkich etapach realizacji oraz porównanie wyników. Badanie zostało przeprowadzone w warunkach zbliżonych do rzeczywistych na terenie laboratorium, z wykorzystaniem pełnowymiarowej ściany badawczej.

Metoda badania

Typowe wyroby izolacyjne do przeprowadzenia badań, tj. płyty z ekspandowanego polistyrenu (EPS) oraz płyty fasadowe ze skalnej wełny mineralnej, zostały zakupione na rynku. Podstawowe dane dotyczące badanych wyrobów przedstawiono w tabeli 1.

Badanie emisji podczas montażu przeprowadzono w laboratorium na murowanej ścianie z pustaków ceramicznych o wymiarach 4230 × 2740 mm pokrytych tynkiem. Pomiar emisji pyłów

Tabela 1. Charakterystyka wyrobów poddanych badaniu

Table 1. Characteristics of tested products

Fasadowa wełna skalna wg EN 13162:2012+A1:2015	
Deklarowany współczynnik przewodzenia ciepła	$\lambda_D = 0,034 \text{ W/mK}$
Klasa reakcji na ogień	A1
Wytrzymałość na rozciąganie prostopadłe do powierzchni TR	$\geq 7,5 \text{ kPa}$
Płyty styropianowe wg EN 13163:2012+A1:2015	
Deklarowany współczynnik przewodzenia ciepła	$\lambda_D = 0,040 \text{ W/mK}$
Klasa reakcji na ogień	E
Wytrzymałość na rozciąganie prostopadłe do powierzchni czołowych	TR100

prowadzony był w sposób ciągły z wyszczególnieniem następujących etapów pomiarowych: „zero”, tzn. przed przystąpieniem do aplikacji; rozpakowywanie materiału; aplikacja (cięcie, przyklejanie i dobijanie); kołkowanie; zacieranie. Do montażu płyt stosowano typowy klej, wyrabiany na potrzeby badania na zewnątrz pomieszczenia. Montaż

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej;
m.piasecki@itb.pl

przeprowadzili wykwalifikowani pracownicy, zajmujący się pracami docieplenia budynków, zgodnie z instrukcjami producentów.

Pomiar pyłu odbywał się za pomocą dwóch urządzeń – optycznego miernika pyłu zawieszonego AEROCET 831 oraz laserowego licznika cząstek AeroTrak 9310 na wysokości ok. 1 m oraz prowadzony był w sposób ciągły. Uzyskane wyniki były automatycznie uśredniane. W czasie każdej z faz montażu pomiar prowadzono w dwóch położeniach: w bezpośredniej bliskości ocieplanej przegrody i ok. 3 m od ściany, tak aby odbywał się w obszarze operowania pracowników. Na fotografii 1 przedstawiono statyw badawczy z czujnikami w fazie przed montażem.

Podczas eksperymentu monitorowano parametry środowiska za pomocą monitora ALMEMO 2690-8A. Zmierzone parametry wynosiły (po uśrednieniu): temperatura powietrza $21,8^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; wilgotność $61,4\% \pm 5\%$; ciśnienie $998,7 \text{ hPa}$. Ustalona liczba wymian powietrza wynosiła $1 \pm 10\%$.



Fot. 1. Zestaw badawczy wraz z czujnikami (etap „zero”) zastosowany do pomiarów

Photo 1. The test set used for measurements with sensors (stage „zero”)

Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych pomiarów urządzeniem AeroTrak uzyskano stężenie i liczbę cząstek w powietrzu na różnych strefach montażu płyt z wełny skalnej oraz płyt EPS z podziałem na poszczególne frakcje cząstek: 0,3; 0,5; 1; 3; 5; 10 μm oraz urządzeniem AEROCET w zakresie PM10, PM4, PM2,5, PM1, a także pyłu całkowitego TSP (z ang. *Total Suspended Particle*) wyrażonego w $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W celu określenia emisji pyłu netto każdy uzyskany pomiar próbki został pomniejszony o wartość wskazanej próbki „zero” (przed rozpoczęciem prac). Na fotografii 2



Fot. 2. Dokumentacja wizualna procesu montażu wyrobów z: wełny i styropianu w trakcie badań

Photo 2. Visual documentation of the instalation process of wool and polystyrene products during the tests

przedstawiono kolejne etapy montażu wyrobów, podczas których prowadzone były badania (aplikacja wyrobu, docinanie, kołkowanie i zacieranie), a na rysunku stężenie pyłów i liczby cząstek w przypadku każdego etapu montażu styropianu i wełny skalnej. W tabelach 2 – 5 zaprezentowano wyniki porównania odczytów z pyłomierza AEROCET [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w przypadku frakcji: 1; 2,5; 4 oraz 10 μm , a także stosunek emisji pyłu podczas montażu płyt wełny mineralnej (B) do emisji pyłu podczas montażu płyt styropianowych (A) i wyrażono w procentach.

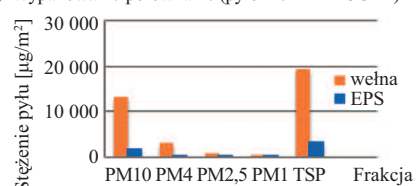
Tabela 2. Stosunek emisji pyłu z wełny mineralnej do styropianu podczas montażu wyrobów na przykładzie frakcji 1 μm
 Table 2. The ratio of dust emission from mineral wool to polystyrene during the application of products for 1 μm fraction

Etap montażu	Badany wyrób		Wynik porównania B/A*100 [%]
	styropian (A), frakcja 1 μm [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	wełna mineralna (B), frakcja 1 μm [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
Wypakowanie	5	27	591
Aplikacja i klejenie	11	15	134
Docinanie	9	10	111
Wiercenie i kołkowanie	4	29	744
Zacieranie	5	39	836

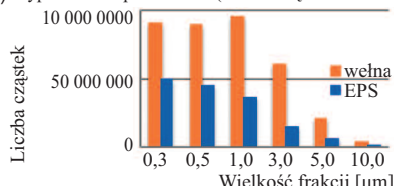
Tabela 3. Stosunek emisji pyłu z wełny mineralnej do styropianu podczas montażu wyrobów na przykładzie frakcji 2,5 μm
 Table 3. The ratio of dust emission from mineral wool to polystyrene during the application of products for 2,5 μm fraction

Etap montażu	Badany wyrób		Wynik porównania B/A*100 [%]
	styropian (A), frakcja 2,5 μm [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	wełna mineralna (B), frakcja 2,5 μm [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
Wypakowanie	12	718	6138
Aplikacja i klejenie	8	10	125
Docinanie	140	234	159
Wiercenie i kołkowanie	14	705	4894
Zacieranie	47	564	1206

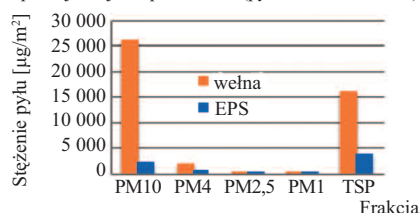
a) Wypakowanie-porównanie (pyłomierz AEROCET)



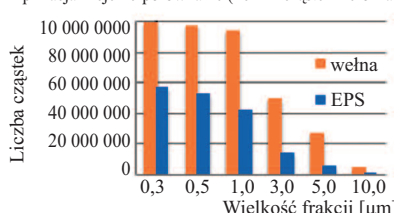
b) Wypakowanie-porównanie (licznik cząstek AeroTrak)



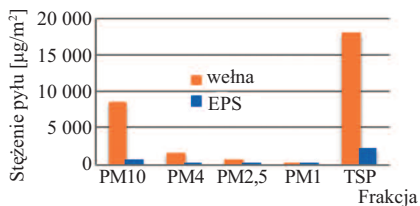
Aplikacja-klejenie-porównanie (pyłomierz AEROCET)



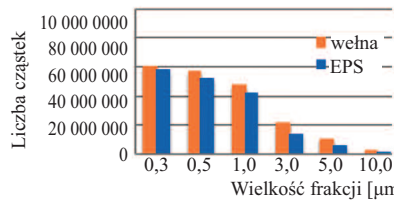
Aplikacja-klejenie-porównanie (licznik cząstek AeroTrak)



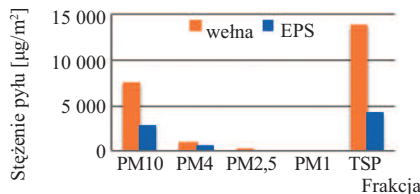
Wiercenie i kołkowanie-porównanie (pyłomierz AEROCET)



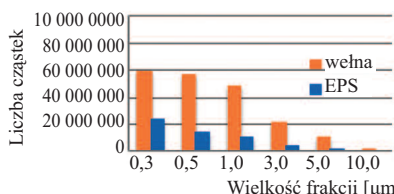
Docinanie-porównanie (licznik cząstek AeroTrak)



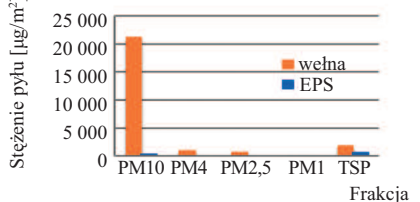
Docinanie-porównanie (pyłomierz AEROCET)



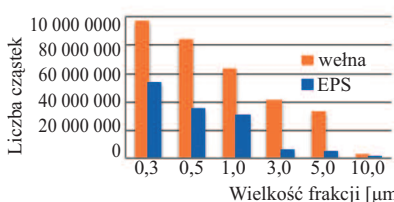
Wiercenie i kołkowanie-porównanie (licznik cząstek AeroTrak)



Docieranie-porównanie (pyłomierz AEROCET)



Docieranie-porównanie (licznik cząstek AeroTrak)



Porównanie stężenia pyłu (a) i liczby cząstek (b) podczas montażu styropianu i wełny mineralnej na ścianę, uwzględniając poszczególne etapy prac montażowych
 Comparison of dust concentrations (a) and particle counts (b) during the assembly of polystyrene and wool on the wall, taking into account the individual stages of assembly work

Tabela 4. Stosunek emisji pyłu z wełny mineralnej do styropianu podczas montażu wyrobów na przykładzie frakcji 4 μm
 Table 4. The ratio of dust emission from mineral wool to polystyrene during the application of products for 4 μm fraction

Etap montażu	Badany wyrób		Wynik porównania B/A*100 [%]
	styropian (A), frakcja 4 μm [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	wełna mineralna (B), frakcja 4 μm [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
Wypakowanie	43	2966	6897
Aplikacja i klejenie	527	1738	330
Docinanie	659	1040	158
Wiercenie i kołkowanie	60	1601	2677
Zacieranie	100	1001	1006

Tabela 5. Stosunek emisji pyłu z wełny mineralnej do styropianu podczas montażu wyrobów na przykładzie frakcji 10 μm
 Table 5. The ratio of dust emission from mineral wool to polystyrene during the application of products for 10 μm fraction

Etap montażu	Badany wyrób		Wynik porównania B/A*100 [%]
	styropian (A), frakcja 10 μm [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	wełna mineralna (B), frakcja 10 μm [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
Wypakowanie	1666	13117	787
Aplikacja i klejenie	2247	26002	1157
Docinanie	2816	7450	265
Wiercenie i kołkowanie	683	8414	1232
Zacieranie	449	21049	4691

Wnioski z badań i podsumowanie

Analiza wyników wskazuje, że podczas montażu skalnej wełny mineralnej na przegrodzie występuje znaczna emisja pyłów różnych frakcji, zmienna w czasie, która zależy od podejmowanych działań instalacyjnych. Stwier-

dzono, że emisja pyłu (średnia dla wszystkich frakcji) jest w przypadku montażu większa niż styropianu: 36 razy podczas samego wypakowywania wyrobu; 4,3 razy podczas aplikacji na przegrodę; 1,7 razy podczas docinania wyrobu; 23,9 razy podczas wiercenia i kołkowania oraz 19,3 razy podczas zacierania. Uśredniając cały proces, daje to w analizowanym przypadku ponad 17-krotnie większą emisję pyłu podczas montażu wełny niż styropianu. Dodatkowo uzyskano 69 razy większe stężenie pyłu na etapie wypakowania wełny mineralnej w porównaniu z tą samą czynnością w przypadku EPS (frakcja 4 μm). W efekcie stwierdzono, że stężenie pyłu z każdej frakcji wełny jest większe niż w przypadku styropianu, co wynika z różnej struktury tych materiałów.

Uzyskane wyniki testów są porównywalne z wynikami opublikowanych podobnych badań w literaturze oraz z wynikami testów prowadzonych przez CIOP [8], gdzie maksymalne średnie ważone stężenie pyłu całkowitego wynosiło odpowiednio: 11,5; 14,3 i 12,7 mg/m^3 na stanowiskach pracy podczas montażu izolacji z wełny mineralnej [9 – 10]. W badaniach prowadzonych m.in. przez Instytut Nofera [11] uzyskano podczas procesu montażu wełny wyniki indywidualne o wartości do 1 mg/m^3 . Inne pomiary wykonane podczas montażu i wymiany materiałów termoizolacyjnych, m.in. [8], wykazały, że średnie ważone stężenie pyłów wynosiło $1,3 \div 14,3 \text{ mg}/\text{m}^3$. Jest to poziom zbliżony do progu dopuszczalnego na stanowiskach pracy. Podczas aplikacji i zacierania wełny mineralnej w prezentowanych badaniach przekroczone zostało największe dopuszczalne stężenie NDS na stanowisku pracy wynoszące 10 mg/m^3 określone zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286) wraz ze zmianami (Dz.U. 2020 poz. 61) [7], przy czym podczas procesu zacierania stężenie dopuszczalne było przekroczone dwukrotnie.

Na podstawie uzyskanych wyników można przedstawić praktyczny wniosek, że **szczególnie podczas klejenia oraz szlifowania powierzchni płyt wełny skalnej niezbędnie konieczne jest specjalistyczne zabezpieczenie górnych dróg oddechowych maskami przeciwpyłowymi, a oczu okularami ochronnymi**. Badania prezentowane w artykule zostały zwalidowane innymi metodami w komorach badawczych, co zostanie zaprezentowane w kolejnym artykule. Uzyskane wyniki nie są statystycznie reprezentatywne do przewidywania stężenia pyłów na stanowiskach montażu izolacji, ale jednak dają konkretną wartość odniesienia.

Literatura

- [1] Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution. Environ. Pollution. 2008, 151: 362 – 367.
- [2] Fann N, Lamson AD, Anenberg SC, Wesson K, Risley D, Hubbell BJ. Estimating the national public health burden associated with exposure to ambient PM2.5 and ozone, Risk Analysis. 2012, 32: 81 – 95.
- [3] Szadkowska-Stańczyk I, Stroszejn-Mrowca G. Cancerogenic effect of occupational exposure to man-made mineral fibres: a review of epidemiological evidences. Medycyna Pracy. 2002; 53(2): 137 – 43.
- [4] Bell ML. Assessment of the Health Impacts of Particulate Matter Characteristics; Research Report, No 161; Health Effects Institute: Boston, MA, USA, 2012; s. 5 – 38.
- [5] Wohlleben W, Waindick H, Daumann B, Werle K, Drum M, Egenolf H. Composition, Respirable Fraction and Dissolution Rate of 24 Stone Wool MMVF with their Binder Particle and Fibre. Toxicology. 2017; 14: 29.
- [6] Bekierski D, Kostyrko KB. The Influence of Outdoor Particulate Matter PM2.5 on Indoor Air Quality: The Implementation of a New Assessment Method. Energies. 2021; 14: 6230.
- [7] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. [8] <http://archiwum.ciop.pl> (dostęp czerwiec 2022).
- [9] Krajewski J, Tarkowski S., Insulation materials containing artificial mineral fibers – hazards, Bezpieczeństwo Pracy. 2002; 3: 16 – 20.
- [10] Taqi S. Levels of airborne man-made mineral fibres in UK dwellings. Fibre levels during and after installation of insulation, Atmospheric Environment. 1990; 24, A (1).
- [11] Kupczewska-Dobacka M, Konieczko K, Czerczak S. Occupational risk resulting from exposure to mineral wool when installing insulation in buildings. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. 2020; 33 (6): 757 – 769.

Przyjęto do druku: 17.06.2022 r.



AVASIL – The Water Repellent Forever

– spektakularny i trwały efekt hydrofobowy farb i tynków silikonowych,
– minimalna zdolność kumulacji zanieczyszczeń



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel +48 22 608 51 00

e-mail: arbolcel@jrs.pl