

Zanieczyszczenia pyłowe powietrza i ich wpływ na zdrowie człowieka

ADAM ZAHLER

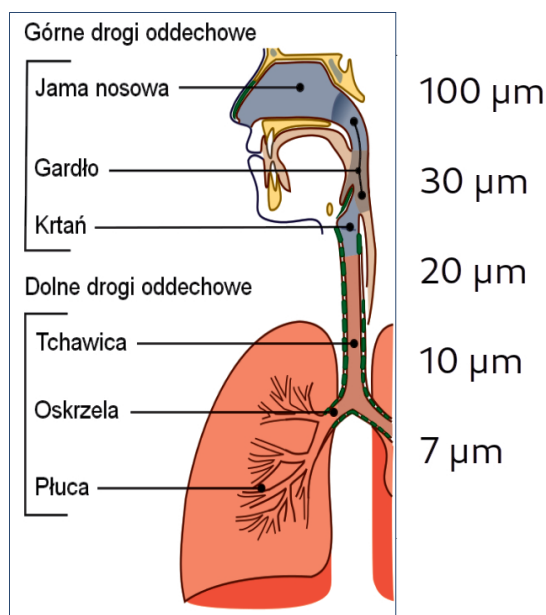


WSTĘP

Codzienne oddychanie (wentylacja płuc), związane z wdechem i wydechem, to podstawa naszego życia. Do naszych płuc wpływa średnio w ciągu godziny spokojnego oddychania około $0,5 \text{ m}^3$ powietrza – ze wszystkimi jego składnikami. Proces oddychania jest regulowany automatycznie przez autonomiczny układ nerwowy, a więc nie musimy myśleć o oddychaniu i możemy skoncentrować się np. na nauce – o ile parametry powietrza odpowiadają poziomowi, do którego nasz organizm został przystosowany.

Każdego dnia w Polsce około 5 mln uczniów i 500 tysięcy nauczycieli może sprawdzić działanie tego układu i próbować na niego wpływać. O ile nie myślimy wprost o pracy mięśni wokół płuc, o tyle możemy np. przyspieszać lub spowalniać proces oddychania – czyli w pewnym zakresie regulować działanie organizmu. Inne parametry otoczenia, np. poziom oświetlenia, mogą być impulsem do regulacji średnicy źrenicy, ale na poziom hałasu nie możemy zareagować „przymknięciem ucha”. To jest proste doświadczenie, ale właśnie takie łatwe działania wplecione w holistyczne podejście do edukacji mogą pomóc w kompleksowym zrozumieniu otaczającego nas świata.

Wspomniane $0,5 \text{ m}^3$ powietrza na godzinę zawiera nie tylko podstawowe gazy niezbędne do życia – tlen i azot – ale również inne składniki gazowe – choćby produkt naszego oddychania lub spalania paliw kopalnych – dwutlenek węgla, radioaktywny radon i składniki zanieczyszczeń mechanicznych w szerokim zakresie wielkości, kształtu i składu chemicznego. W dużym przybliżeniu szacuje się, że tzw. frakcja wdychana zawiera cząstki o wielkości poniżej $0,1 \text{ mm}$ (czyli $100 \mu\text{m}$). Większe, cięższe po prostu, grawitacyjnie opadają przed dotarciem do jamy nosowej. Tam, ze względu na konstrukcję tej jamy – będącej w uproszczeniu komorą filtracyjną pokrytą błoną śluzową z nabłonkiem orzęsionym – następuje mechaniczne zatrzymanie, a następnie usuwanie zanieczyszczeń wraz ze śluzem cząstek powyżej $30 \mu\text{m}$. W następnych odcinkach górnych dróg oddechowych: krtani, tchawicy – następuje zatrzymanie kolejnych mniejszych części wdychanych zanieczyszczeń (pyłu). Niestety poza oskrzelami i oskrzelikami do pęcherzyków płucnych docierają cząsteczki o wielkości poniżej około $10 \mu\text{m}$ – jest to tzw. pył respirabilny. Warto przypomnieć, że czas usuwania pyłu z pęcherzyków płucnych jest długi (ok. 50% na miesiąc). Zanieczyszczenia o wielkości poniżej 7 mikrometrów przenikają do krwiobiegu.



Grafika 1. Uproszczony schemat dróg oddechowych i wielkość zanieczyszczeń zatrzymywana w poszczególnych odcinkach
Źródło: Wikipedia

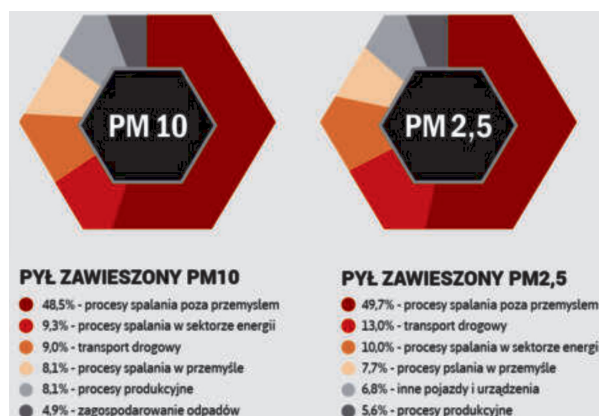
Typowy erytrocyt ma około 8 mikrometrów średnicy; właśnie ze względu na brak możliwości separacji w organizmie tak małych zanieczyszczeń do oceny jakości powietrza wprowadzono wymiar dla pyłów zawieszonych (*Particulate Matter*) – $PM_{2,5}$, PM_{10} i ostatnio PM_{1} , czyli wielkości określające stężenie cząstek o wielkościach odpowiednio poniżej 10, 2,5 i 1 µm.

Pył zawieszony jest zanieczyszczeniem powietrza składającym się z mieszaniny cząstek stałych i ciekłych wielu pierwiastków i związków chemicznych zawieszonych w powietrzu, będących mieszaniną substancji organicznych i nieorganicznych.

Ze względu na pochodzenie wyróżnia się następujące źródła pyłów zawieszonych:

- **Naturalne:** pożary, wybuchy wulkanów, rozkład materii organicznej, pylenie roślin, wietrzenie skał;
- **Antropogeniczne:** spalanie paliw kopalnych w gospodarstwach domowych, energetyce, przemyśle; komunikacja samochodowa, procesy technologiczne;

- **Wtórne:** powstają w wyniku przemian chemicznych w atmosferze prekursorów pyłu – dwutlenku siarki (SO_2), tlenków azotu (NO_x), lotnych związków organicznych (LZO), amoniaku (NH_3). Znaczna ilość pyłów w powietrzu jest pochodzenia wtórnego.



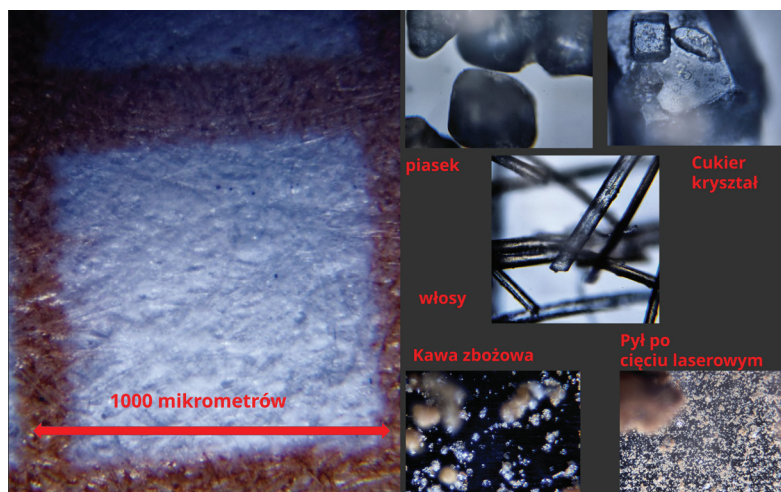
Indeks jakości powietrza	PM10 [µg/m³]	PM2,5 [µg/m³]
Bardzo dobry	0 - 20	0 - 13
Dobry	20,1 - 50	13,1 - 35
Umiarkowany	50,1 - 80	35,1 - 55
Dostateczny	80,1 - 110	55,1 - 75
Zły	110,1 - 150	75,1 - 110
Bardzo zły	> 150	> 110

Grafika 2. Główne źródła powstawania pyłów zawieszonych PM_{10} i $PM_{2,5}$ oraz Indeksy jakości powietrza
Źródło: Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2016

Pył jest zanieczyszczeniem transgranicznym. Cząsteczki frakcji PM_{10} są transportowane na odległość do 1000 km, z kolei pył $PM_{2,5}$ może być unoszony ruchami mas powietrza na odległość do 2500 km; stąd konieczna jest międzynarodowa współpraca dotycząca monitoringu emisji. Warto podkreślić, że aktualnie stosowane indeksy jakości powietrza nie rozróżniają wspomnianego pochodzenia pyłu – czyli np. PM_{10} o stężeniu 100 µg/m³ w okolicy piaszczystej wydmy może mieć zupełnie inny skład i szkodliwość (chemiczną) niż takie samo stężenie pyłu w zimowy smogowy poranek w rejonie uprzemysłowionym.

ZANIECZYSZCZENIA PYŁOWE POWIETRZA I ICH WPŁYW NA ZDROWIE CZŁOWIEKA

W ramach interdyscyplinarnego podejścia do edukacji można zaproponować proste obliczenia: przy założeniu zalecanego maksymalnego poziomu zanieczyszczeń $PM_{10} = 40 \mu g/m^3$ i średnim czasie życia, np. 80 lat, oszacować ilość pyłu, która przedostaje się do krwi. Proste mnożenie 80 lat x 365 dni x 24 godzin x $0,5 m^3/h$ x $40 \mu g = 14.000.000 \mu g$, czyli 14 g – odpowiada to w przybliżeniu zawartości łyżki stołowej. Wydaje się to niewiele, ale dotyczy wszystkich możliwych materiałów pylistych – od zarodników pleśni, poprzez włókna azbestowe do związków metali ciężkich. Przed analizowaniem w szkole jakichkolwiek zagadnień związanych z PM warto wykorzystać przedstawioną narrację i przykładowe zdjęcia, by uczniowie łatwiej mogli przyswoić skalę zagadnienia, wiedząc, że 1 mm = 1000 μm .



Grafika 3. Porównanie wielkości materiałów pylistych z wykorzystaniem szkolnego papieru milimetrowego
Fot. Adam Zahler

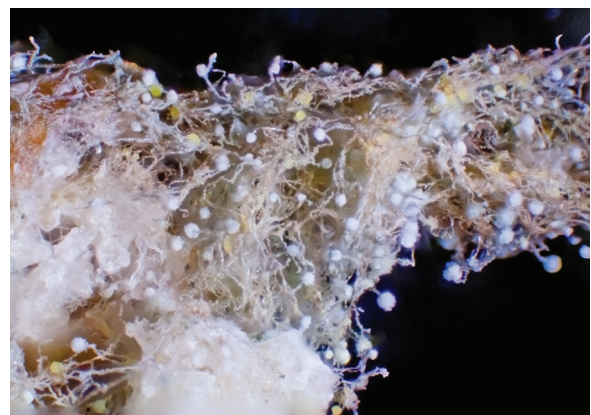
Takie ujęcie tematu daje szansę oswojenia się z jednostkami i wymiarami długości. Dla większości osób niezwiązanych z techniką Gg (gigagramy, stosowane często do opisu poziomu emisji krajowych) lub μm (milionowe części metra) są zupełnie abstrakcyjnymi wielkościami. Można też przeprowadzić pokaz przenikania cząstek dymu papierosowego (które są nawet 100 razy mniejsze niż 1 mikrometr) przez stosowaną podczas pandemii prostą maseczkę chirurgiczną – jako wskazanie na konieczność usuwania źródeł zanieczyszczeń, a nie (mniej skutecznej) ochrony indywidualnej.

ZAPYLENIE I JEGO SKUTKI ZDROWOTNE

Zapylenie powietrza w pomieszczeniach szkolnych jest zagrożeniem, które ma wpływ na zdrowie uczniów oraz na efektywność ich nauki; wpływa także na ich zdrowie, zwłaszcza w kontekście chorób układu oddechowego oraz zaburzeń koncentracji. Wysokie stężenie pyłów zawieszonych, takich jak PM_{10} czy $PM_{2,5}$, może prowadzić do alergii oraz astmy¹, a także obniżać zdolności poznawcze.

Badania wskazują, że zapylenie w pomieszczeniach szkolnych może stanowić poważne zagrożenie, zwłaszcza w połączeniu z innymi zanieczyszczeniami, takimi jak lotne związki organiczne (LZO) czy dwutlenek węgla, których obecność w powietrzu może być wynikiem nieodpowiedniej wentylacji pomieszczeń lub np. używania niewłaściwych materiałów budowlanych i dekoracyjnych.

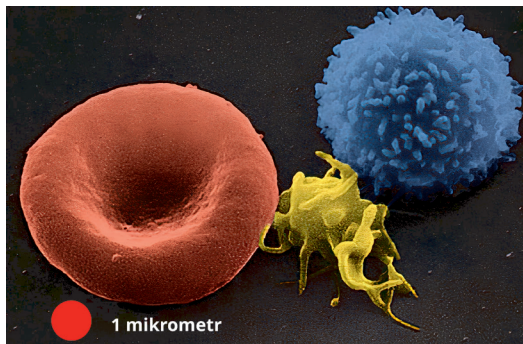
Pyły zawieszone w powietrzu są klasyfikowane na podstawie wielkości ich cząstek. Cząstki PM_{10} to te o średnicy poniżej 10 mikrometrów, a $PM_{2,5}$ mają średnicę mniejszą niż 2,5 mikrometra. Te drobne cząsteczki są szczególnie niebez-



Grafika 4. Zarodniki pleśni – jako przykład składników pyłu zawieszonego
Fot. Adam Zahler

¹ Kształtowanie jakości powietrza w pomieszczeniach szkolnych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2010.

pieczne, ponieważ mogą przenikać do głębokich odcinków układu oddechowego, powodując podrażnienia, stany zapalne, a przy długotrwałym narażeniu – także przewlekłe choroby, takie jak astma czy choroby płuc. Częsteczki te mogą pochodzić z różnych źródeł: z zewnętrznego powietrza, urządzeń grzewczych, materiałów budowlanych, a także z działalności szkolnej (np. eksperymentów laboratoryjnych, warsztatów, aktywności związanych z zajęciami wychowania fizycznego). Badania przeprowadzone w 2013 roku przez Światową Organizację Zdrowia (WHO) wykazują, że długotrwałe wdychanie pyłów zawieszonych w pomieszczeniach szkolnych prowadzi do znacznego wzrostu przypadków astmy, a także pogorszenia wydolności układu oddechowego u dzieci i młodzieży. Dzieci są szczególnie wrażliwe na zanieczyszczone powietrze, ponieważ ich układ oddechowy jest jeszcze w trakcie rozwoju, a wykształcające się narządy są bardziej podatne na uszkodzenia. Ponadto dzieci oddychają szybciej i głębiej niż dorośli, co oznacza, że zanieczyszczone powietrze ma większy wpływ na ich zdrowie.



Grafika 5. Porównanie wielkości krwinek i zanieczyszczeń. Czerwony kolor – erytrocyt, niebieski kolor – leukocyt, żółty – zanieczyszczenie, pomarańczowa kropka – 1 mikrometr **Źródło:** Wikipedia

PRZYKŁADY BADAŃ NAD WPŁYWEM ZAPYLENIA

Badania nad wpływem zapylenia na zdrowie uczniów zostały przeprowadzone w różnych częściach świata, a ich wyniki potwierdzają, że wysokie stężenie pyłów w pomieszczeniach szkolnych może powodować negatywne skutki zdrowotne. Przykładem może być badanie przeprowadzone

w 2015 roku przez zespół badawczy z Uniwersytetu w Barcelonie², które obejmowało analizę jakości powietrza w szkołach w Hiszpanii. Badacze zauważyli, że w szkołach, w których wentylacja była niewystarczająca, stężenie pyłów $PM_{2,5}$ przekraczało dopuszczalne normy, co miało wpływ na zdrowie dzieci, a uczniowie osiąkali gorsze wyniki w testach wymagających koncentracji oraz zdolności poznawczych. W wyniku tego badania zalecano wprowadzenie systemów monitoringu jakości powietrza oraz modernizację wentylacji w szkołach, aby zminimalizować ryzyko narażenia na szkodliwe substancje. Podobne badanie zostało przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych przez Agencję Ochrony Środowiska (EPA) w 2018 roku. Przykładowo – projekt Indoor Air Quality in Schools, przeprowadzony przez tę instytucję, wykazał, że w wielu szkołach w Stanach Zjednoczonych stężenie pyłów $PM_{2,5}$ i PM_{10} w powietrzu przekraczało dopuszczalne normy. W szczególności w szkołach z niewystarczającą wentylacją stężenia te były o 30-50% wyższe niż normy wyznaczone przez WHO. Ponadto badania przeprowadzone w 2019 roku przez grupę ekspertów ds. jakości powietrza w szkołach wskazują na związek pomiędzy obecnością pyłów zawieszonych w szkołach a częstotliwością dolegliwości związanych z układem oddechowym, takich jak kaszel, duszności czy częste przeziębienia.

W wyniku tych badań wprowadzono szereg działań mających na celu poprawę jakości powietrza, w tym modernizację systemów wentylacyjnych oraz rekomendacje dotyczące stosowania materiałów budowlanych o niskiej emisji zanieczyszczeń. Analogiczne zalecenia dotyczące prostszych metod – np. okresowego wietrzenia pomieszczeń szkolnych – zawarte są także w polskich przepisach³.

Istnieje związek zapylenia powietrza z wynikami w nauce. Może ono również negatywnie wpływać na zdolność koncentracji uczniów. Badania nad tym

² D. Barceló i in., *Indoor air pollution and academic performance in children: a study in Barcelona schools*, „Environmental Health Perspectives” nr (9)123/2015, s. 906-912.

³ Bezpieczeństwo i higiena w publicznych i niepublicznych szkołach i placówkach, Dz.U.2020.1604.

ZANIECZYSZCZENIA PYŁOWE POWIETRZA I ICH WPŁYW NA ZDROWIE CZŁOWIEKA

zagadnieniem wskazują, że narażenie na zanieczyszczone powietrze, w tym na wysokie stężenia pyłów zawieszonych, obniża poziom koncentracji⁴, co może skutkować gorszymi wynikami w nauce. Długotrwałe wdychanie zanieczyszczonego powietrza prowadzi również do przewlekłego zmęczenia, co może dodatkowo obniżać zdolności poznawcze uczniów, wpływając na ich zdolność przyswajania wiedzy.

PRZYKŁADY DZIAŁAŃ NA RZECZ POPRAWY JAKOŚCI POWIETRZA

Według szacunków Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami w roku 2022 emisja PM_{10} wyniosła w Polsce około 350 tysięcy ton, z czego ponad 50% pochodzi ze źródeł spalania poza przemysłem, czyli jest tzw. niską emisją – w praktyce z gospodarstw domowych. Oznacza to, że zanieczyszczenia powstają w znacznej mierze w otoczeniu placówek szkolnych, co bezpośrednio przekłada się na jakość powietrza, którym oddychają uczniowie.



Grafika 6. Zgodnie z obowiązującymi przepisami prace budowlane nie mogą być prowadzone w otoczeniu szkoły podczas przebywania tam uczniów **Fot.** Adam Zahler

Rekomendacje Światowej Organizacji Zdrowia⁵ wskazują na konieczność modernizacji systemów wentylacyjnych w szkołach oraz regularne monitorowanie poziomu zanieczyszczeń, zwłaszcza pyłów zawieszonych, w celu zapewnienia uczniom bezpiecznych warunków do nauki. W Polsce, na przykład, badania przeprowadzone przez zespół naukowców z Politechniki Śląskiej w latach 2008 i 2015⁶ wykazały, że w placówkach edukacyjnych (szkołach i przedszkolach) w regionie południowym stężenie pyłów PM_{10} przekraczało dopuszczalne normy. Na tej podstawie zaproponowano wdrożenie systemów monitoringu jakości powietrza oraz wymianę starych okien i systemów grzewczych na bardziej ekologiczne i wydajne.

Wśród proponowanych działań znajdują się m.in. techniczne modyfikacje układów nawiewu⁷ oraz edukacja uczniów na temat wpływu środowiska na ich zdrowie. Tylko takie kompleksowe podejście⁸ może zapewnić uczniom zdrowe i sprzyjające nauce warunki. Warto podkreślić, że problem wpływu zanieczyszczeń na uczniów ma znacznie szerszy kontekst – ten bezpośrednio zdrowotny przekłada się na dodatkowe problemy społeczne (zapewnienie opieki chorym dzieciom), jak i ekonomiczny – z punktu widzenia zarówno uczniów, jak rodziców i szkoły.

⁴ Projekt NdS/548429/2022/2022, *Efektywność przyswajania wiedzy a jakość powietrza wewnątrz w szkołach*, Politechnika Świętokrzyska, 2022.

⁵ World Health Organization (WHO), *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*, 2013.

⁶ A. Mainka i in., *Badanie zanieczyszczeń powietrza oddziałujących na dzieci w przedszkolu miejskim zlokalizowanym przy drodze o dużym natężeniu ruchu*, „Politechnika Śląska” nr 1/2015, t. 18, s. 119-133.

⁷ J. Ferdyn-Grygierek, *Jakość powietrza i wentylacja w budynkach edukacyjnych*, „Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej” nr 1787/2008.

⁸ Environmental Protection Agency, *Indoor Air Quality Tools for Schools*, www.epa.gov/iaq-schools; Preventive maintenance guidance.

Mając to na uwadze, Centrum Nauki Kopernik przygotowało dla szkół podstawowych edukacyjny zestaw pudetkowy „Jakość powietrza”.

ZESTAW EDUKACYJNY CENTRUM NAUKI KOPERNIK „JAKOŚĆ POWIETRZA”



Grafika 7. Edukacyjny zestaw pudetkowy *Jakość powietrza* i publikacja CNK Fot. Adam Zahler

Przybliżenie uczniom opisanych powyżej zagadnień – zarówno w ujęciu prozdrowotnym, środowiskowym, jak i technicznym – było podstawą inicjatywy podjętej w 2020 roku przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Inicjatywa zakładała przygotowanie przez Centrum Nauki Kopernik, we współpracy z Polskim Alarmem Smogowym, zestawu edukacyjnego wraz z publikacją. Dodatkowym celem był rozwój kompetencji cyfrowych uczniów. Tak powstał moduł „Jakość powietrza. Badanie zanieczyszczeń pyłowych”, który stanowi uzupełnienie modułu Powietrze – elementu cyklu MPP (Modułowe Pracownie Przyrodnicze), ale może funkcjonować też zupełnie niezależnie.



Grafika 8. Zmontowany zestaw edukacyjny podczas pomiarów szkolnych **Źródło:** Klub KMO przy SP w Zabrze

Zestaw przeznaczony jest przede wszystkim dla nauczycieli i uczniów szkół podstawowych klas VI–VIII, choć z powodzeniem może służyć także w szkołach średnich. Jego głównym celem jest przybliżenie tematu zanieczyszczeń pyłowych, które uczniowie mogą mierzyć za pomocą prostego sprzętu zawartego w zestawie⁹. Dodatkowo uczniowie zapoznają się z podstawami techniki przeprowadzania pomiarów oraz metodami zbierania i analizowania danych (co wpływa na rozwój kompetencji cyfrowych) – w tym przypadku w oparciu o pracę z mikrokontrolerem – **płytka BBC micro:bit.**

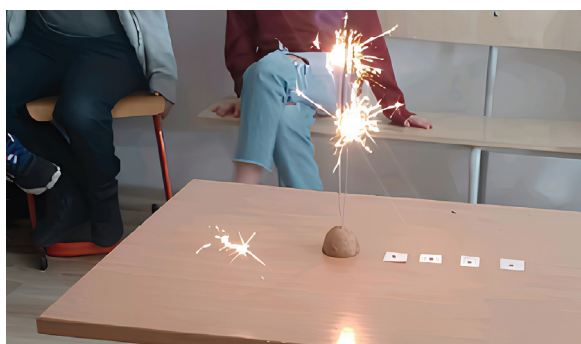
W zestawie pudetkowym „Jakość powietrza” znajduje się laserowy czujnik pyłu, mikrokontroler, wyświetlacz, moduł pamięci i inne elementy niezbędne do obsługi tych urządzeń oraz proste materiały do przeprowadzania doświadczeń. Część proponowanych eksperymentów została tak zapro-

⁹ Moduł *Jakość powietrza*, Centrum Nauki Kopernik, <https://www.kopernik.org.pl/stworz-z-nami-produkt/zestawy-edukacyjne>

ZANIECZYSZCZENIA PYŁOWE POWIETRZA I ICH WPŁYW NA ZDROWIE CZŁOWIEKA

jektowana, by można je było przeprowadzić „zdale- nie”, w warunkach domowych. Podręcznik zawiera, obok scenariuszy doświadczeń w formie osobnych kart ucznia i nauczyciela, także teksty merytorycz- ne zawierające dodatkowe wyjaśnienia dotyczące badanych przez uczniów zjawisk i nawiązujące do tematu zanieczyszczeń powietrza.

Aby uczniom bardziej przybliżyć zagadnie- nie badań środowiskowych, specyfiki pomiarów pośrednich i błędów pomiarowych, zapropono- wano im konkretną ścieżkę, gdyż istotna jest kolej- ność wykonywanych doświadczeń. Każde z nich kładzie nacisk na nieco inny aspekt badań i roz- wija różne kompetencje związane z pracą metodą badawczą. Samodzielne przejście przez cały proces badawczy pozwala wyrobić sobie bardziej krytyczne spojrzenie na pochodzące z różnych źródeł infor- macje i dane, co jest kluczowe dla świadomego funkcjonowania w dzisiejszym świecie. Informacje o kompetencjach, jakie doskonalą praca badawcza, zawarte są w dołączonym opracowaniu „Rozwój kompetencji uczniów w pracy metodą badawczą”. Wszystkie zaproponowane w zestawie działania były konsultowane z praktykami – nauczycielami przedmiotów przyrodniczych oraz informatyki.



Grafika 9. „Ognie iskrowe zw. zimnymi ogniami” i roztawione punkty zbierania zanieczyszczeń ze spalania
Źródło: Klub „Eksploratorzy przyrody” ze Szkoły Marzeń w Piasecznie



PRZYKŁADY DOŚWIADCZEŃ Z ZESTAWU

Porównanie utrwalanego w świadomości społecz- nej obrazu dymiących fabryk z wynikami własnych pomiarów i obserwacji może być dla uczniów szo- kujące – i może dzięki temu zwiększyć oni zainte- resowanie tematami zdrowotnymi w połączeniu z wpływem czynników środowiskowych.

Zaproponowano prosty eksperyment „**Impre- zowy pył**”, polegający na obserwacji efektów dzia- łania „ogni iskrowych” (często wykorzystywanych do dekoracji urodzinowych tortów lub podczas imprez w zamkniętych pomieszczeniach). Bada- nie polega na mikroskopowej obserwacji dużych cząstek – produktów spalania zebranych na prze- zroczystej taśmie samoprzylepnej wokół miejsca palenia ogni z równoczesnym pomiarem pozio- mów PM_{10} i $PM_{2,5}$ w miejscach oddalonych o np. 25 cm, 50 cm, 100 cm i 150 cm. Wykonane przez uczniów zdjęcia, z wykorzystaniem dołączonego do zestawu małego mikroskopu montowanego klipsem bezpośrednio na telefonie komórkowym, zniechęcać być może do umieszczania „ogni isk- rowych” w produktach spożywczych. Zawartość zanieczyszczeń pyłowych podczas tego ekspery- mentu często przekracza kilkadziesiąt razy dopusz- czalne limity i jest wielokrotnie większa od wartości mierzonych przez uczniów przy ruchliwych ulicach. Jest też dobrym sposobem na zwrócenie uwagi na konieczność zapewnienia skutecznej wentylacji pomieszczeń. Warto przypomnieć, że omawiany zestaw dotyczy jedynie zanieczyszczeń pyłowych, a z punktu widzenia powstających podczas spalania produktów gazowych wymagane jest stosowanie innych metod pomiarowych z dodatkowym sprzę- tem. Otwarta architektura mikrokontrolera dołączo- nego do zestawu umożliwia rozbudowę o te dodat- kowe czujniki – jest więc szansa, że zainteresowani tematem zdrowia/układu oddechowego uczniowie będą kontynuowali swoje badania.

Grafika 10. Zwilżony płatek kosmetyczny wykorzystany do zebrania dużych zanieczyszczeń wokół „ognia iskrowego”
Fot. Adam Zahler

ADAM ZAHLER

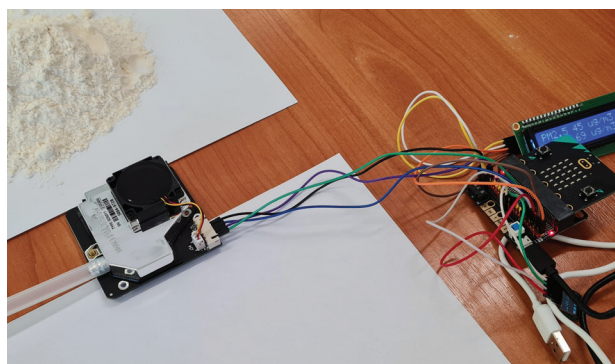
Z kolei eksperyment „**Kruszenie twardzieli**” jest próbą zwrócenia uwagi na inne źródła zanieczyszczeń pyłowych – tych mechanicznych, powstających np. podczas ścierania. Zaproponowane w scenariuszu ścieranie ceglanych, betonowych lub granitowych kostek, w połączeniu z analizą sitową i obserwacjami mikroskopowymi, zostało przez uczniów uzupełnione o tematy głęboko osadzone w środowisku szkolnym.

Biorący udział w projekcie badali przy użyciu czujników zapylenia wpływ aktywności ruchowej na korytarzach szkolnych podczas przerw na zapylenie i zwrócili uwagę na konieczność czyszczenia podłóg na mokro celem zmniejszenia emisji wtórnej. Warto w tym miejscu zauważyć, że podczas zajęć wychowania fizycznego procesy oddychania są znacznie bardziej intensywne, a przy zwiększonym wysiłku powietrze jest zasysane ustami z pominięciem filtracyjnej komory w nosie. W połączeniu z podnoszonym podczas ruchu z podłogi lub powierzchni boiska pyłem oznacza to wielokrotnie większe wprowadzanie zanieczyszczeń do organizmu.



Grafika 11. Pomiar zmian zapylenia podczas aktywności ruchowych na korytarzu szkolnym
Źródło: Klub KMO przy SP w Zabrzcu

Podobny eksperyment, „**Szybka kawa z cukrem**”, wskazujący na możliwość generowania zanieczyszczeń podczas typowych czynności domowych, polega na prowadzeniu pomiarów podczas przesypywania materiałów pylistych – np. kawy zbożowej lub cukru pudru. Wykorzystanie ogólnodostępnych materiałów z otoczenia, które dla uczniów nie jest obce, może być kluczem do łatwiejszego odbioru proponowanych treści i nie tworzy dodatkowej bariery technicznej.



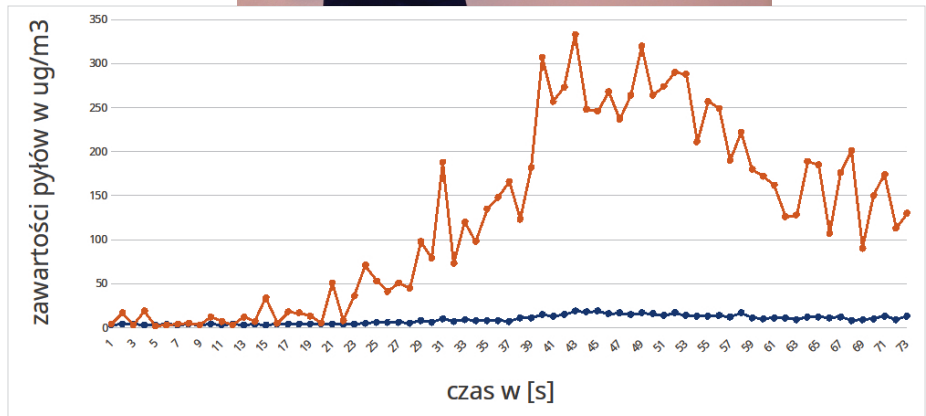
Grafika 12. Pomiar zmian zapylenia podczas przesypywania cukru pudru
Źródło: Klub KMO przy SP w Zabrzcu

DOBRE PRAKTYKI

- A. Przykładowym działaniem zrealizowanym w pozaformalnym środowisku edukacyjnym był projekt badawczy „**Badacze KMO 2022 – Śląsk i Mazowsze. Co wisi w powietrzu? Badamy zanieczyszczenia pyłowe**”, zorganizowany przez Centrum Nauki Kopernik we współpracy z Uniwersytetem Śląskim. Realizację wspierata Polsko-Amerykańska Fundacja Wolności, a materiały dla klubów zapewniła Fundacja Banku Ochrony Środowiska. Zgodnie z ideą Klubów Młodego Odkrywcę uczestnicy-klubowicze sami decydowali o udziale w projekcie i sami wybierali zagadnienie, które miało być przez kilka miesięcy wspólnie eksplorowane. Taki dobór środowiska edukacyjnego oznacza, że omawiane tematy nie są traktowane jako obowiązkowe, zewnętrznie narzucone, a stanowią obszar własnych rzeczy-wistych zainteresowań. Warto podkreślić również i to, że stosunkowo nieliczna (w porównaniu do liczby wszystkich uczniów w szkole) grupa klu-

ZANIECZYSZCZENIA PYŁOWE POWIETRZA I ICH WPŁYW NA ZDROWIE CZŁOWIEKA

klubowiczów swoimi pracami, zaangażowaniem i pasją zainteresowała dość niecodziennym tematem także osoby, które zwykle nie wykazują zainteresowań środowiskowych czy ekologicznych. Powodzenie przedsięwzięcia było możliwe zarówno dzięki starannemu przygotowaniu harmonogramu, wsparciu merytorycznemu i zaproponowanym inspiracjom, jak i poprzez aktywność klubowiczów przyzwyczajonych do samodzielnych działań, krytycznego podejścia, zadawania pytań i szukania różnorodnych rozwiązań. Podczas spotkania wprowadzającego przeprowadzono wybrane proste, praktyczne doświadczenia, których ideą było ukazanie zagadnienia zanieczyszczeń pyłowych w ujęciu nietypowym (lub nieoczywistym dla młodszych) – choćby jako efektu spalania świeczki na torcie lub ścierania butów. Takie odwołanie do otoczenia bliższego i lepiej znanego uczniom daje lepsze efekty niż epatowanie megatonami paliw zamienianych w gazy ciepłarniane. Oczywiście niezbędne było wsparcie ekspertów – w tym przypadku specjalistów z Wydziału Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego – dzięki którym zapewniona była merytoryczna poprawność przekazywanych treści oraz odwołania do (kluczowej w klubach KMO) metody naukowej, rozwijającej pożądane kompetencje techniczne, przyrodnicze, matematyczne i społeczne. Istotne były także przykłady możliwych popełnianych błędów – zarówno praktycznych, których źródłem była niedoskonałość sprzętu lub brak doświadczenia, jak i metodologicznych, wynikających ze szkolnego przeświadczenia, że każdy eksperyment „musi się udać”. W czasie realizacji projektu klubowicze sami zauważyli, jakie czynniki mogą mieć większy wpływ na ich zdrowie. Badali np. wpływ na poziom zapylenia użycia kredy zwykłej i bezpyłowej na szkolnej tablicy, otwierania okien czy intensywności ruchu samochodowego podczas porannego szczytu komunikacyjnego przy podwożeniu uczniów do szkoły.



Grafika 13. Pomiar obecności pyłów $PM_{2.5}$ (niebieskie) i PM_{10} (pomarańczowe) w sali lekcyjnej podczas używania kredy bezpyłowej

Źródło: Klub KMO przy SP38 w Sosnowcu.

- B. Dzięki międzynarodowym grantom możliwa była realizacja projektu „Badanie jakości powietrza ścieżką do wiedzy”, zrealizowanego w latach 2023-2024 we współpracy polskiego II Liceum Ogólnokształcącego w Dębicy i Menntaskolinn w Reykjavíku¹⁰. Działania grup młodzieżowych i wybór konkretnych tematów był poprzedzony intensywnymi kilkudniowymi szkoleniami praktycznymi dla nauczycieli obu szkół, podczas których uczestnicy samodzielnie zmontowali zestawy pomiarowe oraz przeprowadzili zaproponowane doświadczenia. Dzięki temu łatwiej było opiekunom grup ocenić późniejsze propozycje młodzieży i włączyć je do realizowanego cyklu edukacyjnego. Taka międzynarodowa współpraca, uwzględniająca możliwość zetknięcia się z odmiennymi od typowych zjawiskami atmosferycznymi (np. burzą piaskową lub pyłem wulkanicznym), pozwoliła lepiej zrozumieć uwarunkowania środowiskowe. Niektóre projekty¹¹ obejmowały np. wykorzystanie

¹⁰ Raport z projektu grantowego; <https://twardowski.edu.pl/23417-2/>

¹¹ Opis projektu badania jakości powietrza – <https://twardowski.edu.pl/badanie-jakosci-powietrza-sciezka-do-wiedzy-2/>.

ADAM ZAHLER

mchów jako biofiltrów, badanie wpływu noworocznych sztucznych ogni na poziom zapylenia, obecność zanieczyszczeń w rejonach miejskich, przemysłowych i przy ciągach komunikacyjnych lub wpływ wody/wilgoci na otoczenie. Pomysły miejsc do badań i różnorodność podejścia pokazały, że zagadnienia ochrony zdrowia i działań antysmogowych są zdecydowanie lepiej przyswajane przez młodzież – zarówno z Polski, jak i Islandii – dzięki samodzielnym aktywnościom projektowym, zwłaszcza tym, które dotyczą ich bezpośredniego otoczenia szkolnego, a nie są jedynie teoretycznymi rozważaniami¹². Zainteresowanie tematem pozostało po zakończeniu projektu, co wskazuje na słuszność zaproponowanej ścieżki dydaktycznej.

ŚWIADOMOŚĆ ZAGROZEŃ

Wskazujemy także uczniom metody weryfikacji uzyskanych danych pomiarowych – choćby przez korzystanie z portali informacyjnych instytucji zajmujących się monitoringiem¹³. Dzięki rozbudowanej sieci czujników i nowym modelom numerycznym, uwzględniającym kierunki i siłę wiatrów, ew. pożary, zakwitanie roślin, możliwe jest szacowanie zagrożeń pyłowych. Uzależnianie własnej aktywności fizycznej na zewnątrz budynków od poziomów wskazywanych i prognozowanych zanieczyszczeń jest przykładem świadomych zachowań prozdrowotnych uczniów. ●

Wybierz datę: 2017-04-01, So  Zestawienie dobowe (średnie)- Stacje automatyczne

Pomiar	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	O ₃ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Stacja	Pył zawieszony PM10 S24h	Pył zawieszony PM 2.5 S24h	Ozon S24h S8max
Belsk-IGFPAN			87.6 116.9
Granica-KPN			67.5 106.9
Guty Duże			86.2 115.2
Konstancin-Jeziorna	46.7	30.9	60 105.7
Legionowo-Zegrzyńska		34.6	59.1 106.5
Otwock-Brzozowa		35.3	67.6 121.5
Piastów-Pułaskiego		28.2	67.4 102.2
Płock-Gimnazjum			67.2 95.6
Płock-Reja	41.3	26.5	76.4 104.5
Radom-Tochtermana	36.8	27.2	83 116.8
Siedlce-Konarskiego	39.9	33.1	
Warszawa-Komunikacyjna	88.3	38.3	
Warszawa-Marszałkowska	70.2	46.3	
Warszawa-Podleśna			62.6 104.8
Warszawa-Targówek	69.3	58.6	55.7 104.8
Warszawa-Ursynów	40.8	24.7	74 106.3

Grafika 14. Przykładowe dane ze stacji monitoringu
Źródło: Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska

Adam Zahler – od kilkunastu związany z Centrum Nauki Kopernik, aktywnie działa w obszarze popularyzacji nauki. Współtworzy zestawy edukacyjne i scenariusze zajęć do zajęć praktycznych dla nauczycieli biologii, chemii, fizyki i geografii. Przy realizacji projektów bazuje też na wiedzy uzyskanej podczas studiów MBA oraz jako ekspert oceniający w FP7 dla KE – 7th Framework Programme (Program Ramowy na lata 2007-2013) dla Komisji Europejskiej.

¹² Opis projektu na stronie fińskiej szkoły: EEA Loftgæðaverkefni – Menntaskólinn í Reykjavík

¹³ Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, <https://www.kobize.pl/pl/article/krajowa-inwentaryzacja-emisji/id/385/zanieczyszczenia-powietrza>