

PORADNIK

# JAKOŚĆ POWIETRZA W SZKOŁACH I PRZEDSZKOLACH 2022

WYMAGANIA DOTYCZĄCE  
WENTYLACJI OBIEKTÓW EDUKACYJNYCH  
ROZWIĄZANIA SPECJALNE



Spis treści

Wentylacja szkół – warunek konieczny dla rozwoju Polski ..... 4

Wentylacja placówek dydaktyczno-edukacyjnych. Przegląd wybranych polskich i zagranicznych wymagań dotyczących strumienia powietrza i stężenia CO<sub>2</sub> ..... 12

Nawilżanie powietrza w żłobkach i przedszkolach – rozwiązania od CAREL ..... 22

Wentylacja budynków edukacyjnych – problemy z jakością powietrza wewnętrznego ..... 32

Czyste powietrze, ponieważ Daikin dba o Twój komfort ..... 40

Dobra wentylacja w szkołach wcale nie jest droga.  
Rozmowa z prof. dr. inż. Pawłem Wargockim, Technical University of Denmark ..... 48

ZaFrapuj się... na jakość powietrza i efektywność energetyczną ..... 56

Powszechna wentylacja dla szkół i domów ..... 64

Wytyczne branżowe – zdrowy klimat w pomieszczeniach szkolnych ..... 68

Jakość powietrza w szkołach i biurach w świetle nowych wytycznych WHO ..... 74

Filtracja i oczyszczanie powietrza z pyłów zawieszonych i wirusów ..... 78

Wentylacja szkół – rekomendacje REHVA ..... 86

Katalog firm ..... 91

Redakcja

Adres redakcji  
ul. Karłowicza 18, 04-112 Warszawa  
tel. 22 512 60 75  
[www.rynekinstalacyjny.pl](http://www.rynekinstalacyjny.pl)



Redakcja: Agata Nowicka, [anowicka@rynekinstalacyjny.pl](mailto:anowicka@rynekinstalacyjny.pl)  
Reklama: Marta Dzierżawa, [mdzierzawa@medium.media.pl](mailto:mdzierzawa@medium.media.pl)

Wydawca: Grupa MEDIUM  
[www.medium.media.pl](http://www.medium.media.pl)

W publikacji wykorzystano materiały opublikowane wcześniej w miesięczniku „Rynek Instalacyjny” i portalu [rynekinstalacyjny.pl](http://rynekinstalacyjny.pl)

Partnerzy publikacji



**RI Rynek instalacyjny**  
**INSTALACJE:**

- grzewcze • wentylacyjne
- klimatyzacyjne • wodno-kanalizacyjne

**Rynekinstalacyjny.pl**  
Popularny portal branżowy (ponad 2 mln odsłon miesięcznie!), który daje dostęp do merytorycznych artykułów, najświeższych informacji oraz terminarza wydarzeń.

**01 NEWSLETTER:**  
Co tydzień paczka, w której dostarczymy: artykuły merytoryczne, aktualności z branży instalacyjnej, wywiady, nowości produktowe, informacje o szkoleniach, konferencjach i targach. Newslettery wysyłane są do ok. 16,5 tys. użytkowników, OR: 14-20%, CTR: 2%.

**02 E-BOOKI:**  
Bezpłatne poradniki dotyczące branży: instalacyjnej, grzewczej, wentylacyjnej i ppoż. Średnio 12 tys. pobrań w roku.

**03 E-WYDANIA:**  
Nasze czasopismo dostępne w wygodnej wersji elektronicznej w formie flipbook.

**04 FACEBOOK:**  
Prężnie działający profil – ponad 5 tys. obserwatorów! Codzienne aktualności, relacje z konferencji, konkursy i treści z przymrużeniem oka.

**05 PRZEGLĄDARKA PRODUKTÓW:**  
Przeglądaj, porównuj i zapoznaj się ze specyfikacją techniczną wybranych produktów dla branży grzewczej, wentylacyjnej i wodno-kanalizacyjnej.

2

3

## Wentylacja szkół – warunek konieczny dla rozwoju Polski

Inwestycja państwa w poprawę jakości powietrza w szkołach jest jedną z najbardziej opłacalnych, biorąc pod uwagę zarówno stopę zwrotu nakładów, jak i dalekosiężne skutki dla przyszłości naszego narodu – wykształcenie i zdrowie młodego pokolenia.



**N**a termomodernizację szkół wydano dotychczas prawdopodobnie już ponad miliard złotych. Proces inwestycyjny przebiegał zwykle według jednego schematu – audyt, potem przetarg na projekt i wykonawstwo, a następnie zasłona milczenia i brak jakiegokolwiek analizy czy refleksji dotyczącej osiągniętych oszczędności energetycznych. Uczestnicy może nawet nie byli zainteresowani jakością tego procesu przez cały czas jego trwania, także z tego powodu, że nikt tego od nich skutecznie nie wymagał. Nie łączono inwestycji termomodernizacyjnych z procesem zarządzania energią, kluczowym dla jej oszczędzania.

Nieprawidłowy bywa już sam początek tego procesu, czyli wybór audytora. Z reguły w 100% decyduje najniższa cena, a rekordziści, jak np. samorząd jednej z miejscowości na Pomorzu, posuwają się jeszcze dalej, dodając kolejne „ważne” kryterium – szybkość wykonania audytu. W efekcie

system oceny ofert odbywa się na zasadzie: szybko i byle jak. A przecież to jakość audytu decyduje i przesądza o jakości inwestycji. We wspomnianej miejscowości szkoły po termomodernizacji miały według audytu zapotrzebowanie na energię końcową w wysokości 180 kWh/m<sup>2</sup>/rok.

Po byle jakim audycie szuka się podobnego projektu i najtańszego wykonawcy. Ten zaś kupuje oczywiście najtańsze materiały, które, jak wynika z kontroli GUNB, miewają nawet sfałszowane deklaracje właściwości użytkowych [1], w szczególności kluczową dla termomodernizacji wartość współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  [W/(mK)]. W konsekwencji miliony zainwestowane w termomodernizację trafiają w błoto, bo jej rezultat jest często inny od oczekiwanego. Praktyka ta doprowadziła do prawdziwej katastrofy, jeśli chodzi o jakość powietrza w szkołach, ponieważ 99,9% przeprowadzonych termomodernizacji nie obejmowało wentylacji, pomimo że odpowiada ona za ponad połowę strat ciepła w budynkach szkolnych.

Należy podkreślić, że obecny rząd, jako pierwszy od zmiany ustroju w Polsce, słucha argumentów specjalistów alarmujących o problemie jakości powietrza w szkołach. Deklaracja z exposé premiera z 2019 r. o przystąpieniu do realizacji programu tysiąca zeroemisyjnych szkół jest pierwszym krokiem na długiej drodze do poprawy jakości powietrza w obiektach edukacyjnych [2, 13]. W listopadzie 2021 r. obchodziliśmy jednak drugą rocznicę złożenia tej deklaracji i wciąż czekamy na podjęcie stosownych działań, tym bardziej, że **w dobie pandemii poprawa jakości powietrza w szkołach jest kluczowa dla przywrócenia ciągłości nauki stacjonarnej**. W przekonaniu autora jakość powietrza w szkołach jest obecnie dla Polski jednym z najważniejszych wyzwań.

### Dlaczego wentylacja szkół jest tak ważna?

Powiedzenie, że „potrzebujemy czegoś jak powietrza” oznacza, że to coś jest niezbędne do życia. Nie wdając się w zawiłości fizjologii, zwróćmy uwagę na rolę tlenu, tego składnika powietrza, który jest niezbędny we wszystkich procesach energetycznych zachodzących w naszych organizmach. Upraszczając, jesteśmy napędzani paliwem w postaci węglowodanów, które w reakcji z tlenem dają nam energię. Złożony cykl tych reakcji chemicznych zwany jest cyklem Krebsa. W cyklu tym, tak jak w silniku spalinowym, paliwo to glukoza + tlen = energia + H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub>. Wiemy, że jeśli np. w samochodzie zatkamy rurę wydechową, straci on moc, podobnie stanie się, jeśli krew i znajdująca się w niej hemoglobina nie usunie CO<sub>2</sub> z komórek – źródło energii słabnie i zanika. Oddychając, produkujemy CO<sub>2</sub>, więc jeśli nie będziemy go usuwać z pomieszczeń, w których oddychamy, jego stężenie w powietrzu wzrośnie. Tym samym reakcja wymiany gazowej zachodząca w pęcherzykach płuc będzie mniej skuteczna i zwiększy się stężenie dwutlenku węgla we krwi, hemoglobina dostarczy mniej tlenu i usunie z komórek mniej CO<sub>2</sub>.

Wszyscy znamy uczucie przemożnej senności, a nawet otępienia ogarniające nas w niewentylowanych pomieszczeniach, szczególnie gdy przebywa w nich wiele osób. Spadek wydolności

intelektualnej to niejedyny problem – dłuższe przebywanie w atmosferze o zbyt wysokim stężeniu CO<sub>2</sub> prowadzi do zakwaszenia organizmu i szeregu poważnych schorzeń z tym związanych [3].

Jak pokazały liczne badania naukowe, gdy stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu przekracza 1000 ppm (cząsteczek na milion), spada nasza sprawność umysłowa, a przy 2500 ppm przechodzimy w stan „zombie” [4]. W przebadanych polskich szkołach stężenie dwutlenku węgla na poziomie 2500 ppm osiągnięte jest już po 15 minutach od przewietrzenia klasy podczas przerwy, aby pod koniec lekcji sięgnąć nawet 4000 ppm [5]. Warto wiedzieć, że inspekcja weterynaryjna interweniuje, gdy stężenie CO<sub>2</sub> w chlewniach przekracza 3000 ppm, a hodowcom świń zaleca się utrzymywanie tej wartości poniżej 2000 ppm. Przekroczenie tego poziomu prowadzi do zakwaszenia organizmów zwierząt i wiąże się ze stratami spowodowanymi niskim przyrostem wagi oraz chorobami, a nawet padnięciami [6]. Na szczęście dla świń, na straży ich dobrostanu stoi dbałość o efekty ekonomiczne hodowli. Wniosek nasuwa się jednoznaczny, choć brzmi dosadnie: polskie dzieci mają w szkołach powietrze gorszej jakości niż zwierzęta w chlewniach.

## Jak wentylowane są polskie szkoły?

Za zły stan powietrza w klasach odpowiada sposób wentylacji – w ponad 99% szkół jest to wentylacja grawitacyjna (naturalna). Zgodnie z polskimi przepisami w pomieszczeniach tych należy zapewnić dwie wymiany powietrza na godzinę i każda klasa powinna mieć kanały wentylacji grawitacyjnej oraz nawiewniki lub okna z nawiewnikami, co powinno zapewnić jedną wymianę powietrza w ciągu godziny. Drugą wymianę ma zapewnić otwarcie okien podczas przerwy. Takie zalecenie nie uwzględnia jednak liczby uczniów w klasie, a przy jej średnim zagęszczeniu na jednego ucznia przypadają tylko 2 m<sup>2</sup> powierzchni, czyli 6 m<sup>3</sup> powietrza do oddychania (minimalna wysokość pomieszczeń szkolnych to 3 m). Prowadzi to do opisanej powyżej sytuacji, czyli nadmiaru dwutlenku węgla i braku świeżego powietrza. Przeciętne stężenie CO<sub>2</sub> w klasie wynosi ok. 2500 ppm i dla podanego powyżej zagęszczenia uczniów przy zalecanych dwóch wymianach mamy strumień powietrza wentylacyjnego o wielkości 12 m<sup>3</sup>/h/ucznia, podczas gdy dla zaleconego przez WHO poziomu koncentracji CO<sub>2</sub> < 1000 ppm konieczne jest co najmniej 30 m<sup>3</sup>/h/ucznia.

## Koszty wentylacji i jej braku

Pomimo dramatycznie niedostatecznego poziomu wentylacji i tak generuje ona wysokie koszty. Ogrzanie powietrza wentylacyjnego w III strefie klimatycznej przy tradycyjnym sposobie wentylacji i cenie ciepła w wysokości 0,25 zł/kWh kosztuje rocznie 31,5 zł/m<sup>2</sup>. Co gorsza, taki sposób wentylacji szkół, prowadzący do wysokich rachunków za ogrzewanie i wysokiego stężenia CO<sub>2</sub> w klasach, generuje także inne koszty.

Jeśli ogromny wysiłek finansowy państwa i obywateli na rzecz sfinansowania edukacji w szkołach mierzyć nakładami na edukację, to spadek efektywności procesu dydaktycznego spowodowany wpływem na uczniów nadmiernego stężenia CO<sub>2</sub> w klasach będzie stratą równą nakładom pomnożonym przez procent tego spadku. Zakładając ostrożnie, że spadek ten, wyższy w sezonie grzewczym i niższy latem, wynosi średnio w ciągu roku szkolnego 20%, przy 4,5 mln uczniów i rocznym koszcie kształcenia przypadającym na jednego ucznia w wysokości 17 tys. zł [7] stratę z tytułu obniżenia sprawności intelektualnej uczniów i nauczycieli na skutek niedostatecznej wentylacji w szkołach można oszacować na 4,5 mln × 17 tys. zł/rok × 20% = 15,3 mld zł/rok. Albo inaczej: jeśli nauka w klasach ze złą wentylacją trwa 8 lat, to przy dobrej wentylacji ten sam wynik nauczania można by osiągnąć w okresie krótszym o 1,6 roku.

Kolejny aspekt: niedostateczna wentylacja klas wbrew pozorom nie chroni dzieci przed katastrofalną jakością powietrza zewnętrznego w sezonie grzewczym w Polsce. Mamy najgorsze powietrze w Europie, a poziom stężenia pyłów PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> wielokrotnie przekracza normy WHO. Szczególnie groźne jest ponad sześciokrotne średnioroczne przekroczenie normy dot. silnie kanцерогенного benzo(a)pirenu. Wentylowanie klas polegające na otwieraniu okien podczas przerw nie zapewnia właściwego stężenia CO<sub>2</sub>, co więcej, powoduje, że stężenie zanieczyszczeń powietrza w klasie jest większe niż na zewnątrz, ponieważ otwierając okna, wymieniamy powietrze na zewnętrzne, z pyłem. Po zamknięciu okien część pyłów osiada na powierzchniach i ubraniach, a także zatrzymywana jest w pęcherzykach płucnych uczniów. Przy kolejnym wietrzeniu częściowo oczyszczone z pyłów powietrze jest usuwane, a do klasy wprowadzana kolejna porcja smogu. Przy intensywniejszym ruchu uczniów osadzone na powierzchniach pyły unoszą się i – jak pokazują pomiary – zapylenie wewnętrzne może chwilowo nawet kilkukrotnie przewyższyć poziom zapylenia zewnętrznego. Z wielu względów dzieci są bardziej niż dorośli narażone na choroby wywołane przez składniki smogu [8]. Tym samym uczęszczanie do szkoły wentylowanej w tradycyjny sposób naraża je na choroby układu oddechowego, naczyniowego i nerwowego, astmę, zmiany w mózgu i liczne rodzaje raka.

Zwiększone zapylenie wpływa także na poziom inteligencji, a dzieci narażone na smog w klasie są w przyszłości szczególnie podatne na POChP, czyli przewlekłą obturacyjną chorobę płuc [9].

Straty spowodowane smogiem w klasach stanowią istotną część 111 mld zł rocznych strat ponoszonych przez Polskę na skutek zanieczyszczenia powietrza [10]. Sytuacja ta kładzie się cieniem na przyszłości naszego narodu, bo kolejne pokolenia będą wchodziły w życie obciążone bagażem przewlekłych chorób i braków w wykształceniu.

Jak widać zatem, trudno przeceniać pierwszą w historii III RP inicjatywę rządu zmierzającą do zmiany tej sytuacji. Patrząc na skalę strat finansowych i cierpienia będącego udziałem najmłodszych w wyniku chorób wywołanych wielogodzinnym przebywaniem w trującej atmosferze klas, warto

inaczej spojrzeć na obowiązek szkolny, który poza misją przygotowania do dorosłego życia niesie ryzyko kalectwa na całe życie, jeśli realizowany jest w obiektach o silnym zanieczyszczeniu powietrza.

Osobną kwestią jest skażenie mikrobiologiczne niedostatecznie wentylowanych klas. Wydychane przez chore dzieci powietrze, zawierające aerozol mikrobów i wirusów, nie jest szybko usuwane przez system wentylacyjny, ale trafia do płuc dzieci zdrowych, zarażając je. Mogłoby temu zapobiec częstsze wietrzenie, zalecane w wielu krajach [11], ale w licznych miejscowościach w Polsce ze względu na występowanie smogu nie jest to wskazane.

## Kierunek zmian

Pozostaje pytanie, czy istnieje jakieś rozwiązanie tego problemu kwadratury koła? Odpowiedź może być zaskakująca – tak, i to bardzo opłacalne, uwzględniając skalę strat, jakie ponosimy w wyniku wadliwego systemu wentylacji szkół. **Tym rozwiązaniem jest wprowadzenie w szkołach wentylacji mechanicznej z rekuperacją.** Nowoczesne centrale wentylacyjne dzięki bardzo cichej pracy mogą być instalowane w klasach, zapewniając kontrolę stężenia CO<sub>2</sub> na optymalnym poziomie < 1000 ppm. Dzięki wysokiej sprawności odzysku ciepła i nowoczesnym wentylatorom oszczędności energii w stosunku do obecnego systemu wentylacji mogą być wyższe niż 80%. Ponadto taki system wentylacji umożliwia efektywne usuwanie powietrza wydychanego poza strefę przebywania ludzi, co zapobiega wzajemnemu zarażaniu się uczniów.

Na polskim rynku funkcjonuje wiele firm oferujących centrale wentylacyjne dla szkół. Większość urządzeń spełnia wszystkie wymagania norm i z powodzeniem mogłyby być stosowane powszechnie. Nieliczne szkoły poddane zostały bowiem kompleksowej termomodernizacji, dzięki czemu jakość powietrza w ich klasach jest odpowiednia przy radykalnie niższych kosztach eksploatacyjnych [12]. Pojawiają się też niestety oferty central wentylacyjnych dla szkół, które nie spełniają żadnych wymagań, ale mają atrakcyjną cenę. Zachęceniu nią samorządowcy mogą w skali kraju utopić miliony w wadliwym sprzęcie, dlatego warto rozpowszechniać dobre praktyki wyboru sprzętu wentylacyjnego dla szkół. Jakimi zatem kryteriami powinny się kierować samorządy?

## Warunki techniczno-ekonomiczne i kryteria wyboru systemu wentylacyjnego dla szkół

Instalowane w szkołach rekuperatory powinny spełniać obowiązujące w UE wymagania dla urządzeń wentylacyjnych i być dopuszczone do sprzedaży na rynku europejskim. Ponadto ich wydajność powinna zapewniać zgodną z wytycznymi WHO jakość powietrza w klasach szkolnych, czyli stężenie CO<sub>2</sub> < 1000 ppm. Kolejne wymagania dla central to:

- zgodność z rozporządzeniem Komisji (EU) nr 1254/2014 regulującym wymagania dot. efektywności energetycznej systemów wentylacyjnych przeznaczonych do budynków mieszkalnych,

- klasa energetyczna: A+,
- filtry: klasy min. ePM<sub>1</sub> 75% wg ISO 16890,
- poziom hałasu: < 40 dB (wg PN-EN 13141-7),
- wydatek nominalny: min. 30 m<sup>3</sup>/ucznia.

Rynkowe kryteria wyboru oferty instalacji wentylacyjnej mogą zostać sprowadzone do dwóch parametrów, z których pierwszym jest **prosty czas zwrotu nakładów** (SPBT) na instalację wentylacji. Jego wartość wyliczamy ze wzoru:

$$SPBT = \frac{CAPEX}{\Delta EK - OPEX}$$

gdzie:

CAPEX – koszty inwestycyjne, na które składają się:

1. koszt centrali,
2. koszt osprzętu, czyli kanałów wentylacyjnych i ich izolacji oraz wewnętrznych i zewnętrznych czerpni i wyrzutni anemostatów itp.,
3. koszt systemu sterowania (BMS),
4. koszt instalacji całego systemu:

ΔEK – różnica pomiędzy kosztami ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego przed i po inwestycji;

OPEX – koszty eksploatacji, na które składają się:

1. roczny koszt energii elektrycznej zapewniający działanie:
  - wentylatorów,
  - systemu odmrażania wymiennika,
  - układu nawilżania powietrza (jeśli centrala wentylacyjna nie ma układu odzysku wilgoci z powietrza usuwanego, powinna być obligatoryjnie wyposażona w układ nawilżania powietrza. Brak takiego układu zagraża zdrowiu dzieci),
  - automatyki;
2. koszt filtrów i ich wymiany;
3. koszty czyszczenia kanałów wentylacyjnych;
4. koszty serwisu.

Drugim kryterium powinny być **warunki finansowania inwestycji**. Biorąc pod uwagę złożoność techniczną instalacji i trudne do wyceny ryzyko eksploatacyjne, najkorzystniejszą formą realizacji inwestycji jest formuła, w której koszty wdrożenia energooszczędnych przedsięwzięć ponosi firma ESCO (Energy Service Company), a następnie, w trakcie trwania kontraktu, uczestniczy ona w podziale korzyści z tytułu inwestycji lub modernizacji. W tej formule kryterium wyboru stanowi podział korzyści pomiędzy firmą ESCO i jednostką samorządu terytorialnego będącą właścicielem szkoły.

Pomimo że modernizacja wentylacji polegająca na zastąpieniu wentylacji grawitacyjnej wentylacją mechaniczną z rekuperacją to duża inwestycja, rzędu 350–400 zł/m<sup>2</sup> klasy, już tylko z tytułu oszczędności energii powinna się ona zwrócić w okresie krótszym niż 15 lat. Przy obecnych stopach procentowych jest to bardzo opłacalne przedsięwzięcie. Jeśli dodatkowo uwzględnimy wspomniane powyżej straty społeczne i gospodarcze, to inwestycja państwa polskiego w poprawę jakości powietrza w szkołach będzie jedną z najbardziej opłacalnych, biorąc pod uwagę zarówno stopę zwrotu nakładów, jak i dalekosiężne skutki dla przyszłości naszego narodu. Nie ma bowiem lepszej inwestycji niż ta w wykształcenie i zdrowie młodego pokolenia, a coś dopiero, jeśli dodatkowo wiąże się ona z redukcją emisji CO<sub>2</sub>.

Ludomir Duda

## Literatura

1. <https://www.muratorplus.pl/biznes/wiesci-z-rynku/jakosc-wyrobow-budowlanych-prawda-czy-falsz-aa-hNqd-WJMS-cBfe.html>
2. <https://300gospodarka.pl/live/9-najwazniejszych-deklaracji-gospodarczych-w-expose-premiera-morawieckiego> (dostęp: 12.01.2021).
3. <https://diagnozujmy.pl/dwutlenek-węgla/> (dostęp: 12.01.2021).
4. <http://kosmos.icm.edu.pl/PDF/2016/631.pdf> (dostęp: 12.01.2021).
5. <https://www.pap.pl/aktualnosci/news%2C1431184%2Cbadania-stezenie-co2-w-szkolach-jest-zbyt-wysokie.html> (dostęp: 12.01.2021).
6. <https://www.nanosens.pl/2017/04/13/gazy-w-objektach-inwentarskich> (dostęp: 12.01.2021).
7. <https://forsal.pl/artykuly/646814,raport-oecd-ile-kosztuje-wykształcenie-obywatela-polski.html> (dostęp: 12.01.2021).
8. Niepublikowane badania własne w Zespole Szkół nr 33 w Warszawie.
9. <https://parenting.pl/smog-jest-przyczyna-wielu-groźnych-chorob-u-dzieci> (dostęp: 12.01.2021).
10. <https://businessinsider.com.pl/gospodarka/fundusze/polska-placi-za-smog-111-mld-zi-rocznie-raport-deloitte/8wpwsvn?msclid=37d9c862c62611ecbbfa35051e831dee>
11. <https://www.dw.com/pl/niemieckie-szko%C5%82y-i-covid-19-wietrze-to-podstawa/a-55326818> (dostęp: 12.01.2021).
12. [http://eko.org.pl/index\\_news.php?dzial=2&kat=20&art=2233](http://eko.org.pl/index_news.php?dzial=2&kat=20&art=2233) (dostęp: 12.01.2021).
13. <https://www.gov.pl/web/premier/stenogram-expos-mateusza-morawieckiego-2019> (dostęp: 12.01.2021).

## SYSTEM WENTYLACJI MECHANICZNEJ DLA SZKÓŁ

**rosenberg**  
THE AIR MOVEMENT GROUP



**SupraBox**  
DELUXE

NISKI POZIOM HAŁASU DO 35 DB (A)

**Energooszczędny system do bezpośredniej instalacji w pomieszczeniu.**

USUWA PYŁ I KURZ

UTRZYMUJE STĘŻENIE CO<sub>2</sub> NA OPTYMALNYM POZIOMIE

RÓWNOMIERNIE ROZPROWADZA POWIETRZE BEZ PRZECIĄGÓW

JONIZUJE POWIETRZE (OPCJA)

SPRAWNOŚĆ ODZYSKU CIEPŁA DO 90%

ŁATWOŚĆ ADAPTACJI DO UKŁADU POMIESZCZENIA

ŁATWA INSTALACJA URZĄDZENIA

WSPOMAGA WALKĘ Z SARS-COV2



**WYSOKA JAKOŚĆ POWIETRZA ZWIĘKSZA GOTOWOŚĆ DO NAUKI I KONCENTRACJĘ**

Centrale SupraBox Deluxe zapewniają świeże powietrze w pomieszczeniach edukacyjnych, bez przeciągów i w pełni automatycznie. Wynikowa redukcja strat ciepła skutkuje zmniejszeniem kosztów ogrzewania pomieszczeń klasowych. **Modernizacja instalacji wentylacyjnej może zostać dofinansowana z programów państwowych.**

**ROZKŁAD STĘŻENIA CO<sub>2</sub> W SALACH LEKCYJNYCH**



Ocena warunków higienicznych pod kątem stężenia CO<sub>2</sub>  
[ wg VDI 6040; Pomieszczenia klasowe - wymagania ]

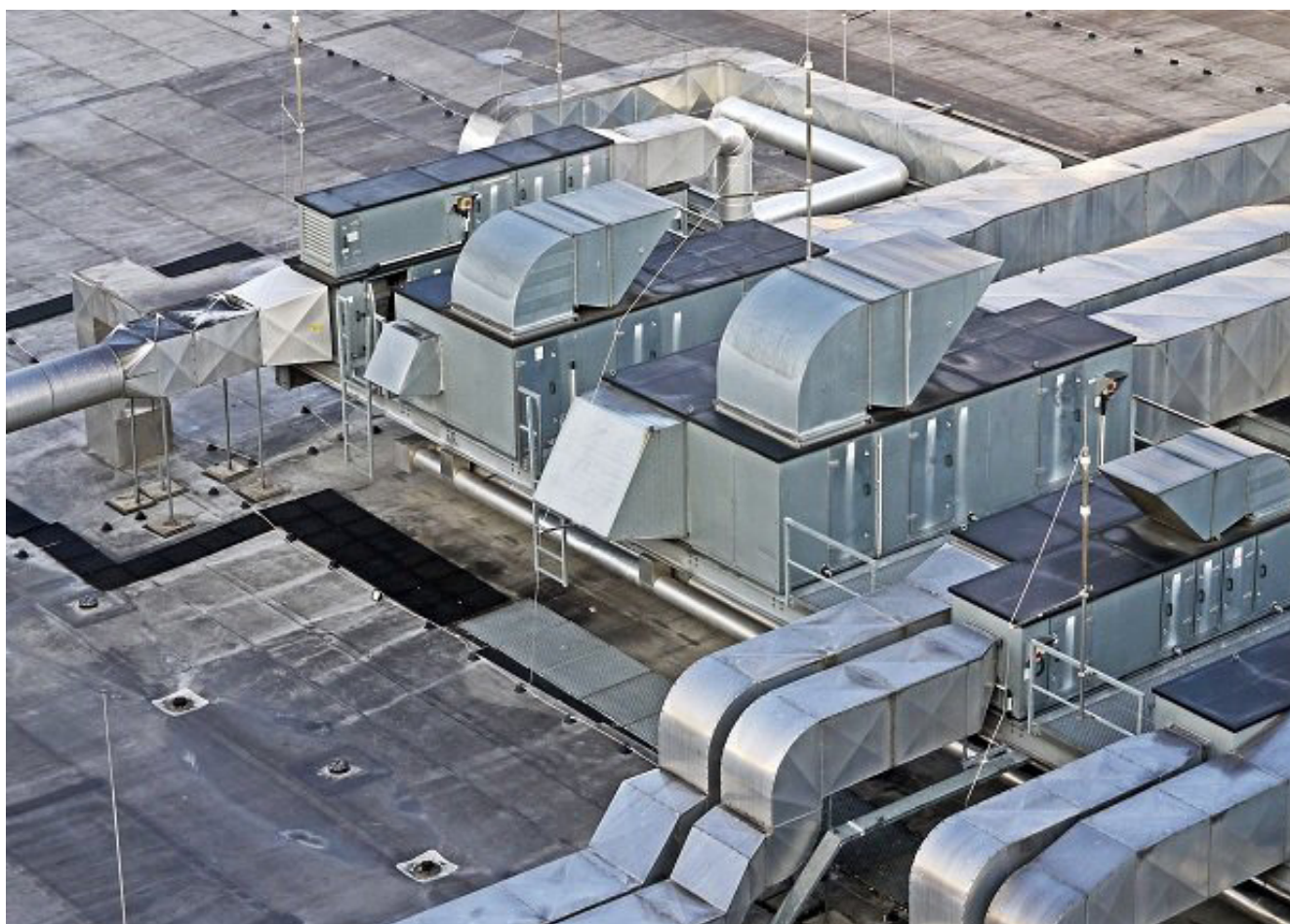
| Warunki higieniczne           | Stężenie CO <sub>2</sub> [ppm] |
|-------------------------------|--------------------------------|
| bezpieczne, zalecane          | < 1.000                        |
| średnie, podwyższonego ryzyka | 1.000 - 2.000                  |
| niebezpieczne                 | > 2.000                        |



## Wentylacja placówek dydaktyczno-edukacyjnych

### Przegląd wybranych polskich i zagranicznych wymagań dotyczących strumienia powietrza i stężenia CO<sub>2</sub>

Utrzymanie odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniach szkolnych i przedszkolnych uznaje się za czynnik wpływający na poprawę wyników nauczania uczniów. W trakcie projektowania instalacji wentylacyjnej istotne jest przestrzeganie wymagań określonych w normach i przepisach, ale również zwrócenie uwagi na dobre praktyki, w tym przyjęte w innych krajach.



Celem stosowania instalacji wentylacji i ogrzewania pomieszczeń jest zapewnienie wysokiej jakości środowiska wewnętrznego, a więc odpowiedniej temperatury, wilgotności względnej, prędkości oraz czystości powietrza w pomieszczeniu. Najczęściej odbywa się to za pomocą dwóch osobnych systemów, z których istotne znaczenie ma wentylacja, szczególnie w przypadku placówek

dydaktyczno-edukacyjnych. Nieodpowiednia ilość świeżego powietrza może powodować uczucie duszności i bóle głowy, a w konsekwencji obniżać koncentrację i efektywność przyswajania wiedzy. Utrzymanie odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniach szkolnych i przedszkolnych uznaje się za czynnik wpływający na poprawę wyników nauczania uczniów. W literaturze znaleźć można wiele badań, których wyniki tego dowodzą. Przegląd tych badań można znaleźć w artykule [1].

W trakcie projektowania instalacji wentylacyjnej istotne jest przestrzeganie wymagań określonych w normach i rozporządzeniach, ale również zwrócenie uwagi na dobre praktyki, w tym stosowane w innych krajach. W artykule przedstawiono wybrane wymagania przepisów polskich i zagranicznych dotyczące strumienia powietrza i stężenia dwutlenku węgla.

### Wymagania dotyczące strumienia powietrza wentylacyjnego

#### Wymagania polskie

Według normy PN-B-03430 [2] w pomieszczeniach budynków użyteczności publicznej przeznaczonych do stałego i czasowego pobytu ludzi wymagany strumień objętości powietrza zewnętrznego powinien wynosić co najmniej  $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ . Natomiast w przypadku pomieszczeń w przedszkolach oraz żłobkach, w których przebywają dzieci, norma dopuszcza obniżenie strumienia objętości powietrza do  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  dla każdego dziecka. Należy zwrócić uwagę, że w pomieszczeniach tych przebywają także osoby dorosłe sprawujące opiekę nad dziećmi, dla których strumień należy obliczać jako  $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ . Norma [2] zastrzega również konieczność obliczeń strumienia powietrza wentylacyjnego dla pomieszczeń, w których występują źródła zanieczyszczeń powietrza inne niż od ludzi, na podstawie odrębnych wymagań.

Dodatkowo warunki techniczne [3] w oparciu o normę [2] podają, że strumień powietrza wentylacyjnego, jaki musi być doprowadzany do budynków, w tym żłobków, jako kompensacja wentylacji grawitacyjnej może się odbywać w wielkości jedynie do dwóch wymian na godzinę. W budynkach przedszkolnych i szkolnych zwiększono tę wartość do trzech wymian na godzinę. W przypadku gdy obliczeniowy strumień wentylacyjny jest większy, w budynku należy stosować wentylację mechaniczną. Natomiast rozporządzenie w sprawie wymagań lokalowych i sanitarnych, jakie musi spełniać lokal, w którym ma być prowadzony żłobek [4], narzuca obowiązek wietrzenia pomieszczeń przeznaczonych na pobyt dzieci przynajmniej cztery razy w ciągu doby przez czas nie krótszy niż 10 minut (w przypadku braku wyżej wymienionych instalacji).

Strumień powietrza wentylacyjnego ustala się również w zależności m.in. od umeblowania pomieszczenia, emisji zanieczyszczeń, liczby osób w budynku czy jakości powietrza, co zostało omówione w „Rynku Instalacyjnym” 5/2016 [5], na podstawie norm PN-EN 13779 [6] i PN-EN 15251 [7]. Normy te nie są obowiązujące, ponieważ nie zostały powołane w żadnym akcie prawnym, ale przedstawiają zalecenia, którymi można się kierować.

Według normy PN-EN 15251 [7] jeżeli zanieczyszczenie pomieszczenia jest wysokie (kategoria I) i wynika jedynie z obecności ludzi, to wymagany strumień powietrza wynosi  $36 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $10 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ , w przypadku średniego zanieczyszczenia (kategoria II) –  $25,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $7 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ , a gdy poziom zanieczyszczenia jest niski (kategoria III) –  $14,4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ , tj.  $4 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ . W razie uwzględniania wyposażenia pomieszczenia należy dodatkowo wziąć pod uwagę strumienie odpowiednio dla kategorii I:  $1,8\text{--}7,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ , tj.  $0,5\text{--}2 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ , kategorii II:  $1,26\text{--}5,04 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ , tj.  $0,35\text{--}1,4 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ , oraz kategorii III:  $1,08\text{--}2,88 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ , tj.  $0,3\text{--}0,8 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ . Podane zakresy dotyczą odpowiednio pomieszczeń z materiałami o wysokim i bardzo niskim zanieczyszczeniu.

## Wymagania zagraniczne

Jednym z zagranicznych przepisów określających minimalną ilość powietrza zewnętrznego jest norma niemiecka DIN 1946 cz. 2 omówiona w [8], w której dla szkół określono wymaganą minimalną ilość powietrza zewnętrznego wynoszącą  $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$  lub 4–5 wymian powietrza w ciągu godziny, z uwzględnieniem jedynie ludzi lub wyposażenia pomieszczenia. Natomiast w artykule [9] autor powołuje się na raport CEN, zgodnie z którymi w przypadku budynków niemieszkalnych całkowity strumień powietrza wentylacyjnego dostarczanego do pomieszczenia określa się jako sumę minimalnego strumienia powietrza ustalanego ze względu na liczbę osób w pomieszczeniu, a także ze względu na obciążenie zanieczyszczeniami od pomieszczenia. W CEN 1752, opisanym w [10], określono wymagane strumienie powietrza w zależności od obciążenia zanieczyszczeniem w trzech kategoriach. Wytyczne przedstawione w raporcie zostały uwzględnione w normie PN-EN 12521:2012 [7].

Z kolei wytyczne stosowane w Anglii i Walii [11] zalecają stosowanie wentylacji mechanicznej, która powinna zapewniać zewnętrzne zasilanie powietrzem wszystkich pomieszczeń edukacyjnych przy minimalnej ilości  $18 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ , przez cały czas, a także zdolność osiągnięcia minimum  $28,8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $8 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ , w każdej chwili. Przepisy te dopuszczają również stosowanie wentylacji naturalnej, ale przy założeniu, że spełnione zostaną wymagania w zakresie doprowadzania strumienia powietrza zewnętrznego do każdej klasy w ilości:

- minimum  $10,8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $3 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ ,
- średniej wartości dziennej  $18 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ ,
- możliwego doprowadzenia maksymalnego strumienia powietrza  $28,8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $8 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$  w dowolnym momencie.

W amerykańskich wytycznych ASHRAE 61.1 [12] znaleźć można szczegółowe dane dotyczące wymaganego strumienia powietrza zewnętrznego. Projektowany strumień jest sumą strumienia przypadającego na jedną osobę przebywającą w pomieszczeniu i związanego z aktywnością ludzi oraz strumienia związanego z materiałami budowlanymi i wyposażeniem pomieszczenia, obliczanego

w zależności od jego powierzchni. Wytyczne przedstawiono dla dużej liczby różnych pomieszczeń, spośród których wybrano:

- pomieszczenia żłobkowe (dla dzieci do 4 lat) –  $18 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ , oraz  $3,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ , tj.  $0,9 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ,
- klasy (dla dzieci w wieku 5–8 lat) –  $18 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ , oraz  $3,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ , tj.  $0,9 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ,
- klasy (dla dzieci w wieku od 9 lat) –  $18 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ , oraz  $2,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ , tj.  $0,6 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ,
- sale wykładowe –  $13,4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $(3,7 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os}) \text{ oraz } 1,1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2))$ , tj.  $0,3 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ .

W Danii natomiast przepisy (BR10) [13] mówią, że wszystkie budynki muszą być wentylowane poprzez stosowanie wentylacji mechanicznej, naturalnej lub hybrydowej, natomiast budynki niemieszkalne muszą być wyposażone w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła. W budynkach dydaktycznych strumień powietrza świeżego musi wynosić dla każdego dziecka  $10,8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $3 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ , a dla osoby dorosłej  $18 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , tj.  $5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{os})$ . Dodatkowo należy uwzględnić strumień wynikający z powierzchni pomieszczenia i wynoszący minimum  $1,26 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ , tj.  $0,35 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ .

We Francji zgodnie z Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDTYP) wymagany strumień powietrza powinien wynosić w przypadku przedszkoli i szkół podstawowych  $15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , natomiast dla liceów  $18 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$  [22]. W artykule [22] wspomniano również o przepisach portugalskich, gdzie zgodnie z RSECE Dec-Lei 79/2006 strumień powietrza powinien wynosić  $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ , oraz Finlandii (Finnish Building Code, Part D2, Indoor Climate and Ventilation, Requirements and Guidelines 2003), gdzie strumień ten powinien wynosić  $21,6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ .

Z kolei w [14] zwrócono uwagę na sytuację w Hongkongu, gdzie zła jakość powietrza zewnętrznego oraz hałas skłaniają szkoły do przekształcania naturalnie wentylowanych sal lekcyjnych w sale klimatyzowane.

Porównanie wymagań w zakresie strumienia powietrza w Polsce i innych krajach przedstawiono w tabeli 1.

## Wymagania w zakresie kontroli stężenia dwutlenku węgla

Według wyników badań dotyczących wpływu dwutlenku węgla  $\text{CO}_2$  na dzieci i uczniów [1], w których autorzy udowodnili, że podwyższone stężenie wpływa negatywnie na przyswajanie wiedzy, przy projektowaniu wentylacji szczególną uwagę należy zwrócić na kontrolowanie tego stężenia. Badaniom poddawane były różne grupy studentów i uczniów. Analizowano wyniki uzyskiwane w testach (matematycznych, czytanie ze zrozumieniem itp.) przy kontrolowanym stężeniu dwutlenku węgla w zakresie 600–5000 ppm (w zależności od badania). Wszyscy badacze są zgodni, że przy stężeniach powyżej 2000–3000 ppm wyniki uzyskiwane przez uczniów są znacząco gorsze w porównaniu do wyników uzyskanych przy stężeniach w pomieszczeniu poniżej tych wartości.

Tabela 1. Porównanie wymaganych strumieni powietrza zewnętrznego w Polsce i za granicą

| Kraj           | Wymagany typ wentylacji                                                | Wymagany strumień powietrza                                                                                                               |                                        | Źródło danych |
|----------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------|
| Polska         | Naturalna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego                 | dla osoby dorosłej                                                                                                                        | 20 m³/(h · os)                         | [2]           |
|                |                                                                        | dla dziecka                                                                                                                               | 15 m³/(h · os)                         |               |
|                |                                                                        | przy maksymalnym strumieniu powietrza do 3 wymian na godzinę dla budynku szkoły i przedszkola lub 2 wymiany na godzinę dla budynku żłobka |                                        |               |
|                | Mechaniczna                                                            | dla osoby dorosłej                                                                                                                        | 20 m³/(h · os)                         |               |
|                |                                                                        | dla dziecka                                                                                                                               | 15 m³/(h · os)                         |               |
| Niemcy         | Naturalna lub mechaniczna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego | dla każdej osoby                                                                                                                          | 30 m³/(h · os)                         | [8]           |
| Anglia i Walia | Mechaniczna                                                            | minimalny strumień przez cały czas                                                                                                        | 18 m³/(h · os)                         | [11]          |
|                |                                                                        | zdolność osiągnięcia strumienia maksymalnego o wartości minimum w każdej chwili                                                           | 28,8 m³/(h · os)                       |               |
|                | Naturalna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego                 | minimalny strumień powietrza zewnętrznego                                                                                                 | 10,8 m³/(h · os)                       |               |
|                |                                                                        | średnia wartość strumienia przez cały czas                                                                                                | 18 m³/(h · os)                         |               |
|                |                                                                        | zdolność osiągnięcia strumienia maksymalnego o wartości minimum w każdej chwili                                                           | 28,8 m³/(h · os)                       |               |
| USA            | Naturalna lub mechaniczna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego | dla dzieci w wieku do 9 lat                                                                                                               | 18 m³/(h · os)<br>oraz 3,2 m³/(h · m²) | [12]          |
| Dania          | Mechaniczna                                                            | dla dziecka                                                                                                                               | 10,8 m³/(h · os)                       | [13]          |
|                |                                                                        | dla dorosłego                                                                                                                             | 18 m³/(h · os)                         |               |
|                |                                                                        | oraz dodatkowo ze względu na pomieszczenie                                                                                                | 1,26 m³/(h · m²)                       |               |
| Portugalia     | Naturalna lub mechaniczna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego | dla każdej osoby                                                                                                                          | 30 m³/(h · os)                         | [22]          |
| Francja        | Naturalna lub mechaniczna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego | dla dziecka w wieku przedszkolnym lub szkolnym                                                                                            | 15 m³/(h · os)                         | [22]          |
|                |                                                                        | dla osób w wieku licealnym                                                                                                                | 18 m³/(h · os)                         |               |
| Finlandia      | Naturalna lub mechaniczna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego | dla każdej osoby                                                                                                                          | 21,6 m³/(h · os)                       | [22]          |

Autorzy [1] na podstawie własnego przeglądu wyszczególnili skutki, jakie niesie za sobą określone stężenie dwutlenku węgla:

- 1000 ppm – minimum higieniczne,
- 5000 ppm – poczucie zmęczenia, dyskomfort,
- 15 000 ppm – zaburzenia oddychania,
- 30 000 ppm – zawroty, bóle głowy,
- 50 000 ppm – utrudnione oddychanie, zaburzenia widzenia,

- 100 000 ppm – utrata przytomności.

Biorąc pod uwagę badania dotyczące wyników w nauce w korelacji ze stężeniem dwutlenku węgla oraz znając skutki podwyższonego stężenia CO<sub>2</sub>, wydaje się, że parametr ten jest bardzo istotny dla budynków dydaktycznych i edukacyjnych, a nie zawsze jest on normowany.

Wymagania polskie

Zgodnie z polskim ustawodawstwem zanieczyszczeniem powietrza w kontekście oddziaływania na zdrowie człowieka określa się substancje, których stężenie przekracza dopuszczalne wartości. Jednym z głównych zanieczyszczeń w obiektach edukacyjno-dydaktycznych jest dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>). W polskim prawie, jak wskazano w [15], dopuszczalne progi stężeń CO<sub>2</sub> określone są jedynie w rozporządzeniu w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [16] odnośnie do najwyższych dopuszczalnych stężeń w środowisku pracy, które podaje NDS = 27 000 mg/m<sup>3</sup> (4650 ppm). Jest to wartość wynikająca z oceny potencjalnego szkodliwego oddziaływania CO<sub>2</sub> na zdrowie osób przebywających w takich warunkach. Biorąc pod uwagę, że przy takim stężeniu ludzie odczuwają zmęczenie, a uczniowie mają pogorszoną percepcję przekazywanych informacji oraz osiągają gorsze wyniki w nauce, jest to zdecydowanie zbyt wysoka wartość i nie należy jej traktować jako wymaganej. W rozporządzeniu [16] podano również, że wartość chwilowa może wynosić nawet trzy razy więcej.

W Polsce nie ma obowiązujących przepisów dotyczących jakości powietrza w zakresie utrzymywania stężenia dwutlenku węgla na niskim poziomie. Dwutlenek węgla może być traktowany jako wskaźnik jakości powietrza. Jego podwyższone stężenie może być skorelowane z odczuciami zapachowymi przy wchodzeniu do pomieszczenia, a wynika z biozanieczyszczeń związanych z metabolizmem. Teoretycznie odpowiednie stężenie CO<sub>2</sub> ma zapewnić zaprojektowanie właściwego strumienia powietrza zewnętrznego dostarczanego do pomieszczenia. Jednak istnieją badania, których wyniki pokazują, że szczególnie w przypadku wentylacji naturalnej stężenie CO<sub>2</sub> jest przekraczane [17, 18, 19, 20].

W zakresie polskich wymagań można się powoływać na dobre praktyki zalecane w normie PN-EN 13779 [7]. Określa ona, że do projektowania strumienia powietrza w odniesieniu do planowanego poziomu jego jakości można wykorzystać wartości podane w tabeli 2.

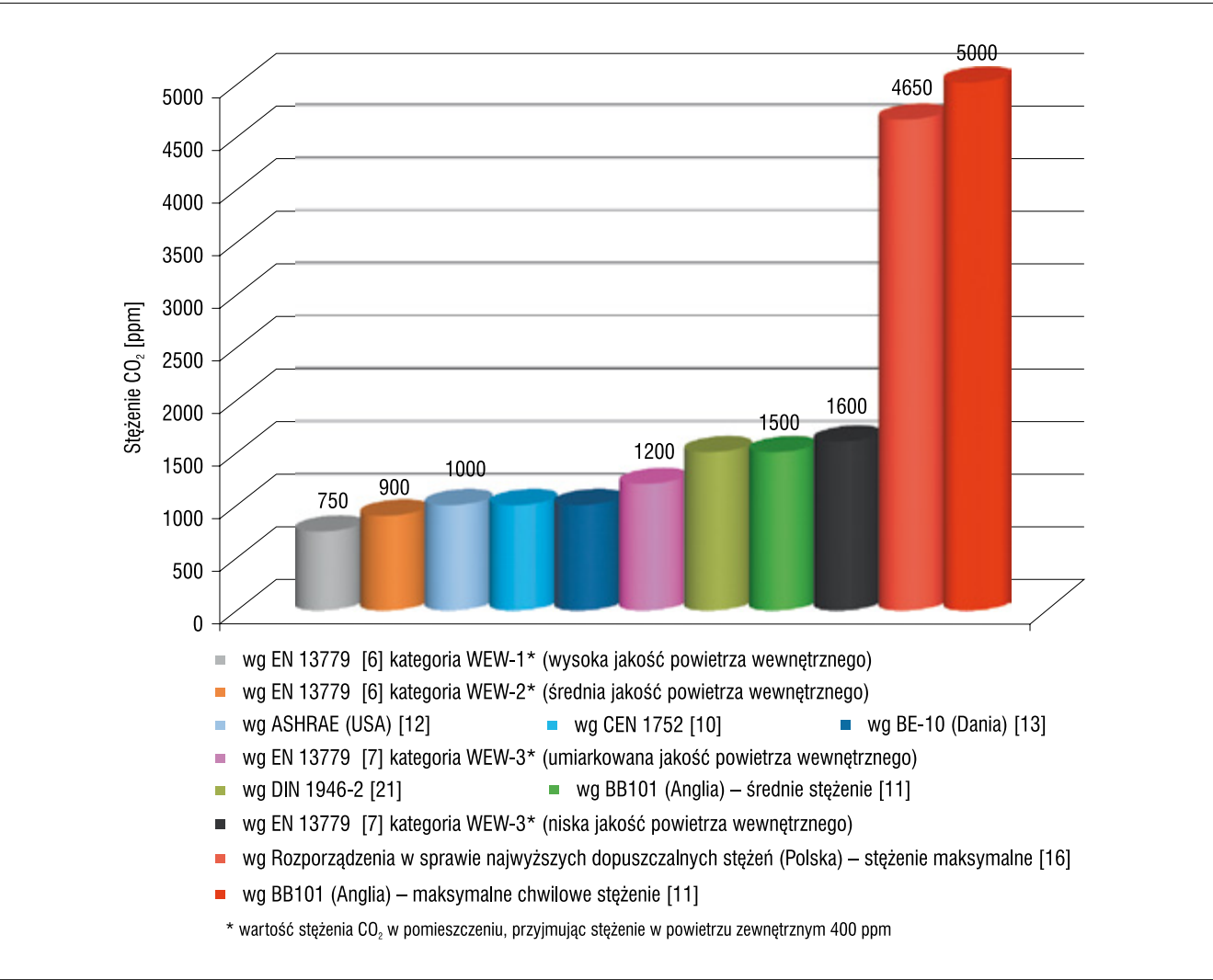
Tabela 2. Zalecane stężenie CO<sub>2</sub> w pomieszczeniach niemieszkalnych

| Kategoria jakości powietrza | Średni przyrost stężenia CO <sub>2</sub> powyżej stężenia w powietrzu zewnętrznym [ppm] [7] | Wartość stężenia CO <sub>2</sub> w pomieszczeniu, przyjmując stężenie w powietrzu zewnętrznym 400 ppm [ppm] |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wysoka – WEW 1              | 350                                                                                         | 750                                                                                                         |
| Średnia – WEW 2             | 500                                                                                         | 900                                                                                                         |
| Umiarkowana – WEW 3         | 800                                                                                         | 1200                                                                                                        |
| Niska – WEW 4               | 1200                                                                                        | 1600                                                                                                        |

Wymagania zagraniczne

Pierwsze wytyczne w zakresie jakości powietrza związane z dwutlenkiem węgla pojawiły się już pod koniec XIX wieku. Stężenie, które do teraz uznaje się za odpowiadające właściwej jakości powietrza, wynosi 1000 ppm. Racjonalny poziom stężenia CO<sub>2</sub>, który jest zgodny z badaniami naukowymi, wskazuje raport CEN 1752 [10] – powinien być on utrzymywany na poziomie 1000 ppm. Również amerykańskie wytyczne ASHRAE [12] oraz duńskie BR10 [13] jako wartość określającą właściwe stężenie dwutlenku węgla podają 1000 ppm. Natomiast norma niemiecka DIN 1946-2 [21] określa jako wartość graniczną 1500 ppm, co obecnie uznawane jest za wartość maksymalną przy ocenie oddziaływania CO<sub>2</sub> na samopoczucie osób przebywających w pomieszczeniu.

W Wielkiej Brytanii od roku 2006 do chwili obecnej realizowany jest program odbudowy i odnowy szkół średnich. W celu jego wsparcia opracowano wytyczne projektowe – Building Bulletin 101 „Ventilation” i „School Buildings’ (BB101) [11] – według których stężenie CO<sub>2</sub> jest głównym wskaźnikiem wydajności dla oceny jakości powietrza w pomieszczeniach lekcyjnych i wentylacji w szkołach.



Rys. 1. Dopuszczalne progi stężeń CO<sub>2</sub> Rys. oprac. własne

Zalecany przez wytyczne standard wydajności instalacji wentylacyjnej określany jest w odniesieniu do stężenia dwutlenku węgla następująco:

- średnie stężenie CO<sub>2</sub> nie powinno przekraczać 1500 ppm w czasie przebywania w pomieszczeniu osób,
- maksymalne stężenie CO<sub>2</sub> nie powinno przekraczać 5000 ppm w trakcie dnia lekcyjnego,
- w czasie przebywania w pomieszczeniach użytkownicy powinni mieć możliwość zmniejszenia stężenia CO<sub>2</sub> do 1000 ppm (np. przez otwieranie okien).

Omówione wartości stężeń progowych dla Polski i innych krajów przedstawia **rys. 1**. Pokazuje on, że wymagania w zakresie utrzymywania stężenia dwutlenku węgla różnią się znacząco. Analizując wyniki, należy zaznaczyć, że wysokie wartości podawane w polskim prawie (4650 ppm) nie są wartościami zalecanymi, ale jedynie maksymalnymi, których nie można przekraczać w warunkach pracy. W żadnym przypadku stężenie to nie może być wyższe niż 5000 ppm. Wyższa wartość stężenia powoduje poczucie zmęczenia oraz dyskomfort, co jest szczególnie istotnym czynnikiem wpływającym na jakość przyswajania wiedzy. Zarówno raport CEN, jak i standardy amerykańskie oraz duńskie dopuszczają wartość wynikającą z minimum higienicznego – 1000 ppm.

Podsumowanie

W przypadku placówek edukacyjnych omówione w artykule kraje, poza Danią, dopuszczają stosowanie zarówno wentylacji mechanicznej, jak i naturalnej. W Polsce ograniczeniem dla stosowania wentylacji grawitacyjnej jest wielkość obliczeniowego strumienia powietrza: do trzech wymian na godzinę dla szkół i przedszkoli oraz do dwóch wymian na godzinę dla żłobków. Przy większym obliczeniowym strumieniu powietrza konieczne jest stosowanie wentylacji mechanicznej. Natomiast wszystkie przepisy podają, że konieczne jest spełnienie przez te systemy wymagań stawianych w normach i przepisach.

Porównując wymagania polskie z obowiązującymi w Niemczech, Anglii i Walii oraz Ameryce, można zauważyć, że w państwach tych wymagane strumienie minimalne są wyższe. Różnica ta nie jest duża, wynosi 3 m<sup>3</sup>/(h · os). Dania jako jedyna spośród przedstawionych państw wprowadza konieczność stosowania wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Umożliwia to skuteczną kontrolę strumieni i choć wymagania minimalne dla każdego dziecka są stosunkowo niskie w porównaniu z pozostałymi państwami (10,8 m<sup>3</sup>/(h · os)), to zastosowanie tego systemu pozwala na dostosowanie strumienia do aktualnie panujących warunków w pomieszczeniu i zapewnia, że taki strumień powietrza na pewno zostanie dostarczony do pomieszczenia, czego nie można stwierdzić w przypadku wentylacji naturalnej.

Projektowany strumień powietrza zewnętrznego ma istotny wpływ na wartość stężenia CO<sub>2</sub> w pomieszczeniach. Powołane w artykule badania pokazują, jak istotny jest wpływ wysokiego stężenia

dwutlenku węgla na efektywność edukacji. Jeśli ponownie porównamy wymagania krajowe z zagranicznymi, Polska nie wypada korzystnie z uwagi na brak odpowiednich przepisów. Rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń [16] podaje wartość maksymalną 4650 ppm, znacznie wyższą od wartości przedstawianych w literaturze obcojęzycznej. Można odnieść się do normy PN-EN 13779 [7], ale podstawowym przepisem w tym zakresie jest norma wentylacyjna PN-B-03430 [2], która nie definiuje maksymalnego stężenia dwutlenku węgla. Aby zapewnić komfort nauki, należy przestrzegać zalecanego progu stężeń 1000 ppm wynikającego z minimum higienicznego, dla którego zgodnie ze wspomnianą normą [7] jakość powietrza określana jest jako umiarkowana. Istotny wpływ CO<sub>2</sub> na jakość powietrza wewnętrznego dostrzeżono głównie w Wielkiej Brytanii, gdzie uznając to zanieczyszczenie za główny wskaźnik oceny jakości powietrza, opracowano wytyczne projektowe dotyczące wentylacji.

Przy zastosowaniu się do przepisów w zakresie doprowadzania odpowiedniego, wymaganego przepisami strumienia powietrza świeżego, stężenie dwutlenku węgla będzie spełniało wymagania dotyczące nieprzekraczania 1000 ppm, ale dopuszczenie stosowania wentylacji grawitacyjnej nie stety tego nie gwarantuje.

inż. Anna Ludwiczak, dr inż. Katarzyna Ratajczak

## Literatura

1. Murkowski A., Skórska E., *Czy zwiększona zawartość dwutlenku węgla w powietrzu ma wpływ na sprawność intelektualną człowieka?*, „Kosmos – Problemy Nauk Biologicznych” nr 4 (313)/2016, Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika.
2. PN-B-03430:1983/Az3:2000 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania*.
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 75/2002, poz. 690, z późn. zm.).
4. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 10 lipca 2014 r. w sprawie wymagań lokalowych i sanitarnych, jakie musi spełniać lokal, w którym ma być prowadzony żłobek lub klub dziecięcy (DzU 2014, poz. 925, z późn. zm.).
5. Basińska M., Michałekiewicz M., Górzeński R., *Jakość powietrza. Przepisy i wymagania dotyczące komfortu termicznego, minimalnego strumienia powietrza, stężenia ditlenku węgla i pyłów*, „Rynek Instalacyjny” nr 5/2016, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/instalacje-wentylacyjne-klimatyzacyjne/24647,jakosc-powietrza-przepisy-i-wymagania-dotyczace-komfortu-termicznego-minimalnego-strumienia-powietrza-stezenia-ditlenku-wegla-i-pylow>
6. PN-EN 13779:2008 *Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji*.
7. PN-EN 15251:2012 *Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę*.
8. Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.R., *Kompendium Ogrzewnictwa i Klimatyzacji*, Omni Scala, Wrocław 2008.
9. Sowa J., *Współczesne kierunki rozwoju systemów wentylacji i klimatyzacji*, „Energia i Budynek” nr 8/2007.
10. *Performance criteria of buildings for health and comfort*, ISIAQ-CIB Task Group TG 42, CIB No. 292, 2004.
11. Building Bulletin 101 *Ventilation in School Buildings* (BB101).
12. ANSI/ASHRAE Standard 62.1.-2016 *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.
13. *The Building Regulations 2010 (BR10)*, The Danish Ministry of Economic and Business Affairs.

14. S. C. Lee, M. Chang, *Indoor Air Quality Investigations at Five Classrooms*, „Indoor Air”, 9, 1999.
15. Basińska M., Michałekiewicz M., *Zanieczyszczenia powietrza i ich wpływ na zdrowie człowieka*, „Rynek Instalacyjny” nr 4/2016, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/instalacje-wentylacyjne-klimatyzacyjne/24458,zanieczyszczenia-powietrza-i-ich-wplyw-na-zdrowie-czlowieka>
16. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2014, poz. 807).
17. Mijakowski M., Sowa J., *An attempt to improve indoor environment by installing humidity-sensitive air inlets in a naturally ventilated kindergarten building*, „Building and Environment”, 111, 2017.
18. Pegas PN, Evtyugina MG, Alves CA et al., *Outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon: a preliminary study*, „Quim Nova” Vol. 33, No. 5, 2010.
19. Ratajczak K., Łochyński S., *Jakość powietrza w budynku użytkowanym jako żłobek*, „Rynek Instalacyjny” nr 10/2017.
20. Koruba D. i in., *Próba poprawy jakości powietrza wewnętrznego w przedszkolu*, „Budownictwo i Architektura”, 13 (4), 2014, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/klimatyzacja/32235,jakosc-powietrza-w-budynku-uzytkowanym-jako-zlobek>
21. DIN 1946-2 *Ventilation and air conditioning. Technical health requirements (VDI ventilation rules)*.
22. Ianniello E., *Ventilation systems and IAQ in school buildings*, „REHVA Journal”, 3, 2011.

## Nawilżanie powietrza w żłobkach i przedszkolach



**K**ontrola i regulacja wilgotności powietrza ma znaczenie dla obiektów, w których przebywają dzieci, ponieważ ściśle wiążą się z nią warunki zdrowotne. W miejscach, w których przebywają dzieci, często w dużych grupach, szybko przenoszone są zarazki. Kontrola wilgotności jest przede wszystkim istotna w hamowaniu wzrostu kolonii bakterii w budynku, ponieważ do ich rozwoju potrzebna jest woda i składniki odżywcze. Dlatego też należy unikać tworzenia się obszarów, w których wilgoć kondensuje się i tworzy zastoje wodne, na przykład w przewodach wentylacyjnych. Ponadto przy wzroście wilgotności względnej powyżej 80% przez dłuższy czas może tworzyć się pleśń, jak również może mieć miejsce kondensacja powierzchniowa, a w przypadku wdychania jej zarodniki

stanowią zagrożenie dla zdrowia. Umożliwia to ustalenie maksymalnego limitu dla pożądanego zakresu wilgotności.

Jeśli w pomieszczeniu wilgotność względna wynosi od 40 do 60%, kropelki utrzymują w przybliżeniu tę samą wielkość ( $\approx 100 \mu\text{m}$ ) i mają tendencję do wytrącania się znacznie szybciej. W przybliżeniu w odległości 1–2 m od źródła, gdzie można je skuteczniej wyeliminować tradycyjnymi metodami czyszczenia. Warto wspomnieć, że niska wilgotność powietrza może spowodować 3–7% spadek wydajności, a nawet uczucie przemęczenia osób przebywających w pomieszczeniu. Objawy te nasilają się, gdy oprócz warunków niskiej wilgotności występują czynniki takie jak wysoka temperatura i zanieczyszczenie powietrza.

Optymalny zakres wilgotności określono na  $40\% < \text{RH} < 60\%$ , który jest taki sam jak poziom, który należy osiągnąć w celu ograniczenia ryzyka zakażenia ( $40\% < \text{RH} < 60\%$ ) i pokrywa się z poziomem koniecznym do redukcji rozmnażania się pleśni ( $\text{RH} < 80\%$ ).

Biorąc pod uwagę wszystkie skutki, jakie wilgotność względna wywiera na organizm człowieka, można stwierdzić, że pożądaný zakres wilgotności do zapewnienia komfortu wynosi dokładnie od 20 do 60%. W celu osiągnięcia zalecanych poziomów jakości powietrza konieczna jest wymiana powietrza wewnętrznego na świeże powietrze z zewnątrz. Przed wprowadzeniem powietrza do pomieszczenia należy jednak doprowadzić je do akceptowalnej temperatury, zazwyczaj między 20 a 24°C.

Wyobraźmy sobie na przykład scenariusz zimowy: zajmijmy się wyłącznie świeżym powietrzem z zewnątrz, które w związku z tym byłoby bardzo zimne i wilgotne (punkt A, temperatura =  $-5^{\circ}\text{C}$ , wilgotność względna = 80%). Powietrze byłoby podgrzewane za pomocą nagrzewnicy w jednej z central wentylacyjnych, w której temperatura i wilgotność właściwa (masa pary wodnej w jednostce powietrza) pozostają na stałym poziomie (punkt B, temperatura =  $22^{\circ}\text{C}$ , wilgotność względna = 12%).

Wilgotność względna ciepłego powietrza (stosunek ilości pary wodnej w powietrzu do maksymalnej ilości, jaką może ono pomieścić) jest natomiast niższa. Spada ona od 80 do 12% bez konieczności pozbywania się wody! Powietrze podczas ogrzewania zwiększyło bowiem swoją maksymalną zdolność „zatrzymywania” w zawiesinie kropeł wody tworzących wilgoć, a tym samym zmniejszyła się wilgotność względna, która wskazuje na maksymalną ilość pary wodnej, jaką powietrze może zatrzymać.

Biorąc pod uwagę znaczenie utrzymania odpowiedniego poziomu wilgotności względnej, niezbędny jest system nawilżania, który utrzymuje wilgotność względną (i temperaturę) w odpowiednim zakresie. System może realizować nawilżanie adiabatyczne (opcja 1) poprzez rozpylanie mgły wodnej w powietrzu lub nawilżanie izotermiczne (opcja 2) poprzez wrzącą wodę i bezpośrednie wytwarzanie pary wodnej. Niezależnie od wybranej technologii system nawilżania będzie najprawdopodobniej działał bardziej intensywnie zimą, kiedy to system grzewczy wysusza powietrze.

Istnieją różne technologie nadające się do nawilżania pomieszczeń, ale niezależnie od nich, systemy zawsze składają się z następujących elementów:

- nawilżacz typu adiabatycznego (produkcja wody nebulizowanej) lub izotermicznego (produkcja pary wodnej);
- system dystrybucji wytworzonej wilgoci. Obiekty często pobierają powietrze z zewnątrz, uzdatniają je i uwalniają do wnętrza pomieszczeń przez kanały wentylacyjne. W związku z tym systemy dystrybucji wilgoci muszą być umieszczane wewnątrz kanałów za wymiennikami ciepła. Systemy te są podłączone do nawilzacza i mogą składać się z przewodów rurowych z otworami i małymi dyszami rozpylającymi wodę pod ciśnieniem lub większych rur z otworami, które uwalniają parę bezpośrednio do kanałów. W innych przypadkach nawilżacz można zainstalować bezpośrednio wewnątrz kanału;
- na końcu sekcji nawilżania umieszczony jest odkraplacz, stosowany tylko z nawilżaczem adiabatycznym. Zatrzymuje nadmiar wilgoci, która nie jest wchłaniana przez wodę i zapobiega jej stagnacji;
- system uzdatniania wody wlotowej do wody zasilającej. Nie jest on obowiązkowy, ale zalecany w zastosowaniach.

## Nawilżacze izotermiczne

Izotermiczne nawilżacze doprowadzają wodę do wrzenia, która zamienia się w parę, a następnie jest uwalniana do pomieszczeń. Energia potrzebna do zmiany stanu – około 750 W na liter odparowanej wody – jest dostarczana przez nawilżacz, zasilany elektrycznie lub z innych źródeł (metan lub LPG). System jest definiowany jako izotermiczny, ponieważ powietrze jest nawilżane i nie ulega znaczącym zmianom temperatury.



Nawilżacze izotermiczne są dość proste w instalacji, gwarantują higienicznie czystą parę wodną i mogą być stosowane zarówno do dystrybucji bezpośredniej, jak i przewodowej w centrali wentylacyjnej. Tego typu urządzenia nadają się również do wytwarzania bardzo małych ilości pary.

Główne ograniczenie technologii parowej jest związane z wysokim zużyciem energii i związanymi z nim wysokimi kosztami operacyjnymi, które mogą okazać się zbyt wysokie w przypadku znacznych obciążeń wilgotnościowych.

Na rynku dostępne są trzy główne rodzaje nawilżaczy izotermicznych: elektrodowe, grzałkowe, gazowe.

## Nawilżacze adiabatyczne

Nawilżacze adiabatyczne powodują bezpośrednie odparowywanie wody do powietrza bez potrzeby zasilania zewnętrznego. Ciepło potrzebne do parowania jest dostarczane przez nawilżane powietrze, które następnie jest schładzane.

Urządzenia te tworzą znaczną powierzchnię międzyfazową pomiędzy powietrzem a wodą, która paruje samoistnie. Główną zaletą tych urządzeń jest bardzo niski pobór mocy: jedyna wymagana moc to ta potrzebna do rozpylania wody na małe kropelki o średnicy kilku mikronów.

W zimie nagrzewnica będzie musiała ogrzewać powietrze w większym stopniu względem nawilżania parowego, aby zrekompensować efekt chłodzenia spowodowany parowaniem, ale całkowite zużycie pozostaje niewielkie i jest jednym z najniższych w różnych dostępnych technologiach. Latem efekt chłodzenia powietrza może posłużyć zwiększeniu energooszczędności, kiedy konieczne jest jednoczesne zastosowanie chłodzenia i nawilżania.

Najczęściej wykorzystywane technologie nawilżania adiabatycznego: wysokociśnieniowe, ultradźwiękowe, typu „wet wall”.

## Wymagania dotyczące systemu nawilżania

Ważne jest, aby wszystkie elementy systemu nawilżania, a w szczególności nawilżacze, spełniały szczególne wymagania, tak aby mogły być stosowane w środowiskach, w których przebywają dzieci. System nawilżania musi być zaprojektowany w taki sposób, aby nie powodował gromadzenia rozprzestrzeniania się bakterii i szkodliwych czynników wewnątrz pomieszczeń.

Ponadto należy kontrolować jakość wody zasilającej, ponieważ wszelkie nadmiary soli mineralnych i mikroorganizmów mogą przedostawać się do środowiska, jeżeli nie są filtrowane. Zaleca się zatem wykorzystanie oczyszczonej wody wytwarzanej w układach odwróconej osmozy. Technologia ta została opracowana na szeroką skalę i gwarantuje doskonałą wydajność filtracji.

Kolejną zaletą jest to, że nawilżacze są wykonane z materiałów odpornych na korozję, takich jak stal nierdzewna, które zapobiegają gromadzeniu się zanieczyszczeń.

Bezpieczeństwo można zapewnić stosując czujniki limitujące. Są to czujniki, które umieszczone w kanałach lub w pomieszczeniu, wykrywają przekroczenie ustawionej wartości progowej wilgotności. W takim przypadku produkcja zostaje wstrzymana, aby zapobiec kondensacji pary wodnej, ponieważ może ona stwarzać istotne zagrożenie dla higieny w przypadku nagromadzenia się wody stojącej. Najbardziej zaawansowane modele obsługują modulujący odczyt czujnika, dzięki czemu produkcja jest ograniczana stopniowo wraz z osiągnięciem wartości progowej, co pozwala na uniknięcie nagłych przerw w pracy urządzenia, które mogą mieć niepożądane skutki.

W celu zapobiegania kondensacji niektóre nawilzacze są wyposażone w funkcję zdalnego włączania/wyłączania, która blokuje wytwarzanie wilgoci w przypadku, gdy system wentylacyjny kanału nie działa.

Należy również sprawdzić, czy urządzenie posiada certyfikaty wydane przez wyspecjalizowane instytucje, takie jak niemiecki VDI 6022, ponieważ są one dowodem na to, że producent zastosował rozwiązania gwarantujące higienę systemu.

## Niezawodność

Przedszkola i żłobki są obiektami, które muszą być niezawodne również w przypadku awarii, czynności konserwacyjnych lub nietypowych warunków pogodowych. W zimie wystarczy godzinna wymiana powietrza bez nawilżania, aby obniżyć poziom wilgotności poniżej progu alarmowego. Dlatego system nawilżania musi być niezawodny i minimalizować czas przestoju maszyny, aby zagwarantować absolutną ciągłość pracy.

Pierwszym zaleceniem jest wybór systemów, które minimalizują potrzebę przestojów koniecznych do przeprowadzenia czynności konserwacyjnych. Ogólnie rzecz biorąc, nawilzacze wymagające mniejszej konserwacji to nawilzacze pracujące z wodą oczyszczoną, ponieważ osadzanie się kamienia wapiennego jest mniej intensywne, dzięki czemu częste czyszczenie i/lub okresowe wymiany nie są potrzebne. Ten aspekt jest niekorzystny w przypadku niektórych technologii nawilżania, takich jak technologia elektrody zanurzonej, ze względu na fakt, że systemy tego typu nie mogą działać z wodą oczyszczoną i mogą wymagać częstych interwencji w celu wymiany/wyczyszczenia cylindrów.

Wyższa odczytywalność wskazań oznacza krótszy czas bezczynności, podczas którego maszyna jest aktywna, ale w rzeczywistości nie jest w stanie poradzić sobie z obciążeniem wilgocią. W przypadku nawilzaczy izotermicznych zaleca się stosowanie roztworów, które wstępnie podgrzewają wodę w cylindrze i zmniejszają częstotliwość płukania wody w celu uniknięcia osadzania się kamienia.

Zdecydowanie zaleca się stosowanie nawilzaczy wyposażonych w funkcje rotacji i redundancji. Funkcja rotacji umożliwia zmianę pracy nawilzaczy w taki sposób, aby ich działanie było ciągłe, a okresy pomiędzy przeglądami były dłuższe. Funkcja redundancji umożliwia nieprzerwane działanie. W przypadku przestoju urządzenia z powodu konserwacji lub nieprawidłowego działania,

produkcja pary wodnej nie jest przerywana, ponieważ inne nawilzacze w systemie zapewniają jej właściwy poziom.

System nawilżania o obu tych cechach (praca z oczyszczoną wodą i z funkcjami rotacji/redukcji) jest idealnym rozwiązaniem zapewniającym niezawodność – produkcja wilgoci nie jest przerywana, nawet podczas konserwacji.

## Oszczędność energii

Instalacja wydajnych systemów zużywających mniej energii przynosi podwójną korzyść: oszczędność kosztów operacyjnych oraz zgodność z najnowszymi przepisami dotyczącymi klimatyzacji. Niektóre technologie i nawilzacze dostępne na rynku wyposażone są w specjalne funkcje, które rekompensują wyższy koszt inwestycji większą oszczędnością w dłuższej perspektywie czasu.

Nawilzacze izotermiczne są na ogół bardziej energochłonne w porównaniu z innymi technologiami, ponieważ do działania wymagają zagotowania wody, do czego potrzebują około 750 W na litr odparowanej wody na godzinę.

Nawilzacze grzałkowe lub elektrodowe są zasilane energią elektryczną i dlatego generują wysokie koszty operacyjne w zamian za wysoką wydajność.

Nawilzacze gazowe zużywają tyle samo energii, ale ich paliwo kosztuje mniej, więc są zdecydowanie bardziej konkurencyjne w przypadku dużych obciążeń wilgocią wymaganych przez centrale wentylacyjne.

Nawilzacze adiabatyczne są lepsze pod względem zużycia energii, ponieważ energia potrzebna do zasilania wysokociśnieniowych pomp rozpylaczy (< 4 W) i do wytwarzania drgań przetworników w przypadku nawilzaczy ultradźwiękowych (< 80 W) jest bardzo niska. Pomimo niewielkiej mocy potrzebnej do zasilania pomp niskociśnieniowych, nawilzacze z wkładem nawilżającym znacznie zwiększają pobór mocy wentylatorów przy stałym wzroście strat obciążeniowych.

Jeśli chcą Państwo w miesiącach letnich skorzystać z funkcji chłodzenia wyparnego, to idealnym rozwiązaniem są nawilzacze adiabatyczne. Ten rodzaj urządzeń gwarantuje najlepsze osiągi w ciepłym i suchym środowisku, ponieważ nawilża i chłodzi powietrze, maksymalizując jednocześnie oszczędność energii. Efekt chłodzenia wynosi 0,7 kW na każdy litr odparowanej wody, zapewniając bardzo niskie zużycie energii.

## Możliwość łączności

Funkcje łączności nie są kwestią najistotniejszą, niemniej jednak są one jego niezaprzeczalną zaletą, której znaczenie jest coraz większe ze względu na wzrastające zapotrzebowanie na konieczność zarządzania, kontrolowania i zbierania informacji w złożonych instalacjach charakteryzujących się różnymi nastawami.

Dlatego coraz częściej spotykane są systemy HVAC zarządzane przez system BMS (Building Management System), który monitoruje również system nawilżania, zapewniając w ten sposób scentralizowane zarządzanie w wielu lokalizacjach. W tym kontekście istotne jest, aby nawilzacze obsługiwały najpopularniejsze protokoły komunikacyjne, takie jak Modbus i BACnet.

Niektóre z najnowocześniejszych nawilzaczy wyposażone są również w zintegrowany serwer WWW. Jest to system, który umożliwia zarządzanie, nadzór i monitorowanie całego systemu nawilżania w sieci lokalnej bezpośrednio z komputera PC lub tabletu. Po podłączeniu do odpowiedniego systemu nadzoru, można nim również zarządzać zdalnie, co ułatwia monitorowanie wielu jednostek zainstalowanych w obiektach przedszkolnych.

## Systemy dystrybucji pary wodnej/mgły

Systemy dystrybucji wilgoci są praktycznie zawsze umieszczone w przewodzie i składają się z różnego rodzaju przewodów rurowych z otworami w zależności od tego, czy są one zasilane wodą pod ciśnieniem, czy parą.

Ich skuteczność polega na wydajności absorpcji, która jest bardzo ważnym parametrem mierzącym ilość wody faktycznie zaabsorbowanej przez powietrze w stosunku do całkowitej ilości wody wprowadzanej do kanału. Niezabsorbowana mgła lub para, która ponownie się kondensuje w kontakcie z powierzchnią, stanowi zarówno stratę energii, jak i zagrożenie dla higieny kanałów.

Instalacje dystrybucji wody pod ciśnieniem powinny być wykonane ze stali nierdzewnej i dostosowane do wymiarów kanałów. Dysze powinny być małe, liczne i właściwie rozmieszczone, aby zwilżyć większą część przekroju bez konieczności przeznaczania długiej części przewodu do absorpcji.

Systemy dystrybucji pary mają zazwyczaj wyższą wydajność absorpcji, ale powodują ponowną kondensację pary, gdy wejdzie ona w kontakt z chłodnymi powierzchniami metalowymi dystrybutora. Aby ograniczyć to zjawisko, niektóre dystrybutory wyposażone są w separatory kondensatu będące elementem systemu nawilżania, dysze pobierające parę ze środka lanc, warstwy izolacyjne lub poduszki powietrzne chroniące powierzchnię zewnętrzną przed nadmiernymi spadkami temperatury.

## Systemy uzdatniania wody

Systemy uzdatniania wody poprawiają jakość wody wlotowej w celu poprawy funkcjonowania nawilzaczy, a przede wszystkim w celu poprawy końcowej jakości powietrza. W związku z tym systemy uzdatniania wody muszą być zawsze połączone z nawilzaczami adiabatycznymi lub niektórymi rodzajami nawilzaczy izotermicznych.

Główne metody uzdatniania stosowane w nawilżaniu to zmiękczenie i odwrócona osmoza.



## Rozwiązania systemów nawilżania do placówek przedszkolnych i żłobków.



- Nawilżanie adiabatyczne wysokociśnieniowe humiFog



- Nawilżanie izotermiczne elektrodowe compactSteam



- Stacje odwróconej osmozy



ALFACO POLSKA SP. Z O.O.  
ul. Krakowska 141-155 | 50-428 Wrocław  
tel. +48 71 340 05 75 | fax +48 71 335 21 42 | [alfaco@alfaco.pl](mailto:alfaco@alfaco.pl)

[carel.pl](http://carel.pl)

## Kryteria wyboru nawilżacza

Najlepszy system nawilżania zależy od charakterystyki każdej instalacji, jednak można wziąć pod uwagę kilka kwestii związanych z wybraną technologią.

Ogólnie rzecz biorąc, nawilżacze adiabaticzne charakteryzują się bardzo niskimi kosztami eksploatacji, wyższymi kosztami inwestycyjnymi i wymagają większych odległości absorpcji wewnątrz kanałów. W porównaniu z nawilżaczami ultradźwiękowymi, wysokociśnieniowe charakteryzują się średnimi kosztami na litr/godzinę i są bardziej odpowiednie do zastosowań o wysokiej wydajności. Ponadto niektóre modele mogą nawilżać zarówno powietrze nawiewane bezpośrednio (sezon zimowy), jak i powietrze powrotne pośrednio (sezon letni) za pomocą jednej pompy.

Nawilżacze izotermiczne charakteryzują się niższymi kosztami inwestycyjnymi, ale znacznie wyższymi kosztami eksploatacyjnymi, dlatego są preferowane dla małych i średnich wydajności lub w przypadku, gdy wymagają tego normy. W większych instalacjach zalecane są nawilżacze gazowe, ponieważ nawilżacze z elektrodami zanurzonymi i grzałkami zużywają dużo energii elektrycznej. Różnice pomiędzy tymi ostatnimi zależą w dużej mierze od wybranego modelu, ale można powiedzieć, że nawilżacze grzałkowe są łatwiejsze w utrzymaniu i bardziej elastyczne pod względem wody zasilającej i modulacji. Wymagają one jednak większych inwestycji początkowych.

Niezależnie od wybranej technologii warto pamiętać o sprawdzeniu, czy urządzenie jest wyposażone w rozwiązania spełniające wymagania higieniczne i niezawodnościowe oraz potrzeby w zakresie energooszczędności.

Nawilżanie jest aspektem ważniejszym niż można by sądzić ze względu na jego ogromny wpływ na rozwój patogenów i przenoszenie zakażeń; dobre samopoczucie i funkcjonowanie dzieci i personelu.

W miarę możliwości należy wybierać nawilżacze adiabaticzne lub wysoko sprawne nawilżacze izotermiczne, ponieważ łączą one w sobie potrzeby nawilżania z oszczędnością energii, która ma zostać osiągnięta w obiektach zużywających energię.

Alfaco Polska Sp. z o.o.  
ul. Krakowska 141-155, 50-428 Wrocław  
tel. 71 340 05 75  
alfaco@alfaco.pl, www.carel.pl



## w nowej odsłonie!

## Wentylacja budynków edukacyjnych – problemy z jakością powietrza wewnętrznego

Każdego roku we wrześniu do intensywnej pracy ruszają zastępy przedszkolaków, uczniów i nauczycieli. Wszyscy oni powinni mieć zapewnione odpowiednie warunki pracy, nauki, zabawy i rozwoju – a jednym z podstawowych wskazań higienicznych jest odpowiednia jakość powietrza w salach i klasach. Tymczasem jej zapewnienie to ogromne wyzwanie.



Jakość powietrza w placówkach edukacyjnych rozpatrywana jest dziś głównie przez pryzmat smogu i jego wpływu na skład powietrza w pomieszczeniach. Łatwiej przekonać gminy czy samych dyrektorów do wyposażania placówek edukacyjnych w oczyszczacze powietrza niż do inwestycji w skuteczny system wentylacji, który zapewnia nie tylko filtrację zanieczyszczeń pyłowych ( $PM_{2,5}$ ), ale i utrzymanie takich parametrów, jak temperatura, wilgotność czy prędkość powietrza oraz zachowanie powietrza o odpowiednio niskim stężeniu: dwutlenku węgla, pyłów powodowanych przez prace szkolne i zanieczyszczeń mikrobiologicznych czy chemicznych pochodzących z elementów wyposażenia wnętrza.

Zbyt wysoka temperatura powoduje szybkie zmęczenie, dekoncentrację i wzrost ryzyka zachorowań (przegrzewanie), zbyt niska także zwiększa podatność na choroby – jeśli dyrektor nie może zapewnić w pomieszczeniach temperatury co najmniej  $18^{\circ}C$ , ma prawo odwołać zajęcia. Za wysoka wilgotność powoduje uczucie „duszności” i stwarza warunki do rozwoju grzybów pleśniowych, a za niska wpływa na dolegliwości nosa, gardła i oczu. Zbyt duża prędkość powietrza w pomieszczeniu powoduje przeciągi, a przy za małej powietrze nie jest skutecznie rozprowadzane po pomieszczeniu.

Jak wynika z badań prowadzonych w ostatnich latach w ramach projektu InAirQ (polskimi partnerami są Instytut Medycyny Pracy w Łodzi i Urząd Marszałkowski Woj. Łódzkiego) [4], w klasach szkolnych stężenie lotnych związków organicznych (toluen, etylobenzen, ksyleny, monoterypeny –  $\alpha$ -pinen z produktów drewnianych lub aromatyzowanych, limonenu ze środków do czyszczenia podłóg) jest wyższe niż na zewnątrz. Podobnie stężenie masowe  $PM_{2,5}$  było w salach lekcyjnych wyższe niż na zewnątrz i zwykle przekraczało dopuszczalną przez Komisję Europejską średnią wartość roczną ( $25 \text{ g/m}^3$ ) dla sezonu zimowego. Natomiast nadmierna (ponad 1000 ppm) zawartość  $CO_2$  w powietrzu powoduje uczucie duszności i zmęczenia i wpływa negatywnie na zdolności percepcyjne dzieci i młodzieży.

### Wymagania i zalecenia dla poziomu $CO_2$

Ze względów zdrowotnych zawartość dwutlenku węgla w pomieszczeniu powinna być zbliżona do tej w powietrzu zewnętrznym, gdzie wynosi 370–400 ppm [1], w zależności od rodzaju terenu (dla miast i terenów przemysłowych stężenie to jest większe). Jednocześnie nie powinna przekraczać 1000 ppm, czyli tzw. liczby Pettenkoffera (badacz ten już 100 lat temu uznał zawartość  $CO_2$  za wskaźnik jakości powietrza), ponieważ powyżej tej wartości wyraźnie pogarsza się samopoczucie i obniża zdolność koncentracji oraz produktywność.

1000 ppm jako wartość graniczna figuruje m.in. w rekomendacjach amerykańskiego stowarzyszenia inżynierów ogrzewnictwa, chłodnictwa i klimatyzacji. Niemiecka norma DIN 1946-Teil 2 za chwilową wartość maksymalną w aspekcie higienicznym uważa 0,15% (1500 ppm).

Maksymalne stężenie  $CO_2$  w pomieszczeniach, które powinno być podstawą do projektowania systemów wentylacji w placówkach edukacyjnych, zawiera norma PN-EN 15251:2012 [7] – **tabela**.

Centralna Inspekcja Ochrony Pracy prowadziła w 2008 roku badania jakości powietrza w szkołach [8]. Stężenia  $CO_2$  wynosiły od 0,5 do 1,5 zalecanej wartości, przy czym wartość zalecana przekroczona została w połowie badanych pomieszczeń (maksymalne stężenie wyniosło ok. 1800 ppm). W większości pomieszczeń placówek oświatowych, gdzie dzieci i młodzież uczą się i bawią (klasy, pracownie, świetlice, sale przedszkolne), stosowana jest jedynie wentylacja naturalna – dobrze, jeśli „aktywna”, czyli wspierana przez nauczycieli nieobawiających się otwierania okien. Jak jednak wskazuje badacz z Politechniki Opolskiej [14], okresowe przewietrzanie sal lekcyjnych (szczególnie przy

**Tabela.** Zalecane maksymalne stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu pomieszczenia ponad poziom na zewnątrz budynku dla obliczeń bilansów energii i regulacji instalacji wentylacyjnej (według PN-EN 15251:2012)

| Kategoria budynku lub pomieszczeń |                                                                                                                                                                                                                                                             | Stężenie CO <sub>2</sub> [ppm] |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| I                                 | Warunki na wysokim poziomie – kategoria zalecana dla przestrzeni, w których przebywać będą osoby bardzo wrażliwe na warunki środowiska i mało odporne na wystąpienie dyskomfortu (osoby niepełnosprawne, chorzy, niemowlęta, ludzie w podeszłym wieku itp.) | 350                            |
| II                                | Poziom normalny – kategoria zalecana dla budynków nowo wznoszonych lub remontowanych                                                                                                                                                                        | 500                            |
| III                               | Warunki na średnim, ale jeszcze akceptowalnym poziomie oczekiwań – kategoria może być przyjmowana dla istniejących budynków                                                                                                                                 | 800                            |
| IV                                | Wtedy, gdy warunki nie spełniają kryteriów kategorii od I do III; takie odstępstwo może być akceptowane jedynie wówczas, kiedy będzie występować w ciągu roku tylko w ograniczonych okresach czasu                                                          | > 800                          |

szeroko otwartych oknach i drzwiach lub jedynie szeroko otwartych oknach) poprawia skuteczność wentylacji w szkołach. To proste rozwiązanie ma zasadniczą wadę – jego efekt jest krótkotrwały. Po nawet skutecznym przewietrzeniu podczas 10-minutowej przerwy efekt znika po 10–15 minutach od rozpoczęcia zajęć z 25–30 uczniami.

Jak wskazują badania szkół, żłobków i przedszkoli prowadzone kilka lat temu pod auspicjami Komisji Europejskiej w ramach projektu SINPHONIE w 25 krajach europejskich (także w Polsce) [13], rodzaj systemu wentylacyjno-klimatyzacyjnego wpływa na wyniki osiągane przez uczniów w testach matematycznych i logicznych przeprowadzanych o różnych porach dnia. Wśród licznych wniosków wpływających z tych badań na szczególną uwagę zasługują dwa. Otóż w pomieszczeniach z wentylacją mechaniczną uczniowie osiągają dobre wyniki testów logicznych niezależnie od pory dnia. W pomieszczeniach z systemami wentylacyjnymi, w których okna otwierane są rzadziej niż trzy razy dziennie, wyniki testów logicznych są złe. W pomieszczeniach tych wpływ pory dnia na wyniki jest wyraźnie większy niż w przypadku innych systemów. Wiedza ta nie znajduje odzwierciedlenia w polskich wymaganiach prawnych dla systemów wentylacji żłobków, przedszkoli i szkół – są one szczątkowe i ogólne.

Ogólne wymagania dla wentylacji

Zgodnie z § 2 rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej [11] przy tworzeniu punktu przedszkolnego lub zespołu wychowania przedszkolnego konieczne są pozytywne opinie właściwego państwowego inspektora sanitarnego i straży pożarnej. Warunek dla wentylacji jest następujący: *zapewniona możliwość otwierania w pomieszczeniu co najmniej 50% powierzchni okien przy stosowaniu wentylacji grawitacyjnej.*

Ustawa o systemie oświaty [15] zobowiązuje dyrektorów placówek dydaktyczno-edukacyjnych do zapewnienia *bezpiecznych i higienicznych warunków pobytu w szkole.* Akt wykonawczy do tej ustawy,

tj. rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej i Sportu dotyczące BHP w szkołach [10], stanowi (w § 9 ust. 1), że w pomieszczeniach szkoły należy zapewnić *właściwą wentylację.* Wentylacja i klimatyzacja, zgodnie z § 147 ust. 1 Warunków Technicznych [12], powinny zapewniać *odpowiednią jakość* środowiska wewnętrznego.

Wymagania dla strumienia objętości powietrza wentylacyjnego

„Odpowiednia jakość środowiska wewnętrznego” jest ściśle powiązana ze strumieniem objętości powietrza wentylacyjnego. Jak wynika z badań przeprowadzonych przez badaczy z Politechniki Świętokrzyskiej w jednym z kieleckich przedszkoli z wentylacją grawitacyjną [2], zwiększenie strumienia powietrza zewnętrznego wpływało na poprawę jakości powietrza wewnętrznego w budynku. Większy strumień powietrza zewnętrznego przyczyniał się zarówno do redukcji stężenia dwutlenku węgla, jak i obniżenia stężenia zarodników grzybów pleśniowych. Jednak dla wentylacji grawitacyjnej zwiększanie strumienia powietrza wentylacyjnego powodowało albo obniżenie temperatury do nieakceptowalnego poziomu, albo zwiększenie nakładów na ogrzewanie pomieszczeń. Połączenie skutecznej wymiany powietrza, komfortu cieplnego i rozsądnych kosztów eksploatacji wymagałoby więc zastosowania systemu wentylacji mechanicznej. Zgodnie z § 148.1 WT [12]: *Wentylację mechaniczną wywiewną lub nawiewno-wywiewną należy stosować w budynkach wysokich i wysokościowych oraz w innych budynkach, w których zapewnienie odpowiedniej jakości środowiska wewnętrznego nie jest możliwe za pomocą wentylacji grawitacyjnej.*

Strumień powietrza wentylacyjnego w pomieszczeniach edukacyjnych powinien zatem spełniać co najmniej wymagania normy PN-B-03430:1983 [5], która w zakresie przewidzianym dla budynków użyteczności publicznej podaje następujące wartości strumienia objętości powietrza wentylacyjnego:

- w pomieszczeniach przeznaczonych na stały i czasowy pobyt ludzi [w tej kategorii z pewnością znajdują się sale lekcyjne – przyp. aut.] – 20 m<sup>3</sup>/h dla każdej przebywającej osoby, a w przypadku żłobków i przedszkoli 15 m<sup>3</sup>/h dla każdego dziecka;
- w pomieszczeniach klimatyzowanych oraz wentylowanych, o nieotwieranych oknach – 30 m<sup>3</sup>/h dla każdej przebywającej osoby;
- w pomieszczeniach, w których występują czynniki szkodliwe dla zdrowia [w przypadku szkół będzie to np. pracownia chemiczna] – indywidualny projekt systemu wentylacyjnego.

Sal lekcyjne, świetlice czy sale przedszkolne mają jednak swoją specyfikę. Standardowo przez kilka-kilkanaście godzin dziennie są zajęte przez 20–35 osób o wysokiej wrażliwości na jakość środowiska zewnętrznego (choć w okresach zwiększonej absencji chorobowej liczba ta może być niższa), a w pozostałym czasie pomieszczenia te pozostają puste. Adekwatny projekt wentylacji w placówkach edukacyjnych powinien być oparty na wskazaniach zawartości dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) w pomieszczeniach.

## Dwutlenek węgla jako czynnik regulacji wentylacji

CO<sub>2</sub> jest doskonałym wskaźnikiem obecności osób w pomieszczeniu (podczas pracy umysłowej człowiek emituje, głównie w wydychanym powietrzu, ok. 23 l CO<sub>2</sub>/h). Jego zawartość w powietrzu powinna więc być monitorowana i stanowić podstawę pracy instalacji wentylacyjnej. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu odpowiednich czujników z kontrolerami. Selektywne kontrolery dwutlenku węgla umożliwiają automatyczne sterowanie wentylacją. W zależności od stężenia CO<sub>2</sub> można dostosować pracę instalacji wentylacyjnej do rzeczywistej liczby osób w pomieszczeniu – tak, by zachować równowagę między komfortem uczniów a ekonomiczną pracą instalacji.

Niestety, wentylację mechaniczną sterowaną stężeniem CO<sub>2</sub> w Polsce spotyka się rzadko. Występuje najczęściej w tzw. szkołach energooszczędnych – w Polsce najwięcej takich placówek powstało po 2015 roku, dzięki dofinansowaniu z programu LEMUR – Energooszczędne Budynki Użyteczności Publicznej NFOŚiGW. Jednym z warunków uzyskania dotacji było spełnienie szeregu wymogów technicznych, wśród nich wyposażenie instalacji wentylacyjnej w układ automatyki regulacyjnej umożliwiający dostosowanie wydajności do aktualnych potrzeb.

Wysoką skuteczność wentylacji uzyskuje się, stosując polecane dla szkół systemy zdecentralizowane – wówczas indywidualne ustawienie i dotrzymywanie parametrów powietrza w każdej sali odbywa się szybko i w sposób nieodczuwalny dla użytkowników.

## Systemy zdecentralizowane

Autonomiczne (indywidualne, zdecentralizowane) rozwiązania wentylacyjne pozwalają nie tylko zachować komfort w każdej sali, mogą też być instalowane etapowo (np. szkoła może stopniowo wyposażać po kilka sal rocznie), a dodatkowo nie wymagają poważnych prac budowlanych. Z punktu widzenia dyrektora szkoły jest to rozwiązanie bardziej atrakcyjne, bo mniej obciążające szkolny budżet. Zdecentralizowane systemy wentylacyjne powinny spełniać wymagania normy PN-EN 13779:2007 [6].

Najczęściej spotykanym rozwiązaniem są indywidualne centrale wentylacyjne montowane bezpośrednio w pomieszczeniu, z króćcami podłączonymi bezpośrednio do czerpni i wyrzutni. Centrala taka ma charakter „plug&play”, co ułatwia montaż i skraca potrzebny na niego czas. Wstępnie przygotowane powietrze nawiewane jest wporowo, z wykorzystaniem procesu konwekcji na poziomie podłogi – strumień powietrza regulowany jest przez wskazania czujnika CO<sub>2</sub>. Dysze nawiewne nadają strudze powietrza odpowiednio małą prędkość (poniżej 3 m/s) – dzięki temu powietrze w sposób nieodczuwalny przepływa przez pomieszczenie, nagrzewa się od obecnych tam osób, po czym wypływa przez kratkę wyciągową umieszczoną w górnej części urządzenia. Urządzenie wyposażone jest w system odzysku ciepła (rekuperator), wentylatory z silnikami energooszczędnymi

(standardem stają się silniki EC) oraz tłumiki na wywiewie i nawiewie. Przykładem zastosowania takiego rozwiązania jest szkoła w Jabłonnice/Chotomowie (woj. mazowieckie), gdzie postawiono na autonomiczne (zdecentralizowane) centrale rekuperacyjne dla każdego pomieszczenia. Są one wyposażone w miedziane wymienniki do efektywnego odzysku ciepła oraz czujniki stale monitorujące zawartość CO<sub>2</sub> i wilgotności – dzięki temu praca wentylacji elastycznie dopasowuje się do chwilowych potrzeb (np. nieobecności dzieci w klasie podczas przerwy i ich powrotu na kolejną lekcję).

Producenci proponują także urządzenia wentylacyjne fasadowe, montowane na ścianie zewnętrznej pod parapetem. Dzięki samonośnej konstrukcji rozwiązania i jego kompaktowym rozmiarom jest chętnie wybierane do montażu w pomieszczeniach modernizowanych – ingerencja w konstrukcję budynku ogranicza się do przygotowania otworów pod czerpnię i wyrzutnię. Na energooszczędność urządzenia składają się odpowiednie wentylatory (zgodnie z PN-EN 13779: SFP = 1) oraz krzyżowy wymiennik ciepła. Regulacja oparta na wskazaniach czujnika CO<sub>2</sub> czy indywidualne ustawienie temperatury w pomieszczeniu dostępne są dla tego systemu opcjonalnie. Rolą systemu fasadowego może być także grzanie i chłodzenie, co czyni go szczególnie przydatnym w przypadku adaptacji pomieszczenia na szkolne.

Dla mniejszych pomieszczeń ciekawym rozwiązaniem mogą być jednorurorowe rekuperatory wewnętrzne z wymiennikiem ceramicznym (producenci podają, że sprawność odzysku ciepła wynosi w tym wypadku do 90%). Wentylator z silnikiem EC pracuje naprzemiennie jako nawiewny i wyciągowy, zapewniając kilka prędkości pracy, co zależy od wielkości pomieszczenia i potrzeb użytkowników. Rura teleskopowa pozwala stosować urządzenie w ścianie o dowolnej grubości.

Godnym uwagi podejściem jest także włączenie systemu wentylacyjnego w system zarządzania instalacjami budynkowymi. W szkole w Żukowie (gmina Sławno, woj. zachodniopomorskie) każde pomieszczenie ma własny system sterowania klimatem oparty na protokole KNX. Sterowaniu podlega praca systemu grzewczo-chłodzącego, wentylacyjnego i żaluzji fasadowych. Podstawą sterowania jest harmonogram zajęć (w zależności od niego wybierany jest odpowiedni tryb pracy), a jednocześnie instalacje dostosowują swoją pracę do warunków atmosferycznych czy zmiany warunków w klasie (w tym otwarcia drzwi lub okien).

## Podsumowanie

Jednak nawet rozwiązania przyjazne budżetowi są przez wielu dyrektorów szkół traktowane jako na tyle znaczące obciążenie finansowe, że prawidłowa wentylacja budynku odsuwana jest na dalszy plan. Dyrektorzy często też nie są świadomi wagi problemu. Tymczasem i nauczyciele, i dzieci w szkole czy przedszkolu intensywnie pracują – niesłusznie wydaje się utrudnianie im tego, i tak łatwego zadania. Nic dziwnego, że już w 2010 roku Centralny Instytut Ochrony Pracy wskazywał, że

wentylacja lub klimatyzacja pomieszczeń w budynkach szkół powinna być tak zorganizowana, aby spełniała wszystkie wymagania przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy [9].

Joanna Ryńska

## Literatura

1. Kaiser Krzysztof, *Wentylacja szkolnych sal gimnastycznych*, „Rynek Instalacyjny” nr 5/2018, s. 62–66, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/instalacje-wentylacyjne-klimatyzacyjne/34977,ventylacja-szkolnych-sal-gimnastycznych>.
2. Koruba Dorota, Zender-Świercz Ewa, Piotrowski Jerzy Z., Orman Łukasz, Telejko Marek, *Próba poprawy jakości powietrza wewnętrznego w przedszkolu*, „Budownictwo i Architektura” nr 13(4), 2014, s. 7–13.
3. Materiały firm: ActivTec, Gazex, Rosenberg, Trox.
4. Newsletter nr 4 INAIQ – Projektu Ponadnarodowe Planowanie Działań dla Zintegrowanego Zarządzania Jakością Powietrza, Łódź, wrzesień 2018 (dostęp: 19.08.2019).
5. PN-B-03430:1983 (wraz z późniejszą zmianą Az3:2000) *Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania*.
6. PN-EN 13779:2007 *Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagane właściwości systemów*.
7. PN-EN 15251:2012 *Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę*.
8. Pośniak Małgorzata, Jankowska Elżbieta, Kowalska Joanna, Gołofit-Szymczak Małgorzata, Jankowski Tomasz, *Kształtowanie jakości powietrza w pomieszczeniach szkolnych*. Centralny Instytut Ochrony Pracy Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2010.
9. Pośniak Małgorzata, Jankowska Elżbieta, Kowalska Joanna, *Subiektywna ocena jakości powietrza w pomieszczeniach budynków szkół*, [w:] „Materiały seminaryjne. Zagrożenia zdrowotne w środowisku pracy”, Abstrakt 26, PTHP, Łódź 2009.
10. Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny w publicznych i niepublicznych szkołach i placówkach (DzU 2003, nr 6, poz. 69).
11. Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 31 sierpnia 2010 r. w sprawie rodzajów innych form wychowania przedszkolnego, warunków tworzenia i organizowania tych form oraz sposobu ich działania (DzU 2010, nr 161, poz. 1080, z późn. zm.).
12. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU 2017, poz. 1422, z późn. zm.).
13. *Schools Indoor Pollution and Health Observatory Network in Europe – Final Report*, Unia Europejska, 2014, <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/sinphonie-schools-indoor-pollution-and-health-observatory-network-europe-final-report> (dostęp: 19.08.2019).
14. Szmolke Norbert, *Audytorskie spojrzenie na wentylację szkół*, „Journal Of Civil Engineering, Environment and Architecture – JCEEA”, t. XXXII, z. 62 (2/15), kwiecień-czerwiec 2015, s. 459–467.
15. Ustawa z dnia 7 września 1991 r. o systemie oświaty (DzU 2017, poz. 2198, 2203 i 2361).
16. Urasiński Michał, *Praktyczne aspekty zapewniania odpowiedniej jakości powietrza w budynkach szkolnych*, „Rynek Instalacyjny” 1–2/2019, s. 40–46, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/projektowanie/38007,praktyczne-aspekty-zapewniania-odpowiedniej-jakosci-powietrza-w-budynkach-szkolnych>



czasopismo / portal / konferencje / książki



## RZETELNE INFORMACJE DLA SPECJALISTÓW BRANŻY HVAC I WOD-KAN

przykłady projektów i realizacji

analizy techniczne i ekonomiczne instalacji

przepisy, normy i wytyczne

[www.rynekinstalacyjny.pl](http://www.rynekinstalacyjny.pl)

## Czyste powietrze, ponieważ Daikin dba o Twój komfort

**Dbłość o odpowiednią jakość powietrza w pomieszczeniach, zwłaszcza tych, w których jednocześnie przebywa większa liczba osób, jest bardzo istotna. To właśnie od osób zarządzających przedszkolami, żłobkami czy szkołami rodzice oczekują, że ich pociechom zapewnione zostaną najlepsze warunki do pracy i zabawy. Elementem zapewniającym właściwe i czyste powietrze, wolne od alergenów, wirusów i szkodliwych substancji, są oczyszczacze powietrza. Warto zatem zainstalować takie systemy w placówkach oświatowych i kulturalnych. Co jest ważne przy wyborze urządzenia i na co warto zwrócić uwagę?**

**Zacznijmy od tego, co jest przyczyną złej jakości powietrza w pomieszczeniach.**

### Co odpowiada za zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniach? Poznaj wroga

Skuteczne zadbanie o powietrze w pomieszczeniach będzie możliwe, gdy dowiemy się, co wpływa na jego jakość. Oto z czym walczymy:

- kurz – czyli drobiny materiałów, naskórka, włosów i piasku, innymi słowy niemal wszystko, co znajdzie się w domu, mieszkaniu, przedszkolu czy żłobku i stanowi naturalne środowisko rozwoju dla roztoczy
- bakterie i wirusy – są wszędzie, jednak w zamkniętych pomieszczeniach ich stężenie może być dużo większe niż na zewnątrz
- przetrwalniki pleśni i zarodniki grzybów – unoszą się w powietrzu, licząc na to, że trafią na warunki sprzyjające rozwojowi
- substancje lotne – związki różnego pochodzenia uwalniane z przedmiotów codziennego użytku: mebli, wykładzin, farb, lakierów itd.; częstym źródłem tych substancji są również odświeżacze powietrza, świece zapachowe i środki czystości
- nadmiar jonów dodatnich, wytwarzanych przez pracujące urządzenia grzewcze i elektroniczne



### Jak oczyścić powietrze w pomieszczeniach?

Aby pozbyć się niechcianych substancji, najlepiej połączyć kilka naturalnych sposobów:

- Wietrzenie – trzeba unikać go w okresach największego zanieczyszczenia powietrza zewnętrznego i podczas alarmów smogowych, jednak nie należy z niego rezygnować. Pomoże ono pozbyć się wszelkich nagromadzonych w pomieszczeniach aerozoli i zapachów, a także w regulowaniu wilgotności.
- Odkurzanie i ścieranie kurzu – nie sprawimy, że kurz zniknie, ale regularne usuwanie go utrudnia rozwój roztoczom, które powodują podrażnienia i alergie.
- Rośliny – niektóre z nich pochłaniają część substancji lotnych. Paprocie czy epipremnum skutecznie pochłaniają i neutralizują szkodliwe substancje takie jak formaldehyd i inne gazy. Rośliny mogą również wyłapywać kurz, który łatwo przyczepia się do liści. Jednak rośliny domowe same w sobie nie zadziałają tak skutecznie jak oczyszczacze powietrza. Aby mogły tak działać, należałoby umieścić ich kilka na każdy metr powierzchni pomieszczenia, a to niemożliwe. Nie oznacza to, że nie warto ich mieć. Rośliny dają mnóstwo korzyści, jednak nie wystarczą jako jedyna metoda poprawy jakości powietrza.



MC55W

- Zmiana nawyków – szczególnie tych dotyczących sprzątania i odświeżania powietrza. Płyn do mycia i pielęgnacji podłóg lub mebli często wydzielają drażniące substancje, np. amoniak, a my mamy skłonności do używania ich w bardzo dużych ilościach podczas sprzątania. Stosowanie ich w mniejszych stężeniach lub użycie bezzapachowych środków czystości poprawi jakość powietrza w domu. Warto również ograniczyć korzystanie z odświeżaczy powietrza i świec zapachowych.

## Skuteczne rozwiązanie – oczyszczacz powietrza

Najprostszym i najskuteczniejszym rozwiązaniem do zastosowania w istniejących już budynkach w celu poprawy jakości powietrza są oczyszczacze powietrza. Urządzenia te wymagają jedynie podłączenia do prądu, aby rozpocząć pracę, są wydajne i efektywne. Nie wymagają również częstej wymiany filtrów, a co za tym idzie nie generują dodatkowych kosztów eksploatacyjnych.

## Co kryje się w środku? Poznaj zaawansowane technologie Daikin

Daikin w swoich oczyszczaczach powietrza zastosował unikalne podejście „**Catch and Clean**” oparte na 3-etapowym wylapywaniu i rozkładzie szkodliwych substancji.

- Urządzenie zasysa powietrze z dużego obszaru, z trzech kierunków – z boków oraz z frontu, co oznacza dużą wydajność oczyszczania.
- Dzięki zastosowaniu elektrostatycznego filtra HEPA urządzenie skutecznie wychwytuje kurz oraz nawet bardzo drobne cząstki z powietrza.
- Następnie wykorzystuje technologię Flash Streamer do rozkładu szkodliwych cząstek zatrzymanych na filtrze.

Tutaj warto wyjaśnić, jak działa unikalna **technologia Flash Streamer Daikin**. To element oczyszczacza emitujący elektrony poruszające się z dużą prędkością, które zderzają się z azotem i tlenem z powietrza. Tworzą one aktywne składniki, takie jak rodniki wodorotlenowe (OH) o silnej mocy utleniającej. Przylegają one do powierzchni grzybów i alergenów, powodując ich rozkład.

W oczyszczaczu powietrza Daikin filtracja powietrza jest kilkustopniowa:

- Pierwszy etap filtracji to **filtr wstępny**, który zatrzymuje duże cząstki kurzu z powietrza. Obsługa tego filtra jest bardzo prosta, jeżeli jest brudny, wystarczy go odkurzyć, umyć letnią wodą i pozostawić do wyschnięcia. Nie wymaga wymiany.
- Drugim etapem jest **elektrostatyczny filtr HEPA**, który wychwytuje drobne cząstki i pyłki. Ma bardzo wysoką skuteczność, ponieważ usuwa 99,97% drobnych cząstek o wielkości 0,3 µm. Filtr wymaga wymiany tylko **raz na 10 lat**.
- W urządzeniach jest także wbudowany **filtr przeciwapachowy**, który usuwa i neutralizuje nieprzyjemne zapachy. Nie wymaga wymiany, jedynie odkurzania, gdy jest brudny.

Daikin tak skonstruował swoje oczyszczacze powietrza, aby użytkownicy mogli samodzielnie wykonywać podstawowe czyszczenie i konserwację urządzeń oraz aby **nie ponosili dodatkowych kosztów wymiany filtrów co roku**.

Oczyszczacz poinformuje nas także, czy wykrył w powietrzu szkodliwe cząstki takie jak PM2,5, ponieważ jest wyposażony w **czujnik kurzu o wysokiej czułości** i jest w stanie rozróżnić małe cząstki tj. PM2,5 od większych i odpowiednio zareagować. Dodatkowo oczyszczacze Daikin mają również **czujnik zapachów**, który w przypadku wykrycia odoru zareaguje, przyspieszając pracę wentylatora i neutralizując zanieczyszczenia.

Możesz także dopasować pracę oczyszczacza całkowicie do swoich potrzeb dzięki wyborowi jednego z trzech trybów pracy: **AUTO**, **ECONO**, **POLLEN**. W trybie **AUTO** praca wentylatora jest automatycznie regulowana zależnie od stopnia zanieczyszczenia powietrza. Zaletą tego trybu jest niewątpliwie wygoda, ponieważ urządzenie reguluje swoją pracę automatycznie bez Twojego udziału. Celem trybu **ECONO** jest jak najmniejsze zużycie energii, oczyszczacz sam zarządza prędkością wentylatora



oraz ogranicza głośność swojej pracy. W trybie **POLLEN** celem pracy urządzenia jest wychwycenie z powietrza jak największej ilości pyłków kwiatowych.

Jeżeli nie chcesz korzystać z żadnego z wyżej wymienionych trybów, możesz samodzielnie ustawić pracę wentylatora na jednym z czterech poziomów, od cichego (19 dBA) do trybu turbo (53 dBA). Tryb cichy z głośnością pracy na poziomie 19 dBA jest tak cichy, że umożliwia pracę, naukę, a nawet spokojny sen. Można go zatem bez problemu używać, gdy dzieci śpią, leżakują lub koncentrują się na nauce.

## Zaawansowane technologie – jakie to korzyści dla użytkownika?

Najnowsze technologie, w które jest wyposażony oczyszczacz Daikin, pracują skutecznie, by zapewnić wszystkim użytkownikom, zarówno dzieciom, jak i dorosłym, czyste i zdrowe powietrze w pomieszczeniach. Daikin stworzył technologie, które, zastosowane w naszych urządzeniach, odpowiadają na potrzeby użytkowników.

Do **oczyszczania powietrza ze smogu, kurzu, pyłków oraz bakterii, wirusów i grzybów** polecamy klasyczny **model Daikin MC55W** obsługujący powierzchnie do 82 m<sup>2</sup><sup>1)</sup>. Wyposażony we wspomniane wyżej technologie i charakteryzujący się **kompaktowymi wymiarami** (wys. 50 cm × szer. 27 cm × gł. 27 cm). Z powodu zanieczyszczeń, takich jak pyłki, bakterie i inne, jakość powietrza w pomieszczeniach może być od 2 do 5 razy gorsza niż na zewnątrz. Ponieważ 90% naszego życia spędzamy w pomieszczeniach, kluczowe znaczenie ma inwestowanie w dobrą jakość powietrza. Oddychanie czystym powietrzem ma **zdecydowane przełożenie na zdrowie nasze i naszych bliskich**.

**Jeżeli szukasz rozwiązania problemu suchego powietrza zimą**, które może powodować suchość śluzówek, skóry oraz większą skłonność do zapadania na choroby układu oddechowego, to rozwiązaniem jest **oczyszczacz powietrza z nawilżaniem**, model **MCK55W**. Ten model obsługuje pomieszczenia o powierzchni **do 82 m<sup>2</sup><sup>1)</sup>** i oprócz standardowego układu filtracji, ma dodatkowo filtr nawilżający zamontowany w kole nawilżającym. Koło podczas pracy obraca się, pobierając wodę z tacy, a powietrze, przepływając przez koło, nawilża się. Jest to nawilżanie ewaporacyjne, które jest najbardziej naturalnym i zdrowym sposobem nawilżania powietrza. Wbudowany zbiornik wody o pojemności 2,7 l zapewnia dopływ wody do celów nawilżania. **Technologia Daikin Flash Streamer** zapewnia bezpieczne nawilżanie, ponieważ eliminuje bakterie z filtra nawilżającego, a wkład z jonami srebra znajdujący się na tacy z wodą zapewnia jej czystość.

Do tego typu zastosowań, ale na jeszcze większe powierzchnie do **96 m<sup>2</sup><sup>1)</sup>** polecamy także nasz nowy oczyszczacz powietrza z nawilżaniem **MCK70YV**.

<sup>1)</sup> Powierzchnia obliczona zgodnie z normą NRCC-54013-2011 przy użyciu wartości CADR metodą testową opartą na normie Japan Electric Manufacturers' Association JEM 1467.

Podpowiadamy też, że w każdym z naszych urządzeń możesz ustawić **blokadę przycisków, która uniemożliwi dzieciom ich wciskanie**. Obsługa przycisków jest wówczas ograniczona, nie dopuszczając do obsługi urządzenia przez małe dzieci.

## Potwierdzona skuteczność działania

Oczyszczacze powietrza Daikin to sprawdzony produkt, który otrzymał certyfikaty potwierdzające skuteczność działania. Mamy wśród nich: **ECARF, PZH, British Allergy Foundation (BAF)**.

Dla alergików ważne są certyfikaty **ECARF i BAF**, ponieważ **ECARF** to Fundacja Europejskiego Centrum Badania Alergii. Jest to organizacja non-profit z główną siedzibą w Berlinie, zajmująca się badaniami i poszerzaniem wiedzy społeczeństwa na temat alergii. **BAF** natomiast zapewnia, że produkt skutecznie redukuje małe cząstki, które mogą zawierać alergeny, bakterie i wirusy. Warto także wybierać produkty posiadające **z atestem PZH**, który świadczy o tym, że oznaczone nimi wyroby są bezpieczne dla zdrowia ludzi i przyjazne dla środowiska.

Co więcej, oczyszczacze powietrza Daikin otrzymały **certyfikat Instytutu Pasteur de Lille**. Według testów przeprowadzonych



MCK70YV



w laboratoriach Institut Pasteur de Lille, oczyszczacze powietrza Daikin **eliminują więcej niż 99,98% ludzkiego koronawirusa HCoV-229E** w ciągu 2,5 minuty<sup>2)</sup>. Wirus ten należy do tej samej rodziny co **SARS-CoV-2**, koronawirus, który wywołał pandemię COVID-19. Urządzenia te zostały także ocenione jako w 99,93% skuteczne w zwalczaniu wirusa H1N1 w ciągu 2,5 minuty<sup>2)</sup>. Wirus H1N1 wywołuje pospolitą grypę. Oznacza to, że oczyszczacze powietrza firmy Daikin stanowią **dodatkowy środek zapobiegania chorobom układu oddechowego**.

<sup>2)</sup> Poddany badaniu w Institut Pasteur De Lille oczyszczacz powietrza Daikin MCK55WVM (nazwa handlowa MCK55W) usuwa 99,996% koronawirusa HCoV-229E w 2,5 minuty w trybie pracy „turbo” w warunkach laboratoryjnych (szczelna komora o pojemności 0,43 m<sup>3</sup>, bez wymiany powietrza). Koronawirus HCoV-229E różni się od wirusa odpowiedzialnego za pandemię COVID-19, SARS-CoV-2, ale należy do tej samej rodziny koronawirusów.

Poddany badaniu w Institut Pasteur De Lille oczyszczacz powietrza Daikin MC55WVM (nazwy handlowe MC55W/VB) usuwa 99,93% wirusa grypy A podtyp H1N1 w 2,5 minuty w trybie pracy „turbo” w warunkach laboratoryjnych (szczelna komora o pojemności 0,47 m<sup>3</sup>, bez wymiany powietrza).

Poddany badaniu w Institut Pasteur De Lille oczyszczacz powietrza Daikin MC55WVM (nazwy handlowe MC55W/VB) usuwa 99,98% koronawirusa HCoV-229E w 2,5 minuty w trybie pracy „turbo” w warunkach laboratoryjnych (szczelna komora o pojemności 1,4 m<sup>3</sup>, bez wymiany powietrza). Koronawirus HCoV-229E różni się od wirusa odpowiedzialnego za pandemię COVID-19, SARS-CoV-2, ale należy do tej samej rodziny koronawirusów.

Poddany badaniu w Institut Pasteur De Lille oczyszczacz powietrza Daikin MC55WVM (nazwy handlowe MC55W/VB) usuwa 99,93% wirusa grypy A podtyp H1N1 w 2,5 minuty w trybie pracy „turbo” w warunkach laboratoryjnych (szczelna komora o pojemności 0,47 m<sup>3</sup>, bez wymiany powietrza).

Podsumowując, oczyszczacze Daikin to sprawdzone, certyfikowane produkty zapewniające zdrowe powietrze bez kurzu, drobnych cząstek, pyłków umożliwiające komfortowe przebywanie w pomieszczeniach zamkniętych zarówno dzieci, jak i dorosłych. Dodatkowo zapewniają **bezpieczeństwo**, ponieważ mogą pomóc w wychwytywaniu bakterii i wirusów z powietrza, tym samym zmniejszając ryzyko przenoszenia się drogą powietrzną chorób układu oddechowego. Co więcej, oczyszczacze Daikin mają aż **3 lata gwarancji**, a użytkownicy nie ponoszą kosztów wymiany filtrów co roku, bo filtr HEPA należy wymieniać raz na 10 lat.

#### Sprawdź, jak działają oczyszczacze Daikin:

- 👉 <https://youtu.be/FDdKArwpC-M>
- 👉 <https://youtu.be/hTCmKr7XMWg>
- 👉 <https://www.youtube.com/watch?v=uUerEmj2Kxc>

- ▶ Jeżeli jesteś zainteresowany zakupem oczyszczacza powietrza, przygotowaliśmy specjalny kod promocyjny, który możesz wykorzystać w naszym e-sklepie: Wejdź na <https://sklepdaikin.pl/>, dodaj produkt do koszyka, wpisz kod: **CZYSTO22** i zyskaj **10% rabatu** na dowolny oczyszczacz powietrza Daikin. Kod ważny do 31.12.2022.
- ▶ Jeżeli interesuje Cię zakup pięciu lub więcej sztuk oczyszczaczy powietrza, skontaktuj się bezpośrednio z Daikin: [kontakt@sklepdaikin.pl](mailto:kontakt@sklepdaikin.pl)

**Magdalena Sawicka-Balcerzak**

Manager ds. Produktów Grzewczych i Klimatyzacyjnych Daikin

Daikin Airconditioning Poland Sp. z o.o.  
ul. Taśmowa 7, 02-677 Warszawa  
tel. 22 319 90 00  
[office@daikin.pl](mailto:office@daikin.pl), [www.daikin.pl](http://www.daikin.pl)



## Dobra wentylacja w szkołach wcale nie jest droga

Rozmowa z prof. dr. inż. Pawłem Wargockim, Technical University of Denmark

**W naszych szkołach brakuje dobrej wentylacji. Jak wentyluje się obiekty edukacyjne w Danii i innych krajach skandynawskich? Czy wpływają na to przepisy dotyczące jakości powietrza w szkołach?**

W krajach tych na szeroką skalę prowadzone są badania jakości powietrza w szkołach i klasach oparte na pomiarze dwutlenku węgla, który jest wyznacznikiem efektywności wentylacji i jakości powietrza wewnętrznego. Zaczniemy od Danii, gdzie sytuacja jest niestety najbardziej niekorzystna spośród czterech krajów skandynawskich. Dopiero od kilku lat duńskie prawo budowlane wymaga w nowo budowanych lub remontowanych budynkach szkolnych instalowania wentylacji – czyli, jak to ujmują przepisy, zapewnione powinno być wietrzenie klas. Wcześniej należało mieć możliwość wentylacji i to zalecenie było osiąganе dzięki wietrzeniu poprzez otwieranie okien. Obecna interpretacja prawa budowlanego prowadzi do projektowania systemów wentylacji mechanicznej lub hybrydowej. Kiedy ponad 20 lat temu prowadziłem pierwsze badania jakości powietrza w szkołach, przepisy były interpretowane tak, że wystarczy, aby okna mogły być otwierane w celu przewietrzenia, obecnie w praktyce trzeba zainstalować wentylację mechaniczną, jak powyżej wspomniałem. W nowych budynkach jest to już standard i stosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła wynika także z wymagań dot. efektywności energetycznej budynków. A w budynkach remontowanych stosowane są różne systemy, ale zazwyczaj montuje się wentylację mechaniczną. Jest to jednak nadal za mało w odniesieniu do wymagań.

Niestety nie dysponuję danymi nt. liczby szkół i klas z instalacją wentylacji mechanicznej. Moi współpracownicy z naszego Centrum prowadzili 10 lat temu badania przesiewowe w ponad tysiącu



**dr inż. Paweł Wargocki**

Profesor nadzwyczajny na Uniwersytecie Technicznym w Danii, absolwent Politechniki Warszawskiej. Specjalizuje się w badaniach jakości powietrza wewnętrznego. Wyniki jego badań wpłynęły na rozwój nauki o powietrzu w pomieszczeniach, m.in. w kwestii wpływu środowiska wewnętrznego na sprawność umysłową, pracę biurową dorosłych i naukę dzieci w szkołach. Aktywny na arenie międzynarodowej: były prezydent Międzynarodowego Towarzystwa Jakości Powietrza w Pomieszczeniach i Klimatu (ISIAQ) i obecnie Prezydent Akademii Nauk o Powietrzu, były przewodniczący Komisji Zdrowia Środowiskowego Amerykańskiego Stowarzyszenia Inżynierów Ogrzewania i Klimatyzacji (ASHRAE), gdzie jest również członkiem kilku komitetów technicznych, członek komitetów normalizacyjnych ISO. Autor licznych publikacji nt. jakości powietrza wewnętrznego. Laureat wielu prestiżowych wyróżnień i nagród za działalność naukową.

klas, angażując również uczniów do pomiaru dwutlenku węgla, temperatury i wilgotności powietrza podczas różnych zajęć szkolnych. Dzieci dostawały bardzo proste urządzenie – rurkę Dräger, która po otwarciu zabarwiała się w zależności od poziomu dwutlenku węgla. Okazało się, że w połowie badanych klas poziom CO<sub>2</sub> przekraczał 1000 ppm, a jest to rekomendowana granica dla szkół. Były też klasy z 2000 ppm i więcej – powyżej tej wartości konieczne już są działania na gruncie prawa pracy, do czego wrócę później.

Badania przesiewowe przeprowadzone zostały ponownie po 5 latach i okazało się, że zmiana na lepsze nie nastąpiła. Co więcej, wzrosła liczba klas, w których poziom CO<sub>2</sub> przekraczał 1000 ppm. Podobne pomiary prowadzone były w Norwegii i w Szwecji i tam przekroczeń było „tylko” ok. 15%, a to wskazuje na stosowanie regularnej wentylacji klas i zazwyczaj jest to wentylacja mechaniczna. W przypadku wentylacji naturalnej dwutlenek węgla na poziomie poniżej 1000 ppm można utrzymać tylko wtedy, gdy w klasie liczącej 20–25 uczniów przebywa ich połowa, a lekcje nie trwają dłużej niż 35 minut, i to przy założeniu, że infiltracja jest większa niż 0,5 wymiany na godzinę.

Warunki w duńskich klasach nie są niestety tak dobre jak w Norwegii i Szwecji. W Szwecji wymagane jest min. 8,5 litra powietrza na sekundę na osobę, czyli 30 m<sup>3</sup>/h na osobę. Norwegia ma podobne wymagania jak Szwecja. W Finlandii natomiast na wymagania dot. wentylacji wpływają także kwestie efektywności energetycznej, czyli kontrolowanej wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła – taki mają klimat. Ponadto anegdota głosi, że gdy fiński rząd próbował rozwiązać kwestię wentylacji w szkołach, apelując do nauczycieli, by otwierali okna i wietrzyli klasy, ci się zbuntowali, twierdząc, że czynność ta nie leży w zakresie ich obowiązków zawodowych – oni mają uczyć dzieci, a wietrzyć powinny instalacje wentylacyjne.

W badaniach jakości powietrza w szkołach Finlandia wypada najlepiej. Jednak na warunki nauki wpływają i inne parametry – takie jak zbyt wysoka temperatura, hałas czy złe światło. W Szwecji z kolei raz na rok dokonuje się przeglądów technicznych wentylacji w budynkach, podobnie jak stanu technicznego samochodów (jest to wymagane przez National Board of Housing, Building and Planning, Boverket). I przekłada się to na lepiej funkcjonującą wentylację.

Natomiast w Danii minimum to 6 litrów na sekundę na osobę, a właściwie 5 litrów (ok. 20 m<sup>3</sup>/h na osobę) plus 0,35 l/s na m<sup>2</sup> klasy. W budynkach nowo wznoszonych i remontowanych warunki takie zapewnia głównie wentylacja mechaniczna. Są to przeważnie jednostki montowane w poszczególnych klasach lub obsługujące 2–3 pomieszczenia. Rzadko stosuje się rozwiązania, w których jedna duża jednostka obsługuje kilkanaście klas – jest to trudne do wykonania w budynkach remontowanych, w nowych oczywiście łatwiejsze, tym bardziej, że są to przeważnie budynki parterowe lub jednopiętrowe. Stosuje się także systemy wentylacji hybrydowej lub wentylacji wyciągowej z naturalnym nawiewem, głównie poprzez automatycznie otwierane lub uchylane okna. Nadal otwiera się okna również tradycyjnie – czyli ręcznie.

W Danii oprócz prawa budowlanego obowiązują także wymagania prawa pracy, w tym dotyczące warunków pracy nauczycieli, i mówią one o 1000 ppm jako zalecanej maksymalnej granicy oraz o 2000 ppm jako maksymalnym dopuszczalnym stężeniu. Powyżej tych wartości właściwie nie powinno się prowadzić zajęć. Prawo to nie wspomina, jaka powinna być wentylacja i jej wydajność, mówi jedynie o poziomach CO<sub>2</sub>. Regulacje warunków pracy określają też wilgotność i temperaturę, ale to już inny temat. W stosunku do szkół obowiązują zatem dwa główne źródła przepisów – prawo budowlane i prawo pracy.

## **Powstają także, zwłaszcza w dobie pandemii, branżowe zalecenia i wytyczne dotyczące wentylacji.**

Tak, i w Danii branża wentylacyjna zaczęła się szczególnie interesować także wymaganiami wobec jakości powietrza w klasach szkolnych. Obecnie tworzone są zalecenia dotyczące wentylacji, a właściwie całego klimatu wewnętrznego, bo np. także oświetlenia. Dokument taki tworzony jest przez wiele stron – branżę wentylacyjną wraz z inżynierami budownictwa i HVAC, ekspertami i firmami konsultingowymi. Będzie on wskazywał potencjalne szkody dla zdrowia i jakości procesu nauczania spowodowane niedostateczną wentylacją klas. Dostępna jest już pierwsza robocza wersja tego dokumentu i widać, że bardzo mocny akcent położono w nim na konieczność zmiany wymagań dotyczących wentylacji szkół.

## **Czy duński rząd przykładą wagę do jakości powietrza w szkołach?**

Myślę że tak, choć nasze dotychczasowe działania nie były niestety inicjatywą rządu, pomiary przeprowadzano w ramach dorocznych festiwali naukowych, jakie są organizowane w szkołach w celu promocji nauki. Dwukrotnie udało nam się wejść do klas z przesiewowymi badaniami na tak dużą skalę. Kolejne badania miały się odbyć w 2020 roku, ale z uwagi na epidemię COVID-19 zostały na razie odłożone.

Badania te na początku nie miały celu naukowego, a jedynie poznawczy. Stale pogłębiamy ich zakres i wprowadzamy kolejne parametry. Pierwsze badanie obejmowało tylko pomiar dwutlenku węgla w klasach podczas lekcji. W drugim też mierzyliśmy poziom CO<sub>2</sub>, ale uczniowie mieli możliwość przewietrzenia klasy poprzez otwieranie okien w czasie przerw. Trzecie badanie będzie szersze – planujemy np. wykonanie pomiarów oświetlenia dziennego czy prostych testów psychologicznych, żeby sprawdzić wpływ jakości powietrza i oświetlenia na zdolności uczenia się itp. W badaniach będziemy uwzględniać także systemy wentylacyjne.

Dużą rolę odgrywa tu Realdania (stowarzyszenie filantropijne działające na zasadzie samofinansowania – zwrotu z prowadzonych inwestycji), która wspiera także inicjatywy dot. badań i poprawy jakości powietrza w klasach.

## **I jak politycy zareagowali na dotychczasowe wyniki badań powietrza w szkołach?**

Kiedy przedstawiliśmy pierwsze wnioski z naszych badań, wskazujące, że dzieci w klasach bez dobrej wentylacji mogą osiągać gorsze wyniki w nauce, minister edukacji stwierdził: „niech otwierają okna”... Moi współpracownicy uczestniczyli w wielu przesłuchaniach parlamentarnych nt. jakości klimatu wewnętrznego w szkołach. Było to jednak wiele lat temu i z czasem zainteresowanie polityków tą tematyką rosło. Ale problem polega na tym, że usprawnienie wentylacji uważane jest za kosztowne i politycy nie chcą podejmować tej decyzji na szczeblu centralnym, jak też zrzucić jej na gminy, ponieważ szkoły podlegają bezpośrednio samorządom i z gminnych budżetów pochodzą środki przeznaczane na remonty szkół. A chodzi tu o bardzo duże kwoty, bo w ponad tysiącu szkół we wszystkich klasach trzeba zainstalować wentylację mechaniczną, mówimy więc o systemach wentylacyjnych do obsługi 20–30 tys. pomieszczeń.

Ale kiedy zaczęliśmy liczyć, okazało się, że koszt takiej renowacji wynosi w przeliczeniu na jednego ucznia ok. 3–4 zł dziennie – tyle co drugie śniadanie. Zatem łącznie są to kwoty ogromne, ale jednostkowo i w zestawieniu z korzyściami, jakie te wydatki przyniosą, już takie wysokie nie są. Koszty wentylacji stanowią ok. 2,5% całkowitych kosztów przypadających na jednego ucznia w 9-letnim okresie nauczania. Gdyby te koszty poniesiono wcześniej, w czasie pandemii dzieci mogłyby uczęszczać do szkoły z dobrą wentylacją, a bezpieczeństwo zwiększyłaby dodatkowo np. ich rotacyjna obecność – połowa uczniów przebywająca w klasie w maskach, a druga połowa ucząca się zdalnie. Przy takich założeniach ryzyko zarażenia się wirusem SARS-CoV-2 byłoby bardzo niskie. A gdyby zamontować jeszcze w klasach oczyszczacze z filtrami HEPA, szkoły mogłyby pozostać otwarte. Wentylacja naturalna i otwieranie okien to nie jest rozwiązanie optymalne, szczególnie w czasie pandemii. Nawet w okresie wyższych temperatur otwarcie okien w wielu miejscach nie wchodzi w grę z powodu hałasu z zewnątrz i zanieczyszczenia powietrza zewnętrznego pyłami i gazami. Systemy wentylacji mechanicznej umożliwiają filtrację pyłów, a nawet związków. W tej sytuacji te 3–4 zł na dziecko dziennie to nie jest duży koszt.

Wentylacja mechaniczna pociąga za sobą także nowe zadania. Wymaga dobrego serwisu, tak jak samochód. Ale nie jest to duży problem – szkolny woźny po przejściu instruktażu jest w stanie samodzielnie wymienić filtr, a serwisant jest potrzebny co 2–3 lata. Takich rozwiązań jeszcze nie stosuje się w Europie, oprócz wspomnianych serwisów w Szwecji, ale pandemia powinna przyspieszyć zmiany.

## **Zmiany mogą też przyspieszyć wymagania, aby nowe i remontowane budynki były niemal zeroenergetyczne. Ale jak przekonać inwestorów – samorządowców, audytorów, projektantów i wykonawców, że termomodernizacja nie powinna polegać jedynie na dociepleniu ścian**

**i wymianie okien, gdyż potęguje to tylko problem braku wentylacji i publiczne pieniądze wydawane są nieefektywnie?**

Możliwości techniczne są, barierą jest być może złe szacowanie kosztów. Widać teraz, jaką płacimy lekcję za „oszczędzanie” na dobrych rozwiązaniach, nie przewidując jego konsekwencji. Niedawno nasunęła mi się taka myśl – w nowych budynkach biurowych i publicznych wymagana jest instalacja tryskaczowa na wypadek pożaru, by wydzielić strefy i drogi ewakuacji ludzi. Statystyki mówią, że przypadki aktywacji tych systemów stanowią promile w trakcie całej żywotności budynków. Ale koszt takiej instalacji jest ogromny i nie jest to instalacja prosta – musi być wykonana i serwisowana przez specjalistów itd., jednak na nią środków nie żałujemy. A dlaczego nie zabezpieczamy się przed ryzykiem kolejnej pandemii oraz innymi konsekwencjami np. zanieczyszczenia powietrza zewnętrznego?

Systemy wentylacyjne nie są tak złożone jak przeciwpożarowe i w eksploatacji coraz tańsze – wentylatory zużywają mniej energii, odzyskujemy ciepło i chłód. W ciepłe zimy można wręcz do minimum ograniczyć ogrzewanie dzięki odzyskowi ciepła. Rozwijają się systemy zdecentralizowane, które można zainstalować w klasie i sterować poziomem CO<sub>2</sub>. Pandemia uczy nas każdego dnia coraz lepiej szacować koszty braku dobrej wentylacji.

Już samo obniżenie zachorowalności w czasie epidemii przyniosłoby ogromne oszczędności. Po powrocie dzieci do szkół pojawiłyby się kolejne oszczędności, które z zyskiem opłaciłyby nakłady na wentylację, wynikające ze zmniejszenia ryzyka innych infekcji i przewlekłych schorzeń układu oddechowego, nie tylko dzieci, ale i nauczycieli, oraz poprawy efektywności nauki i pracy. Z licznych badań, a także analiz, które przeprowadziłem niedawno wraz z zespołem, wynika wyraźny związek między stężeniem CO<sub>2</sub> (przypominam traktowanym jako wskaźnik wentylacji i jakości powietrza) i wynikami dzieci w zadaniach matematycznych i językowych, w tym na egzaminach końcowych. Symulacje wskazują, że obniżenie stężenia CO<sub>2</sub> z 2100 do 900 ppm o 12% zwiększyłoby szybkość rozwiązywania zadań, a o 2% zmniejszyło liczbę popełnianych błędów. Oszacowano także, że obniżenie stężenia z 2300 do 900 ppm poprawiłoby wyniki testów i sprawdzianów o 5%.

Reasumując, mówimy o bardzo dużych zyskach, a jednocześnie wysokich kosztach zaniechania montażu wentylacji. Przecież jeżeli przestaje działać hamulec w samochodzie, wymieniamy go. Jeśli nie działa wentylacja, także należy zainstalować działającą. Inwestycja w dobrą wentylację szybko się zwraca, zadziwia mnie wręcz, że wciąż trzeba o tym mówić i przypominać.

**Może do tych, którzy decydują, trzeba przemawiać jak do inwestorów budujących nowoczesne biurowce – owszem, trzeba trzymać w ryzach energię, ale nie za wszelką cenę, bo jeśli przyjrzymy się kosztom całkowitym funkcjonowania budynku w ciągu 20–30 lat, okaże się,**

**że na kosztach energii można zaoszczędzić 1%, ale dzięki dobrej wentylacji zyskać 10% na wydajności pracowników.**

Dokładnie o to chodzi. Podzielię się własnym doświadczeniem – w swoim domu, o powierzchni ok. 150 m<sup>2</sup>, zainstalowałem system wentylacji z odzyskiem ciepła. Zastanawiałem się wówczas, o ile więcej będę płacił za prąd, a w praktyce nawet nie zauważyłem, że rachunek wzrósł – to są minimalne koszty, bo silniki wentylatorów są bardzo wydajne. Zauważalnym wydatkiem może być praca nagrzewnicy w okresie zimowym, ale jest to koszt ogrzewania, tak samo znikomy w całkowitym bilansie.

**Może warto stworzyć specjalną aplikację dla burmistrzów, wójtów i dyrektorów szkół, która po wprowadzeniu informacji o danym obiekcie pokaże spodziewany zysk wynikający np. z mniejszej absencji nauczycieli i dzieci dzięki lepszej wentylacji w perspektywie 4 lat – co odpowiada długości kadencji.**

Powstało wiele prac naukowych wskazujących na związek jakości środowiska wewnętrznego z absencją nie tylko dzieci w szkołach, ale i opiekujących się nimi rodziców w zakładach pracy. Koszty te są bardzo wysokie i łatwo to policzyć. W jednym z badań stwierdzono np., że zwiększenie poziomu CO<sub>2</sub> o 1000 ppm odpowiada za zwiększenie absencji uczniów o ok. 10–20% w skali roku. W ramach innego z kolei określono, że poprawienie intensywności wentylacji o 1 l/s zmniejsza wskaźnik nieobecności o 1,4–1,8%. Do tego dochodzą wspomniane wcześniej liczne dowody na zależność między wentylacją a postępami w nauce oraz koszty dla rodziców i opiekunów, którzy muszą brać wolny dzień w pracy.

Tymi ogromnymi kosztami zaczynają się wreszcie interesować politycy, staramy się również przyciągnąć uwagę rodziców, którzy chętnie widzieliby jakieś rozwiązanie tego problemu, ale płacą tak wysokie podatki, że są niechętni kolejnym obciążeniom i uważają, że wprowadzenie zmian powinno być obowiązkiem gmin. Dlatego ostatnio cieszy mnie praca nad wspomnianymi wcześniej wytycznymi branżowymi dot. wentylacji w szkołach – to moim zdaniem najskuteczniejsza i najszybsza droga do zmian. Jeżeli branża przyjmie te wytyczne i staną się one standardem, według nich projektowane będą szkoły i klasy. Prace nad wytycznymi weszły w fazę końcową i myślę, że uda się je przyjąć jeszcze przed wakacjami.

**Jak ważna jest popularyzacja problemu, pokazał w Polsce Alarm Smogowy – oddolna inicjatywa, która krok po kroku sprawiła, że jako obywatele powszechnie uznaliśmy, iż mamy prawo do oddychania czystym powietrzem, a władze mają obowiązek o to dbać.**

Ważne, by nie poprzestać na doraźnych rozwiązaniach. Byliśmy jedną z pierwszych grup naukowców badających skutki braku wentylacji w szkołach. Na początku był to prosty system wizualizacji

wyników pomiarów stężenia CO<sub>2</sub> – jak światła na skrzyżowaniu, dzieci były informowane, że jak światło jest zielone, to jest OK, jak żółte, to trzeba uchylić okno, a jak czerwone, to najlepiej wyjść i przewietrzyć klasę. Takie rozwiązania testowane były także we Włoszech, Belgii i w innych krajach, budziły duże zainteresowanie mediów, bo były łatwą do zrozumienia nowinką, jednak szybko ono mijało. Systemy te nie przyjęły się choćby ze względu na koszt detektorów CO<sub>2</sub>, które teraz są już 4–5-krotnie tańsze. Szkoły nadal stoją przed alternatywą – czy wydać 500 zł na detektor na klasę, czy na dziesiątki innych również potrzebnych rzeczy. Ale gdyby policzyć, jakie straty energii powoduje samo otwieranie okien na każdej przerwie w celu przewietrzenia, taki argument mógłby być przekonujący. Doświadczenia pokazują, że półśrodki, takie jak te kolorowe detektory, nie rozwiązują problemu – musi działać automatyczna wentylacja, reagująca na zmienne warunki w pomieszczeniach i zapobiegająca stratom energii, odzyskująca ciepło lub chłód.

Inny przykład stosowania półśrodków pochodzi z Japonii, gdzie kilka lat temu próbowano zaoszczędzić energię na chłodzenie poprzez podwyższenie temperatury powietrza nawiewanego latem. Pozwolono na swobodne ubieranie się oraz stosowanie wentylatorów nabiurkowych do lokalnego chłodzenia. Badania wykazały, że koszty pracy tych wentylatorów były wyższe niż oszczędności wynikające z redukcji o parę stopni pracy centralnego schładzania. A w czasach epidemii praca wentylatorów powodujących powstawanie mocnej strugi mieszającej powietrze w pomieszczeniu może dodatkowo przenosić kropelki, które zawierają wirusa, na zdecydowanie większe odległości. Stosowanie doraźnych rozwiązań nie ma zatem sensu.

## Czy oczyszczacze powietrza – przed pandemią zyskujące popularność jako środek „antysmogowy” w polskich żłobkach czy przedszkolach – też są takim rozwiązaniem doraźnym?

Tak, stosowanie oczyszczaczy **zamiast** wentylacji to nie jest optymalne rozwiązanie, tak samo jak stosowanie wentylatorów zamiast dobrego chłodzenia. Owszem, większość oczyszczaczy usunie pyły, ale nie gazy, w tym kancerogenne. Ponadto hałasują, a na niskich strumieniach powietrza ich wydajność spada i do cichego przefiltrowania klasy potrzeba paru urządzeń. Nawiewanie powietrza oczyszczanego centralnie jest po prostu efektywniejsze. Oczywiście jeśli nie ma innych rozwiązań, należy stosować oczyszczacze powietrza. Obecnie pracujemy nad różnego rodzaju oczyszczaczami pyłów i gazów oraz rozwiązaniami do ich testowania. Polecam też przeczytać dokument prezentujący stanowisko ASHRAE nt. oczyszczaczy powietrza. Miałem zaszczyt kierować grupą opracowującą ten dokument.

## A jak jest ze stosowaniem oczyszczaczy w Danii?

Powietrze zewnętrzne jest tu wysokiej jakości, nie ma zatem bezpośredniej potrzeby stosowania oczyszczaczy. Ponadto w krajach skandynawskich stosuje się wentylację z odzyskiem ciepła

i bez recyrkulacji – mogą to być systemy wentylacji zdecentralizowanej i centralnej. W budynkach modernizowanych przeważają te zdecentralizowane, choć zdarzają się rozwiązania na maksymalnie dwie/trzy klasy z jednej jednostki. W budynkach nowych stosuje się małe jednostki dachowe, a w klasach jednostki zdecentralizowane. Projektowane są też klasy z wentylacją naturalną albo hybrydową z systemem automatycznego otwierania okien sterowanym pomiarem jakości powietrza w pomieszczeniu, czyli dwutlenkiem węgla, oraz pomiarem temperatury powietrza zewnętrznego i prędkości wiatru. Program oblicza, kiedy należy otworzyć lub zamknąć okno i kiedy uruchomić wentylator, który wymusi przepływ powietrza przez klasę. W systemach odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego trend jest taki, aby w budynkach użyteczności publicznej nie stosować wymienników obrotowych, w których dochodzi do mieszania się powietrza. Również w systemach zdecentralizowanych nie zaleca się wymienników obrotowych.

## A jakie są oczekiwania dyrektorów szkół i rodziców? W Polsce nawet otwieranie okien jest problematyczne, bo „dzieci się przeziębiają”.

Nie spotkałem się z takimi obawami, a podczas badań doświadczaliśmy raczej zainteresowania i życzliwości. Dyrektorzy szkół są bardzo otwarci na tego typu rozwiązania, oczywiście w ramach ich możliwości finansowych. Mieliśmy do czynienia z wysoką świadomością problemu jakości powietrza w klasach.

## A co jest głównym powodem remontu szkół, czy bywa nim troska o lepszą wentylację? W Polsce dominuje chęć obniżenia kosztów energii oraz odnowienia elewacji.

Nie znam takich danych, ale gdy mówimy o modernizacji szkół, to jest to termomodernizacja do takich wymagań, jakie stawiane są budynkom nowym. Są ponadto plany, by wszystkie budynki publiczne w Danii stały się z czasem niskoenergetyczne. Rząd tworzy również projekty szybkiej termomodernizacji – prace można w nich wykonywać praktycznie tylko przez dwa miesiące w roku, podczas wakacji.

Rozmawiali: Joanna Ryńska i Waldemar Joniec

## ZaFrapuj się... na jakość powietrza i efektywność energetyczną

Liczne kampanie informacyjne przyczyniły się do znacznego zwiększenia świadomości społeczeństwa w zakresie pogorszenia parametrów jakościowych powietrza w otaczającym nas środowisku. W głównej mierze nacisk kładziony jest na aspekty związane ze środowiskiem zewnętrznym. Zagadnienia dotyczące wnętrza budynków niestety są często pomijane, a przecież według różnych szacunków, spędzamy w budynkach aż 80–90% swojego czasu.

### Zainteresowanie, wiedza i doświadczenie

W naszej pracy od ponad 30 lat każdego dnia obserwujemy sektor inżynierii sanitarnej, który odnosi się nie tylko do systemów wentylacji klimatyzacji i ogrzewania, ale coraz częściej również do odnawialnych źródeł energii (OZE). Widzimy problemy i jako rodzimy producent reagujemy, tworząc innowacyjne rozwiązania, które implementujemy na obiektach. Naszym zadaniem jest nie tylko poprawiać komfort użytkownika, generować oszczędności dla inwestora, ale również działać na rzecz ochrony środowiska.

Jesteśmy zaFrapowani na poprawę jakości powietrza wewnętrznego oraz na zwiększenie efektywności energetycznej w budynkach. Nasz zespół badawczy od lat monitoruje warunki panujące w polskich placówkach edukacyjnych i wyniki pomiarów są jednoznaczne – w szkołach brakuje czystego, świeżego powietrza.

### Zanieczyszczenia powietrza

Poprawa efektywności energetycznej budynków, stymulowana ciągłymi zmianami w prawodawstwie krajowym i europejskim, wpływa na wiele parametrów, w tym między innymi na szczelność obiektów, co z kolei podnosi znaczenie efektywnego systemu wentylacji. Bez niego, u osób przebywających wewnątrz pomieszczeń, mogą pojawić się objawy syndromu chorego budynku, między innymi reakcje alergiczne lub pogorszenie samopoczucia. Niezależnie od zanieczyszczeń zawartych w powietrzu zewnętrznym, w pomieszczeniach o małej kubaturze nawet niewielkie źródła emisji szkodliwych substancji mogą w krótkim czasie prowadzić do wzrostu ich stężeń, które znacząco przekroczą te infiltrujące z zewnątrz.

Źródłami polutantów wewnątrz budynku mogą być materiały budowlane na przykład tynki, farby, ale także wyposażenie wnętrz, urządzenia, stosowane do konserwacji środki czystości oraz substancje związane z pobytem ludzi i realizowanymi procesami życiowymi. Szczególnym zagrożeniem

## ODDECH DLA SZKÓŁ

ZaFrapuj się na jakość powietrza i efektywność energetyczną.

Ogólnopolski program kompleksowej termomodernizacji placówek edukacyjnych.

### 5 kroków do termoefektywności

- ✓ Przeprowadzamy audyt remontowo-budowlany.
- ✓ Projektujemy optymalne rozwiązania dla danej placówki.
- ✓ Pomagamy zdobyć środki z funduszy celowych.  
Dofinansowanie nawet do 100%!
- ✓ Wykonujemy prace instalacyjne oraz budowlane w obiekcie.
- ✓ Doradzamy, monitorujemy i rozliczamy.



Potencjał technologiczny



Kompleksowość



Polski producent

### Zgarnij HELP BOX za darmo!

Zamów Blue AirCheck i zrób pierwszy krok do poprawy warunków w Twojej szkole. Nasz doradca powie Ci, jak pozyskać fundusze na termomodernizację.

### Skontaktuj się z nami!

+48 665 100 155

oddech@frapol.com.pl

są przenoszone drogą kropelkową bakterie i wirusy. W przypadku braku właściwej wymiany powietrza, zachowanie dystansu społecznego nie zapewni bezpieczeństwa z uwagi na narastające stężenie chorobotwórczych mikroorganizmów, których transmisja odbywa się nie tylko przez kichanie czy kaszel, ale również oddychanie czy mówienie. Badania dotyczące SARS-CoV2 wskazują, że cząsteczki mniejsze od 10 µm, w odpowiednich warunkach, unoszą się w powietrzu do trzech godzin, zwiększając ryzyko zarażenia przebywających w pobliżu osób. Aerosol większych cząstek (powyżej 60 µm) opada na podłogę w odległości 1÷2 m, stanowiąc nadal zagrożenie dla ludzi poprzez kontakt z tymi powierzchniami, na których może pozostać aktywny nawet 2÷3 dni.

## Z jakimi problemami zmagają się stare szkoły?

### A. Przegrzewanie sal:

- najczęściej orientacja południowa, największe zyski ciepła przez oszklenie;
- brak osłon przeciwsłonecznych;
- bardzo duże zyski ciepła wewnętrznego (ludzie, sprzęt);
- całkowicie nieskuteczna wentylacja naturalna.

### B. Temperatura:

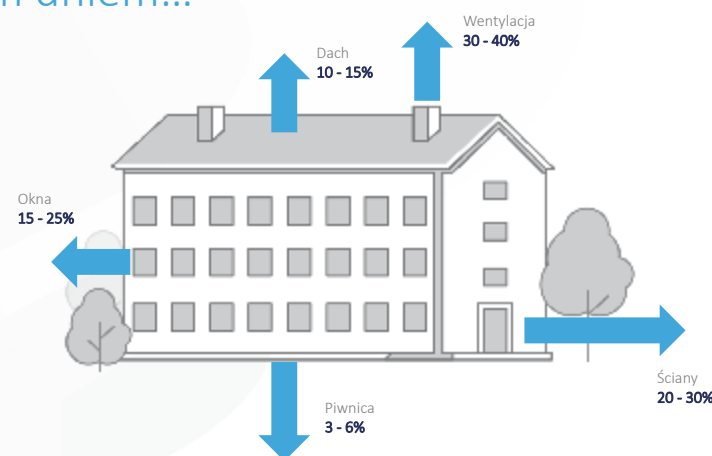
- zbyt wysoka – szybkie zmęczenie, dekoncentracja i większa podatność na choroby (przegrzewanie);
- zbyt niska – brak komfortu pracy i większa podatność na choroby (niemożność zapewnienia w pomieszczeniach temperatury co najmniej 18°C uprawnia dyrektora placówki do odwołania zajęć).

### C. Wilgotność:

## Narastające straty każdego sezonu, z każdym dniem...

### Straty energii grzewczej

Największe straty energii grzewczej w budynkach występują przez tradycyjną wentylację grawitacyjną, której nie można wyposażyć **W WYSOKOSPRAWNY SYSTEM ODZYSKU CIEPŁA!**



- zbyt niska (szczególnie zimą) – wpływa na dolegliwości nosa, gardła i oczu;
- zbyt wysoka – powoduje uczucie duszności i sprzyja rozwojowi zarodników pleśni.

### D. Prędkość powietrza:

- zbyt duża (np. w miejscu nawiewu) – może powodować przeciągi;
- zbyt mała (brak ruchu powietrza) – uniemożliwia skuteczną wentylację.

### E. Obecność dwutlenku węgla:

- powyżej 1000 ppm. powoduje narastające uczucie duszności i zmęczenia, bóle głowy, gorsze samopoczucie, spadek koncentracji, wydajności i produktywności.

### F. Brak filtracji powietrza:

- obecność zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza;
- brak usuwania bakterii, wirusów, zarodników pleśni i grzybów, pyłków, roztoczy etc.;
- obecność pyłków, których źródłem mogą być prace szkolne (np. użytkowanie papieru, kredy), kurz osiadły na elementach wyposażenia pomieszczenia czy po prostu obecność ludzi;
- obecność substancji chemicznych, szczególnie lotnych związków organicznych, pochodzących głównie z elementów wyposażenia wnętrza (np. wykładziny, meble, materiały wykończeniowe na ściany).

## zaFrapuj się oddechem

Szkoły, które rosną dzięki rozwojowi i ulepszeniom, nie zginą. Kiedy jednak szkoła przestaje być twórcza, kiedy uważa, że musi tylko uczyć – nie do końca spełnia już swoją misję. Zdajemy sobie sprawę, że trzeba poczynić duże inwestycje, na które szkoły nie mają własnego budżetu, dlatego też program ODDECH DLA SZKÓŁ daje wiele możliwości, w tym pomoc w pozyskaniu dofinansowania.

Program „ODDECH DLA SZKÓŁ” i „ODDECH DLA SPÓŁDZIELNI” (w skrócie ODS) to pełne wsparcie dla polskich placówek edukacyjnych i starszych budynków wielorodzinnych w kwestii modernizowania w sposób najbardziej korzystny dla gospodarki ze szczególnym uwzględnieniem zdrowia ich użytkowników.

To rozwiązanie dla jednostek samorządu terytorialnego, które:

- realizują plany energetyczno-klimatyczne kraju;
- potrzebują przeprowadzić świadomą termomodernizację szkół;
- posiadają wysoko energochłonne budynki;
- chcą doprowadzić budynki szkolne do standardu energetycznego „pasywnego” lub „prawie zeroemisyjnego”.

Beneficjentami programu jest również społeczność szkolna – uczniowie, nauczyciele, personel. Dzięki przeprowadzonej kompleksowej termomodernizacji polepszają się warunki nauczania, natomiast znacznie obniżają się koszty ogólne ponoszone przez szkołę.

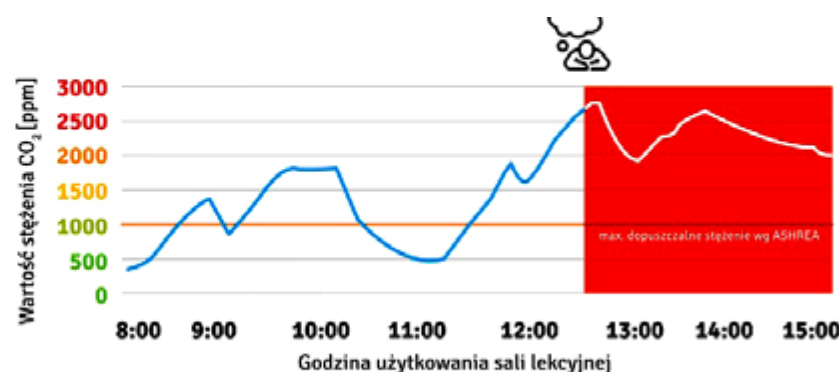
W ten sposób zaoszczędzone środki mogą zostać wykorzystane na zakup pomocy dydaktycznych lub inne przedsięwzięcia. Pośrednimi beneficjentami będą mieszkańcy miasta zamieszkujący teren, na którym znajduje się szkoła. Najważniejszą dla nich korzyścią wynikającą z realizacji programu będzie czystsze powietrze. Stań się więc częścią ODS, bo przemawiają za tym bezpośrednie rezultaty projektu.

Jeśli szkoła:

- nie ma wystarczających środków finansowych na modernizację budynku;
- nie wie, co wybrać: podstawową czy kompleksową termomodernizację;
- chciałaby zdobyć oszczędności i przełożyć je na inne działania;
- chciałaby wzmocnić prestiż i poprawić wizerunek szkoły;
- chciałaby poprawić bezpieczeństwo i komfort przebywania w szkole;
- nie ma wystarczających zasobów ludzkich i czasu do realizacji inwestycji;
- uważa, że procedury są długotrwałe i skomplikowane;
- ma wizję, ale nie ma koncepcji;
- nie ma wiedzy na temat korzyści (finansowych, zdrowotnych, inwestycyjnych, wzrostu wartości nieruchomości, komfortu płynącego z mądrej termomodernizacji);
- nie ma wiedzy na temat możliwych rozwiązań technologicznych;
- ma brak świadomości wpływu na środowisko m.in. problem jakości powietrza;
- uznaje, że to jest niska waga problemu w porównaniu do innych działań szkoły;
- nie wie, jaki jest okres zwrotu za inwestycję;
- nie jest fachowcem w zakresie budownictwa;

## Duszno, coraz duszniej... Rosnące stężenie dwutlenku węgla w klasie zagraża sprawności intelektualnej

Poziom stężenia dwutlenku węgla ma olbrzymi wpływ na zdrowie, samopoczucie i koncentrację. Badania wykazały, że w takich salach od godziny 12:30 zdolność dzieci do przyswajania wiedzy zmniejsza się.



Stężenie dwutlenku węgla w klasie lekcyjnej w Zespole Szkół Ponadgimnazjalnych nr 1 w Końskich – stan przed termomodernizacją, Styczeń 2016.

n. nie ma czasu, ale ma chęci...

...to zachęcamy do skorzystania z Programu ODS.

## Zalety programu ODS

Naszym zdaniem program ODS jest najlepszym dostępnym rozwiązaniem na rynku pod kątem kompleksowej obsługi i termo- oraz energopakietów. Dlatego warto skorzystać z BOKSÓW KORZYŚCI: społecznego, ekologicznego, ekonomicznego.

Program oferuje szereg możliwości:

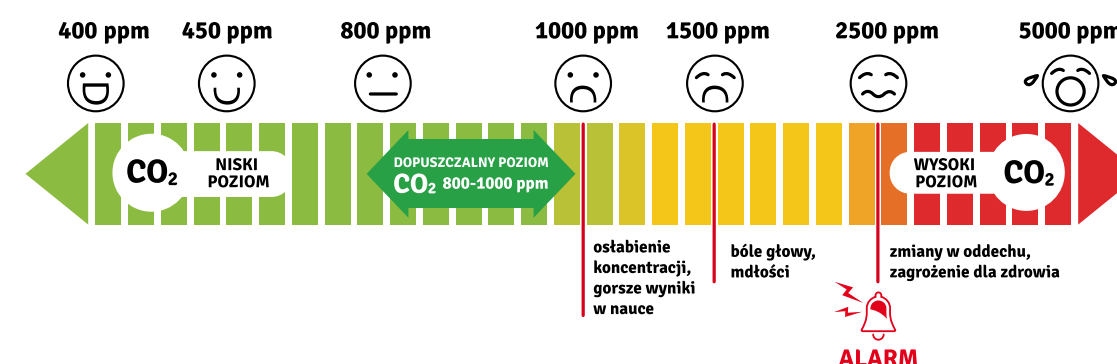
**nr 1:** prace ogólnobudowlane:

- docieplenie przegród budowlanych (ściany, fundamenty, stropy etc.) wełną, styropianem itp.;
- wymiana stolarki okiennieo-drzwiowej;
- prace ogólnobudowlane i remontowe (potencjalne przebudowy, remonty itp.).

**nr 2:** instalacje sanitarne

- wymiana/optimalizacja źródła CWU (na wysokosprawne źródła ciepła, w tym: pompy ciepła, układy trójgeneracyjne FraGATA, czyli gazowy agregat trójgeneracyjny itd.);
- wymiana/optimalizacja źródła CO (na wysokosprawne źródła ciepła, w tym: pompy ciepła, układy trójgeneracyjne FraGATA; wymiana i regulacja instalacji: zawory termostatyczne, grzejniki, maty kapilarne, ogrzewanie powietrzne itd.);
- wymiana/implementacja źródła chłodu (pompy ciepła, FraGATA, systemy sterowania klimatem itd.);
- wymiana/implementacja wysokosprawnej wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła (itd.);

## Duszno, coraz duszniej... Rosnące stężenie dwutlenku węgla w klasie zagraża sprawności intelektualnej



- implementacja systemów wytwarzających energię elektryczną (np. ogniwa PV, agregaty trigenerycyjne – FraGATA).

## nr 3: automatyka budynkowa i instalacje elektryczne

- implementacja systemów zarządzania mediami w obiekcie;
- zmiana/modernizacja oświetlenia;
- implementacja czujników/mierników komfortu (temperatura, wilgotność, ppm CO<sub>2</sub>, ppm SMOG etc.), które będą nadawały priorytety pracy globalnej automatyce;
- zdalny serwis i zarządzanie/utrzymanie obiektu;
- automatyka predykcyjna, która uczy się obiektu i zapotrzebowania z możliwością spięcia obiektów w grupy obiektów (SMART CITY):
  - modernizacja systemu wentylacji;
  - modernizacja oświetlenia wbudowanego w technologii LED;
  - docieplenie ścian zewnętrznych i dachów;
  - docieplenie stropodachów;
  - wymianę stolarki okiennej i drzwiowej;
  - rozwiązanie hybrydowe z instalacją fotowoltaiczną;
  - usługi doradcze i konsultacyjne.

Pakiety są dostosowywane w zależności od potrzeb obiektu i warunków lokalnych. W ramach programu ODS możliwe jest uzyskanie dofinansowania do termomodernizacji budynków użyteczności publicznej, ochrony środowiska i promowania odnawialnych źródeł energii.

## Oddech dla szkół – potrójna korzyść

### 1. Ekonomia w praktyce

- wpływ na obniżenie kosztów eksploatacyjnych przez odzysk energii;
- odporność na wzrosty cen energii;
- zmniejszenie obciążenia budżetu gmin;
- rzadsze serwisy instalacji;

### 2. Ekologia lokalnie

- odzysk energii cieplnej;
- redukcja zanieczyszczeń;
- utrzymanie bezpiecznego stężenia CO<sub>2</sub>.

### 3. Zdrowie każdego dnia

- ochrona uczniów i nauczycieli
- przed zanieczyszczeniami powietrza;
- poprawa warunków bytowych;

- poprawa koncentracji dzieci;
- polepszenie komfortu nauczania;
- zwiększenie bezpieczeństwa przeciwpożarowego.

## ODS w kilku krokach:

1. Audyt remontowo-budowlany.
2. Projektowanie skutecznego rozwiązania.
3. Przygotowanie wniosków o dofinansowanie z funduszy celowych.
4. Pozyskanie wsparcia finansowego, nawet do 100%.
5. Realizacja projektu.
6. Monitoring i rozliczenie.
7. Redukcja kosztów eksploatacyjnych i zdecydowana poprawa jakości powietrza.
8. Podniesienie prestiżu szkoły i gminy w zakresie ochrony środowiska w regionie.

Dołącz do innych szkół, które zafrapowały się już ODDECHEM i stań się częścią projektu.

## PRZYKŁADOWE REFERENCJE



Mareckie Centrum Edukacyjno-Rekreacyjne



Zespół Szkół Ponadgimnazjalnych w Końskich



Kampus Wielicki

\* \* \*

Możesz na bieżąco śledzić parametry powietrza w klasach. Zobacz aplikację zintegrowaną z naszą stroną internetową na przykładzie referencyjnej szkoły w Warszawie.

[www.frapol.com.pl/oddech-dla-szkol](http://www.frapol.com.pl/oddech-dla-szkol)

Frapol Sp. z o.o.  
ul. Mierzeja Wiślana 8, 30-832 Kraków  
tel. +48 665 100 155  
e-mail: [oddech@frapol.com.pl](mailto:oddech@frapol.com.pl)  
[www.frapol.com.pl](http://www.frapol.com.pl)



## Powszechna wentylacja dla szkół i domów

O tym, jak ważna jest dostateczna ilość zdrowego powietrza w pomieszczeniach, wiemy od dawna i m.in. pod tym kątem tworzone były przepisy dotyczące warunków technicznych dla budynków. Tworzą one spójną całość w odniesieniu do wentylacji i ogrzewania po to, by budynki były niemal zeroenergetyczne. Potrafimy już dobrze izolować, najwyższy czas upowszechnić dobrą wentylację.



Od początku br. obowiązują nowe wymagania dotyczące wartości wskaźnika energii pierwotnej EP i żeby je spełnić, nie można stosować dotychczasowych tradycyjnych rozwiązań projektowych dla ogrzewania i wentylacji budynków. Szczelnie izolowane termicznie budynki potrzebują mniej energii na ogrzewanie, ale jednocześnie wymagają kontrolowanej wentylacji mechanicznej, najlepiej z odzyskiem ciepła. Zapewniają to centrale wentylacyjne nawiewno-wywiewne z odzyskiem ciepła wentylacyjnego (rekuperatory). **Przed tymi urządzeniami rysuje się świetlana przyszłość – powstające domy jednorodzinne bez mechanicznej wentylacji kontrolowanej z odzyskiem ciepła to świadome marnowanie energii, rezygnacja z komfortu i w wielu regionach kraju narażanie mieszkańców na złą jakość powietrza wewnętrznego. I tak należy to ujmować w relacjach architekt – projektant – inwestor.**

Ale nowe domy to nie największy problem. Prawdziwym wyzwaniem są budynki istniejące, które powinny zostać w najbliższych dwóch-trzech dziesięcioleciach zmodernizowane. Zdecydowana większość starych budynków, zwłaszcza wielorodzinnych i publicznych, w tym szkół i przedszkoli, ma archaiczną wentylację, która nie zapewnia dostatecznej wymiany powietrza. A nawet jeśli ta wymiana się odbywa, nie umożliwia uzdatnienia napływającego, zapyłonego powietrza oraz odzysku energii (ciepła i chłodu) z powietrza usuwanego. Po ociepleniu budynków sporo oszczędzamy na ogrzewaniu, ale jeszcze nawet 40% jego kosztów można zaoszczędzić, kontrolując wentylację i odzyskując energię.

Nawet rząd dał się przekonać, że czas potraktować serio aktualne wymagania techniczne dla wentylacji w budynkach. Przekonały go do tego m.in. takie akcje społeczne, jak „Alarm smogowy” czy „Oddech dla szkół”, a także stały nacisk ze strony ekspertów zajmujących się audytami energetycznymi oraz naukowców, m.in. z Politechniki Warszawskiej oraz Poznańskiej, badających skuteczność wentylacji i skutki zdrowotne, jakie powoduje jej brak.

Przykładowo SmogLAB wraz z Krakowskim Alarmem Smogowym przeprowadził w 2018 roku pomiary jakości powietrza w szkołach w podkrakowskiej gminie Zabierzów pod kątem pyłów zawieszonych PM10. W tym wypadku zła jakość powietrza na zewnątrz budynku (smog) przekładała się na złą jakość powietrza w klasach, nawet przy nieobecności uczniów w szkole, brakowało zatem kontroli wentylacji i filtracji powietrza nawiewanego. Natomiast gdy dzieci były obecne, do pyłów z zewnątrz dochodził wysoki poziom CO<sub>2</sub>, powodujący spadek koncentracji i efektywności nauczania. A przy braku wentylacji rośnie również koncentracja wirusów, bakterii i zarodników grzybów. Codzienna wielogodzinna styczność z powietrzem złej jakości wywołuje zmiany w pracy organizmu i sprawia, że dzieci nie mogą maksymalnie wykorzystać swojego potencjału, a nawet przysypiają na lekcjach. Do tego dochodzą „wyziewy” z mebli i wykładzin – z informacji opublikowanych przez WHO wynika, że w powietrzu, którym oddychają w szkołach polscy uczniowie, wykryto jeden z najwyższych w Europie poziomów stężeń formaldehydu i benzenu (przyczyna m.in. powstawania nowotworów).

W obliczu tych faktów, stale podnoszonych przez różne organizacje i środowiska, przykładowo Narodowe Centrum Badań i Rozwoju stawia na technologie, które mają zapewnić dostęp do świeżego powietrza w szkołach i mieszkaniach w budynkach wielorodzinnych. Ogłoszony przez tę instytucję program „Wentylacja dla szkół i domów” miał na celu wspieranie technologii dla budynków istniejących, czyli rozproszonych systemów wentylacji, montowanych osobno w poszczególnych klasach i mieszkaniach. Środki zostały przeznaczone na „opracowanie innowacyjnych, efektywnych ekonomicznie technologii wentylacji mechanicznej z regulacją temperatury powietrza nawiewanego, przeznaczonych dla istniejących już budynków mieszkalnych i szkół”. Mają one gwarantować wysoką jakość powietrza poprzez obniżanie poziomu stężenia CO<sub>2</sub> oraz zanieczyszczeń mikrobiologicznych, a także filtrację zanieczyszczeń pyłowych PM2,5 i PM10. Cele wentylacyjne mają być realizowane przy jednoczesnym zmniejszeniu zapotrzebowania na energię do ogrzewania

i chłodzenia pomieszczeń, co zapewni funkcja odzysku ciepła, chłodu i wilgoci. Powstaną również technologie konieczne do realizacji unijnej strategii Fali renowacji, czyli powszechnego planu termomodernizacji budynków. NCBR premiował systemy rozproszone, które będą też pełnić funkcje edukacyjne i budować świadomość użytkowników w zakresie potrzeby utrzymywania wysokiej jakości środowiska wewnętrznego poprzez dostarczanie informacji o mierzonych parametrach powietrza wewnętrznego na elektronicznych tablicach wyników oraz w aplikacji mobilnej.

NCBR wymaga, by nowe technologie wentylacji dla szkół i budynków mieszkalnych służyły również obniżeniu ich energochłonności. Systemy wentylacji mają być zintegrowane poprzez system automatyki m.in. z zaworami grzejnikowymi w celu unikania przegrzewania się pomieszczeń zimą. Budynki mają zostać także wyposażone w systemy centralnego zarządzania – mają być budynkami inteligentnymi, które informują nie tylko administrację, ale i firmy serwisowe. Celem jest racjonalne gospodarowanie energią do ogrzewania i wspieranie odchodzenia od spalania paliw kopalnych w ciepłownictwie. Wojciech Kamieniecki, dyrektor Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, deklaruje: *Chcemy, żeby takie urządzenia znajdowały się w naszym kraju w każdej klasie i każdym mieszkaniu, które wymaga poprawy jakości powietrza.*

Producenci, którzy przystąpili do programu (nabór zakończył się 30 czerwca 2021 r.), mają 3 lata na opracowanie innowacyjnej technologii niedostępnej obecnie na rynku – odrębnie dla wentylacji sal lekcyjnych oraz lokali mieszkalnych.

Jak na tak ważne działanie, którego efektem mają być innowacyjne technologie stosowane następnie powszechnie i przez dziesięciolecia, dziwi krótki okres przyjmowanie zgłoszeń. Ponadto warto przy tej okazji wprowadzić szybkie zmiany w WT, które usuną ograniczenia dotyczące stosowania wentylacji zdecentralizowanej ściennej – chodzi o wymagania dla czerpni i wyrzutni, które ograniczają stosowanie urządzeń wentylacji decentralnej ze zintegrowanymi czerpnio-wyrzutniami ściennymi [1]. Rewizji wymagają również regulacje dot. oceny efektywności energetycznej takich systemów w obliczeniach charakterystyki energetycznej budynków. Inaczej działania NCBR tracą sens – po co tworzyć technologie, których stosowanie ograniczają obecne przepisy budowlane i nie są należycie premiowane w ocenie energetycznej budynku?

Tymczasem w segmencie central wentylacyjnych dla modernizowanych budynków **producenci stale pracują nad nowymi rozwiązaniami** – są to małe, kompaktowe centrale podwieszane i naścienne oraz wspomniane wcześniej urządzenia ściennie o zintegrowanej czerpnio-wyrzutni. Drugi kierunek działań producentów to **uzupełnianie oferty central o kompletne systemy dystrybucji powietrza** – ten kierunek rozwija się także pod wpływem produktów opracowywanych przez firmy specjalizujące się dotychczas w produkcji przewodów z tworzyw. Ich doświadczenia z tworzenia łatwych w montażu systemów instalacji wodnych i kanalizacyjnych są wdrażane do instalacji wentylacyjnych. To przede wszystkim kompatybilność elementów – system składa się z 4–5 elementów

łatwo konfigurowanych w całość instalacji. Kolejne nowe rozwiązanie to montaż elementów instalacji na „click” – nie trzeba specjalistycznych narzędzi i wykonuje się to bardzo szybko. Producenci zadbali również o klasy szczelności i powłoki biobójcze. Dostępne są systemy, które nie wymagają kolanek, bo rury są elastyczne i łatwo je formować i czyścić. Przewody i skrzynki rozdzielcze mają niewielkie rozmiary i można je ukryć w stropie lub w suficie podwieszanym. Wraz z centralą z odzyskiem ciepła oraz systemem sterowania tworzy to pełną ofertę.

Bardzo interesującym kierunkiem **w kontekście perspektywy elektryfikacji ogrzewania** oraz zmian w pracy instalatorów jest połączenie paru urządzeń w jeden kompaktowy system wentylacji, chłodzenia i przygotowania ciepłej wody wspomagany ciepłem z powietrza wywiewanego oraz ogrzewania centralnego wodnego zasilanego powietrzną lub gruntową pompą ciepła. Urządzenia te mają gabaryty sprzętu AGD (są łatwe w transporcie i wnoszeniu) i gotowe przyłącza. O ich potencjale może też zdecydować fakt, że mają one już gotowe sterowniki panujące nad całością, czyli centra efektywności energetycznej budynku, które zarządzają komfortem i zużyciem energii. W połączeniu z instalacjami prosumenckimi PV wpiętymi w inteligentne sieci elektroenergetyczne wygląda to na przyszłość budownictwa i ogrzewania oraz wentylacji inteligentnych budynków – a do takich zmierzamy.

Przez najbliższe dziesięciolecia instalatorzy nie będą narzekać na brak pracy – trzeba będzie zmodernizować instalacje c.o. i wdrożyć systemy wentylacji mechanicznej w milionach istniejących budynków. **Będzie się zatem liczyć czas montażu i jego łatwość oraz modułowość rozwiązań.** Również w nowych budynkach przewagę na rynku będą zdobywały kompletne systemy do wentylacji i ogrzewania, montowane na zasadzie, do której przyzwyczailiśmy się w komputerach, a w technice instalacyjnej zwanej „plug and go”.

Na rynku widać też rozwój nowych firm i marek, które zaczynały w fotowoltaice, a obecnie oferują pompy ciepła i rekuperatory wraz z systemami sterowania, co jest według prognoz docelowym standardem inteligentnych domów zero- i plusenergetycznych.

To, że takie trendy i plany są elementem działań i strategii całej Wspólnoty Europejskiej oraz praktycznie całego globu, daje nadzieję na realizację tych zamierzeń. Tym bardziej, że dobra wentylacja zaczyna być doceniana i po prostu się opłaca, tak jak zeroenergetyczne domy. Jest to co prawda plan pracy także dla naszych dzieci i ich dzieci, ale my zrealizujemy przynajmniej swoją część.

Waldemar Joniec

## Literatura

1. Amanowicz Łukasz, Ratajczak Katarzyna, Szczechowiak Edward, *Stosowanie rekuperatorów ściennych w budynkach nowych i modernizowanych ciepłocie w świetle aktualnych wymagań prawnych*, „Rynek Instalacyjny” 11/2019, <http://www.rynekinstalacyjny.pl/arttykul/id4877, stosowanie-rekuperatorow-sciennych-w-budynkach-nowych-i-modernizowanych-cieplocie-w-swietle-aktualnych-wymagan-prawnych>

## Wytyczne branżowe – zdrowy klimat w pomieszczeniach szkolnych

**We wrześniu 2021 r. Duński Uniwersytet Technologiczny opublikował wytyczne branżowe dotyczące klimatu wewnętrznego w szkołach, będące efektem wielu lat pracy szerokiego grona ekspertów i naukowców. Dokument wskazuje, dlaczego kwestia klimatu w pomieszczeniach szkolnych jest ważna, i zawiera m.in. wskazówki dotyczące pomiaru i oceny parametrów jakości powietrza wewnętrznego. Przewodnik ten może pełnić funkcję scenariusza działań szkoły lub gminy w dążeniu do poprawy klimatu w pomieszczeniach, np. w związku z renowacją. Jest to też wspólny punkt odniesienia dla wszystkich uczestników procesu renowacji lub budowy – od inwestorów, przez architektów i konsultantów oraz projektantów, po wykonawców i eksploataatorów.**

**Z**drowy klimat w pomieszczeniach jest warunkiem niezbędnym do spełnienia podstawowej funkcji szkoły, jaką jest zapewnienie uczniom najlepszych warunków do nauki. Nowe wytyczne branżowe mogą zostać zastosowane zarówno przy projektowaniu nowych budynków szkolnych, jak i w procesie renowacji. We wstępie do wytycznych podkreśla się, że są one istotne zarówno dla deweloperów, jak i projektantów, ale też samorządów lokalnych. Poradnik jest pomocny w określaniu wymagań dotyczących klimatu w pomieszczeniach oraz w procesie projektowania. Przewodnik został tak opracowany, aby mogli z niego korzystać wszyscy specjaliści, niezależnie od doświadczenia w określaniu konkretnych wymagań, przyjmowaniu założeń projektowych czy danych wejściowych do obliczeń.

Dobry klimat wewnętrzny w szkołach zależy od wielu parametrów, takich jak odpowiednie oświetlenie elektryczne, światło dzienne, środowisko akustyczne, a także ochrona przed przegrzewaniem przez słońce oraz sprawna wentylacja i ewentualne chłodzenie w celu utrzymania komfortu termicznego w klasach. Sale lekcyjne stanowią jedno z największych wyzwań projektowych w zakresie klimatu wewnętrznego, gdyż wymagają uwzględnienia wielu zmiennych wpływających na poziom komfortu i tym samym na zdrowie i samopoczucie uczniów oraz nauczycieli.

Wytyczne zawierają również niezbędną wiedzę, która jest szczególnie przydatna dla samorządów przy ustalaniu priorytetów w ich budżetach. Pomagają zaplanować zakres remontów lub budowę nowych szkół. Pokazują, dlaczego podczas przyjmowania budżetów dla inwestycji i remontów kwestie klimatu w pomieszczeniach szkolnych powinny mieć wysoki priorytet. Udowodniono bowiem naukowo, że istnieje wyraźny związek między klimatem w szkołach a jakością pracy i postępami w nauce uczniów.

Przestroga dla samorządowców może być fakt, że wiele szkół zostało już wyremontowanych, ale klimat w ich pomieszczeniach się nie poprawił. Duńskie badania wskazują, że priorytetem działań modernizacyjnych było często zmniejszenie zużycia energii i wpływu na środowisko. Skupienie się tylko na obniżeniu zużycia energii prowadzi do tego, że w klasach panują zbyt niskie temperatury zimą, a zbyt wysokie latem lub za mała jest wymiana powietrza. Priorytetem powinien być odpowiedni klimat w pomieszczeniach, gdyż najważniejszą funkcją szkoły jest zapewnienie uczniom najlepszych warunków do nauki. Na to zadanie wpływa wiele elementów, takich jak kompetencje nauczycieli, metody nauczania i pochodzenie społeczne. Jednak naukowo udowodniono, że istnieje również związek między klimatem w szkołach a wynikami w nauce uczniów. Zły klimat w pomieszczeniu wpływa na osiągnięcia uczniów i możliwość przyswajania przez nich nowej wiedzy. Ten udowodniony naukowo wpływ sięga 10% spadku wydajności nauczania – a to praktycznie strata jednego roku nauki w duńskiej dziewięcioletniej szkole podstawowej. Priorytetowe traktowanie jakości klimatu w pomieszczeniach szkolnych jest zatem dobrą inwestycją społeczno-ekonomiczną i oprócz lepszego wykształcenia i samopoczucia zmniejsza absencję z powodu chorób zarówno wśród uczniów, jak i nauczycieli.

Autorzy wytycznych podkreślają, że jest to narzędzie dla gmin, pozwalające im dostrzec znaczenie jakości klimatu w pomieszczeniach szkolnych i umieścić je wśród priorytetów nowych inwestycji oraz modernizacji szkół. Wytyczne zawierają bowiem m.in. konkretną wiedzę na temat wpływu jakości klimatu w pomieszczeniach szkolnych na wydajność edukacji i ukazują związki między wydatkami na energię a klimatem wewnętrznym. Wiedza ta jest kluczowa dla polityków i samorządowców podczas przeznaczania funduszy zarówno na nowe inwestycje, jak i na renowacje, także w kontekście dążenia do zrównoważonego rozwoju i oszczędności energii.

Zużycie energii jest kluczowym wyzwaniem w szkołach w odniesieniu do klimatu w pomieszczeniach. Nie może być jednak stawiane ponad warunkiem wstępnym dobrego i efektywnego nauczania, jakim jest jakość środowiska wewnętrznego. To środowisko powinno być zaprojektowane z uwzględnieniem możliwie najniższego zużycia energii, ale należy szukać równowagi, by nie odbyło się to kosztem jakości klimatu wewnętrznego.

Eksperti przygotowujący poradnik podkreślali podczas jego prezentacji, że doświadczenie z inwestycji i remontów pokazuje, iż w wielu przypadkach przyjmuje się niewłaściwe założenia – np. za małe parametry dla jednej osoby lub całkowicie nieuzasadnione zakresy wentylacji, tak aby jak najbardziej zminimalizować zużycie energii. Wskazują też, że z doświadczeń eksploatacyjnych i szczegółowych analiz wynika, iż aby utrzymać optymalny poziom jakości klimatu wewnętrznego w nowych szkołach, przez cały rok sięgać trzeba po chłodzenie powietrza. To zaś jest postrzegane przez wiele gmin jako działanie niepasujące do zrównoważonego rozwoju i dbałości o środowisko.

Natomiast zdaniem ekspertów chłodzenie jest często najbardziej efektywnym energetycznie sposobem rozwiązania problemu jakości klimatu wewnętrznego.

Wytyczne składają się z czterech zasadniczych części. Pierwsza zawiera wprowadzenie, które wyjaśnia, dlaczego klimat panujący w pomieszczeniach jest tak ważny w szkołach i jakie są związki pomiędzy klimatem wewnętrznym a zrównoważonym rozwojem, zużyciem energii i kosztami. Zawiera bardzo dobrze udokumentowane zależności pomiędzy jakością klimatu wewnętrznego (m.in. temperatura, jakość powietrza) a wynikami uczniów w nauce. Ta część wytycznych jest przeznaczona dla wszystkich zainteresowanych uzyskaniem argumentów przemawiających za dobrym klimatem w pomieszczeniach szkolnych. Jest ona skierowana zwłaszcza do administracji samorządowej odpowiedzialnej za szkolnictwo, w tym za inwestycje i remonty, a także do radnych (szczebel polityczny), którzy decydują o budżetach i funduszach samorządowych. Wiedza ta jest też cenna w bieżących działaniach eksploatacyjnych administracji samorządowej.

W drugiej części znajdują się specyfikacje wymagań dla klimatu wewnętrznego w szkołach – dla klas lekcyjnych i zajęć grupowych. Zostały w niej omówione założenia projektowe i obliczeniowe oraz wymagania i wyjaśnione pojęcia. To część przeznaczona szczególnie dla architektów i projektantów, którzy dokonują wyboru koncepcji budynku i wymagań dotyczących klimatu w pomieszczeniach.

W trzeciej części podano sposoby osiągnięcia dobrego klimatu wewnętrznego w szkołach. Są w niej opisane parametry projektowe wpływające na komfort cieplny i zużycie energii oraz cechy różnych rozwiązań wentylacyjnych, chłodzenia, ochrony przeciwsłonecznej i projektowania oświetlenia oraz wyboru elewacji. To część szczególnie ważna dla projektantów dokonujących wyboru rozwiązań dotyczących klimatu wewnętrznego oraz specjalistów zajmujących się eksploatacją.

Czwarta część zawiera opis procesu tworzenia dobrego klimatu wewnętrznego w szkołach. Jest w niej ścieżka weryfikacji na każdym etapie tego, co jest ważne dla projektanta i inwestorów, aby zapewnić dobry klimat w pomieszczeniach. To część szczególnie ważna dla tych specjalistów, którzy dokonują wyborów w procesie inwestycyjnym i projektowym, pokazująca, jak te wybory mogą wpływać na jakość klimatu wewnętrznego w pomieszczeniach szkolnych.

Autorzy wytycznych podkreślają, że każda budowa czy renowacja odniesie sukces, o ile zostanie dobrze zaplanowana. Nie ma jednego wzorca pasującego do wszystkich szkół, gdyż każdy przypadek zależy od konkretnej sytuacji oraz złożoności i zakresu inwestycji budowlanej, jej uczestników oraz ich wiedzy, a także kompetencji, a ponadto od horyzontu czasowego i możliwości finansowych inwestora. Jest jednak pewien scenariusz uniwersalny, obejmujący powtarzające się cechy charakterystyczne i etapy podejmowania decyzji o wyborze rozwiązań. Zapewnienie dobrego klimatu w pomieszczeniach szkolnych jest bardzo złożone. Wzorzec użytkowania i obciążenie w salach lekcyjnych są bardzo zmienne, wręcz ekstremalne. Miesięczne zyski ciepła od ludzi i urządzeń są w praktyce porównywalne tylko z najbardziej skomplikowanymi pomieszczeniami

w budownictwie komercyjnym, takimi jak mocno zatłoczone sale konferencyjne czy pomieszczenia call center itp.

Wytyczne wieńczy dodatek, w którym znajdują się praktyczne wskaźniki do wykorzystania w procesie projektowania oraz materiały zawierające warunki wstępne do przeprowadzenia symulacji termicznych klimatu wewnętrznego.

Stan szkół a wytyczne branżowe

Większość klas szkolnych w Danii pochodzi z lat 1950–1980, kiedy to pojawiły się masowe inwestycje w budynki szkolne. Ponad 80% wykorzystywanych szkół wybudowano przed 1982 rokiem, kiedy to po raz pierwszy wprowadzono wymagania dotyczące poziomów izolacji, a tylko 10% istniejących szkół zostało wybudowanych po 1995 roku, kiedy w budynkach wprowadzono wymagania dotyczące wentylacji.

Tabela. Przegląd zaleceń dla wybranych czynników wpływających na klimat pomieszczeń i wymagań z przepisów budowlanych oraz ich zmiany od lat 80. XX w.

| 1980                                                                                             | 1990                                                                                             | 2020                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brak wymagań dotyczących wentylacji w szkołach                                                   | Wentylacja z wymianą 5,0 l/s (18 m³/h) na osobę                                                  | Maksymalne stężenie CO <sub>2</sub> 1000 ppm i wentylacja z wymianą 9,4 l/s (33,8 m³/h) na osobę                                                                                                                    |
| Brak wymagań dotyczących temperatur wewnętrznych                                                 | Wymagania dotyczące temperatury wewnętrznej zawarte w przepisach budowlanych                     | Badania pokazują, że wysokie temperatury w pomieszczeniu negatywnie wpływają na naukę                                                                                                                               |
| Prymat skupiania się na świetle dziennym                                                         | Wymóg dla światła dziennego: przeszklenie 10% względem całkowitej powierzchni podłogi            | Wymóg dla światła dziennego: przeszklenie 10% względem całkowitej powierzchni podłogi, skorygowane o zacienienie lub 300 luksów sDA<br>■ Zwiększona powierzchnia przeszklenia                                       |
| Czas pogłosu < 0,9 s plus wymagania dla pomieszczeń edukacji specjalnej z czasem pogłosu < 0,6 s | Czas pogłosu < 0,9 s plus wymagania dla pomieszczeń edukacji specjalnej z czasem pogłosu < 0,6 s | Czas pogłosu < 0,6 s<br>■ Czyli większe tłumienie akustyczne, a tym samym mniejszy bufor temperatury w budynku (z powodu mniejszej masy i akumulacji ciepła)                                                        |
| Zalecenie skoncentrowania się na utracie ciepła                                                  | Zalecenie skoncentrowania się na zużyciu energii                                                 | Zalecenie skoncentrowania się na zużyciu energii i zużyciu zasobów                                                                                                                                                  |
| Chłodzenie wymaga zezwolenia (reglamentowane)                                                    | Chłodzenie może być stosowane, gdy inne środki nie są wystarczające                              | Chłodzenie jest uwzględnione na równi z innymi działaniami. Wydajność jest wyznaczana przez wymagania dotyczące zużycia zasobów i energii                                                                           |
| Beton i cegły stanowią dużą część budynków<br>■ Tym samym duże bufony do akumulacji ciepła       |                                                                                                  | Ekonomia i nacisk na zasady zrównoważonego rozwoju prowadzą do użycia lżejszych materiałów w budynkach<br>■ Konsekwencją jest mały bufor do akumulacji ciepła                                                       |
| Zalecana liczba uczniów w klasie: poniżej 19 (folkeskolen.dk, 2012)                              |                                                                                                  | Zalecana liczba uczniów w klasie: do 22<br>■ Odsetek uczniów, którzy uczęszczają na zajęcia w klasach z co najmniej 25 uczniami, wzrósł z 17% w 2010 r. do 28% w 2019 r. (Duńskie Stowarzyszenie Nauczycieli, 2019) |

Zagadnienia klimatu wewnętrznego zaczęły pojawiać się w przepisach budowlanych w latach 80. XX wieku. W wielu obszarach wymagania dotyczące sal lekcyjnych wzrosły, zarówno w odniesieniu do klimatu wewnętrznego, jak i liczby uczniów, i było to w czasie, gdy wprowadzono bardziej rygorystyczne wymogi dotyczące zużycia energii i zasobów. Ewolucję wybranych zmian zawiera **tabela**.

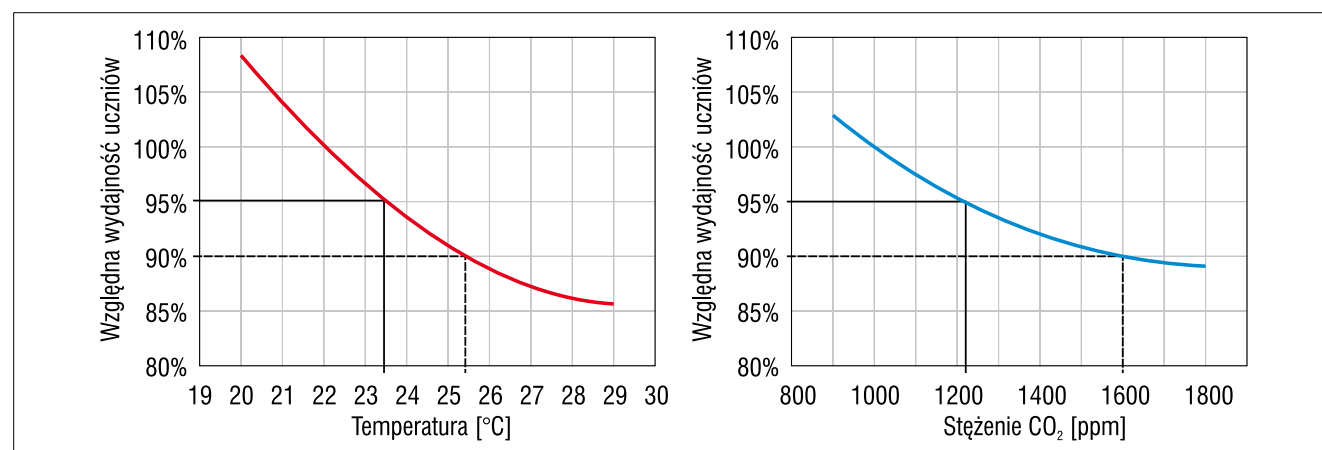
Autorzy wytycznych wskazują, że pomimo różnic pomiędzy budynkami szkolnymi sposoby ich użytkowania i obciążenie klas są bardzo podobne – zatem wytyczne te mają wielką wartość społeczną. Stanowią narzędzie odnoszące się wyłącznie do sal lekcyjnych oraz zajęć grupowych i obejmują cały proces, od prezentacji koncepcji do eksploatacji. Dotyczą zatem tych obszarów w szkołach, w których uczniowie przebywają najczęściej.

Wymagania dotyczące klimatu wewnętrznego dla pomieszczeń specjalistycznych, takich jak pracownie fizyki i chemii, muzyczne, sportowe oraz kuchnie i stołówki, mają szczególny charakter, dlatego projekty i wymagania dla nich dotyczące klimatu wewnętrznego należy traktować oddzielnie.

Poradnik zwraca uwagę, że w procesie inwestycyjnym i modernizacyjnym trzeba uwzględnić fakt, iż formy nauczania w szkołach stale ewoluują. Występuje tendencja do redukcji tradycyjnego nauczania w klasie na rzecz zwiększania pracy grupowej i zmian form zajęć w ciągu dnia szkolnego. Ma to wpływ zarówno na wystrój wnętrz, jak i obciążenie poszczególnych pomieszczeń.

## Wytyczne a jakość powietrza wewnętrznego i komfort temperaturowy

Autorzy wytycznych opierają się na danych zaczerpniętych z wieloletnich badań naukowych (m.in. [1, 2]). **Rysunek 1** ilustruje związek między wydajnością uczniów a zmianami temperatury i stężenia  $\text{CO}_2$  w pomieszczeniu. Po jego lewej stronie widać, że jeśli temperatura w pomieszczeniu wzrośnie z  $22^\circ\text{C}$  (wartość bazowa, dla której wydajność wynosi 100%) do  $23,5^\circ\text{C}$ , to wydajność uczniów spada do 95%, a jeśli temperatura wzrośnie do  $25,5^\circ\text{C}$ , to wydajność spada do 90%. Jeśli temperatura w klasach zostanie obniżona do prawie  $20,7^\circ\text{C}$ , wydajność wzrasta do 105%.



**Rys. 1.** Wydajność uczniów w zależności od zmian poziomu temperatury i stężenia  $\text{CO}_2$  w klasach szkolnych  
Źródło: Branchevejledning for indeklima i skoler, Udgiver Teknologisk Institut, 2021, na podstawie Wargocki i in. [1, 2]

Z kolei po prawej stronie widzimy, że gdy stężenie  $\text{CO}_2$  w klasie wzrasta z 1000 ppm (wartość bazowa, dla której wydajność wynosi 100%) do 1220 ppm, to następuje spadek wydajności uczniów ze 100 do 95%, a gdy stężenie  $\text{CO}_2$  osiąga 1600 ppm, to wydajność uczniów spada do 90%. Z kolei obniżenie stężenia  $\text{CO}_2$  do 900 ppm skutkuje wzrostem wydajności uczniów do poziomu 103%. Istnieją też dowody na to, że obniżenie temperatury o  $1^\circ\text{C}$  ma większy efekt niż obniżenie stężenia dwutlenku węgla o 100 ppm.

Autorzy wytycznych podkreślają, że zależności te są bardzo ważną wskazówką do projektowania i określania optymalnej temperatury i stężenia  $\text{CO}_2$  w klasach. Badania naukowe [1, 2] wskazują, że optymalna temperatura dla dzieci jest niższa niż dla dorosłych i wynosi  $20\text{--}21^\circ\text{C}$ , co przez większość dorosłych (nauczycieli) jest odbierane jako warunki niekomfortowe. Rzeczywista temperatura panująca w klasie powinna być kompromisem między postrzeganiem komfortu przez obie strony.

Z ekonomicznego punktu widzenia dalsze obniżanie stężenia  $\text{CO}_2$  do wartości poniżej 900 ppm poprzez zwiększanie intensywności wentylacji jest znacznie droższe niż przy wyższych stężeniach. Tak samo obniżanie temperatury poniżej  $22^\circ\text{C}$  poprzez chłodzenie powietrza wymaga wyższych nakładów energii niż obniżanie w wyższym zakresie poziomu temperatur.

Zaprezentowane w wytycznych dane wskazują jednoznacznie, że należy się skupić na zapewnianiu sprawnej wentylacji dla redukcji  $\text{CO}_2$  oraz chłodzenia w salach lekcyjnych w gorących okresach roku, kiedy wentylacja samym powietrzem zewnętrznym nie wystarcza do utrzymania niskiej temperatury.

Autorzy wytycznych przyznają, że nie zbadano jeszcze, w jaki sposób połączenie obu czynników, czyli wysokiej temperatury i niskiej wymiany powietrza, wpływa na wydajność uczniów, ale wiele wskazuje, że obniża się ona bardziej, niż gdyby oddziaływał na nią tylko jeden z tych czynników. Ale to, jak wygląda ta zależność – czy się sumuje, czy może pomnaża – nie zostało jeszcze zbadane.

Oprac. red. na podst.

Branchevejledning for indeklima i skoler, Udgiver Teknologisk Institut, 2021,  
<https://www.teknologisk.dk/branchevejledning-for-indeklima-i-skoler/43383>

## Literatura

- Wargocki Paweł, Porras-Salazar Jose Ali, Contreras-Espinoza Sergio, *The relationship between classroom temperature and children's performance in school*, „Building and Environment” 157, 2019
- Wargocki Paweł, Porras-Salazar Jose Ali, Contreras-Espinoza Sergio, Bahnfleth William, *The relationships between classroom air quality and children's performance in school*, „Building and Environment” 173, 2020
- Dobra wentylacja w szkołach wcale nie jest droga, rozmowa z prof. dr. inż. Pawłem Wargockim (Technical University of Denmark), „Rynek Instalacyjny” 4/2021, <http://www.rynekinstalacyjny.pl/artikel/id5305,dobra-wentylacja-w-szkolach-wcale-nie-jest-droga>

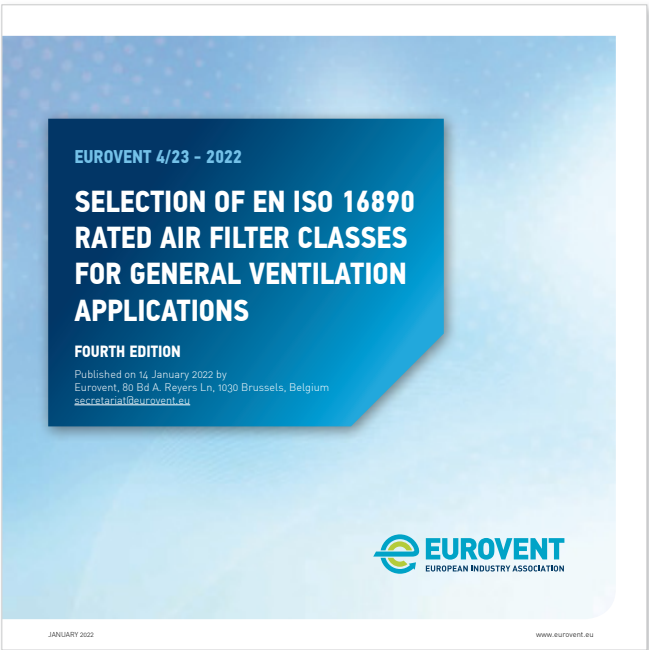
## Jakość powietrza w szkołach i biurach w świetle nowych wytycznych WHO

Środowiska naukowe zajmujące się jakością i ochroną środowiska, w tym lekarskie, z zadowoleniem przyjęły zmianę po 16 latach wytycznych WHO dotyczących jakości powietrza zewnętrznego. Nowe zalecenia powinny się przełożyć na większą popularność wentylacji mechanicznej i filtracji powietrza w obiektach, w których spędzamy najwięcej czasu i gdzie powinniśmy być najbardziej wydajni – zwłaszcza w zakładach pracy, biurach i szkołach.

Zanieczyszczenie powietrza – zarówno atmosferycznego, jak i wewnętrznego – odpowiada za ok. 12% zgonów rocznie (dane z 2019 r.) oraz za ok. 1,575 bln dol. rocznie kosztów skutków zdrowotnych i umieralności w Europie [1]. Jak wskazują sygnatariusze międzynarodowego oświadczenia środowisk medycznych, naukowych i zdrowia publicznego, negatywne skutki zanieczyszczenia powietrza występują nie tylko przy jego wysokich stężeniach – nie istnieją wręcz progi, poniżej których stężenia zanieczyszczeń można uznać za bezpieczne dla zdrowia [1].

Dlatego we wrześniu 2021 r. ukazały się zaktualizowane po 16 latach wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) dotyczące jakości powietrza [2]. Oprócz zaostrożenia dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń powietrza (por. tabela 1), stwierdzono, że należy także sukcesywnie zmniejszać średnie narażenie na zanieczyszczenia. Koncepcja ta powinna znaleźć odzwierciedlenie m.in. w zaplanowanej na 2022 r. rewizji dyrektywy 2008/50/EC dotyczącej jakości powietrza [1].

Choć wytyczne WHO dotyczą jakości powietrza atmosferycznego, przez środowiska inżynierskie traktowane są także jako zalecenia dla jakości powietrza wewnętrznego. Takie podejście rekomenduje organizacja Eurovent w Wytycznych 4-23 *Dobór filtrów do wentylacji ogólnej klasyfikowanych według EN ISO 16890* (zaktualizowanych na początku 2022 roku) i wskazuje, że dla pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi (SUP 2, czyli kategoria 2. powietrza nawiewanego – por. tabela 2) wartość stężenia PM w powietrzu nawiewanym powinna wynosić maks. 0,5 wartości zalecanych



przez WHO [3]. Natomiast dla SUP 3, czyli pomieszczeń czasowego przebywania ludzi (magazyny, centra handlowe, myjnie, serwerownie) maks. wartość cząstek stałych może stanowić 0,75 wartości zalecanych przez WHO 2021, a dla SUP 4, czyli pomieszczeń doraźnego przebywania ludzi (np. toalety, klatki schodowe), wartość maks. jest taka sama jak w wytycznych WHO, czyli  $PM_{2,5} \leq 5 \mu g/m^3$  i  $PM_{10} \leq 15 \mu g/m^3$ .

Wytyczne Euroventu uwzględniają fakt, że pył zawieszony pochodzi nie tylko z powietrza zewnętrznego, ale i powstaje wewnątrz pomieszczeń, głównie wskutek termicznej obróbki żywności czy palenia tytoniu [3].

Rekomendacje Euroventu mają zastosowanie przede wszystkim w projektowaniu systemów inżynierskich zapewniających prawidłową jakość powietrza dla biur. Według raportu *Ankieta o zdrowych budynkach* [4], 62% pracowników biur wiąże jakość powietrza wewnętrznego z lepszą kondycją zdrowotną, 53% – z dobrostanem psychicznym, a 43% – z wyższą produktywnością i zdolnością rozwiązywania problemów. Odczucia te znajdują potwierdzenie w badaniach prowadzonych w 2014 r. w szkołach, według których istnieje związek między stosowaniem wentylacji mechanicznej a dobrymi wynikami testów logicznych zarówno rano, jak i po południu, co należy wiązać ze stałą jakością powietrza przez cały dzień [5].

Około 75% respondentów pracujących w biurach uważa, że powietrze wewnętrzne jest mniej zdrowe niż powietrze na zewnątrz, tyle samo martwi się o jakość powietrza w swoim budynku – aż 35% deklaruje, że martwi się „bardzo” lub „skrajnie” [4]. Na obawy pracowników biur wpływa też

**Tabela 1.** Przykładowe zmiany dopuszczalnych poziomów stężeń zanieczyszczeń powietrza zewnętrznego w wytycznych WHO z roku 2005 i 2022 [1, 2]

| Wskaźnik                                                                                   | Wytyczne WHO                                |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------|
|                                                                                            | 2005 rok                                    | 2021 rok       |
| Maks. średnie roczne stężenie pyłu $PM_{2,5}$                                              | $10 \mu g/m^3$                              | $5 \mu g/m^3$  |
| Maks. średnie roczne stężenie pyłu $PM_{10}$                                               | $20 \mu g/m^3$                              | $15 \mu g/m^3$ |
| Maks. średnie roczne stężenie $NO_2$                                                       | $40 \mu g/m^3$                              | $10 \mu g/m^3$ |
| Maks. średnie 8-godzinne stężenie $O_3$ (w 6-miesięcznym okresie najwyższych stężeń ozonu) | brak zaleceń dot. stężenia długoterminowego | $60 \mu g/m^3$ |

**Tabela 2.** Wartości maksymalne średniorocznego stężenia PM powietrza nawiewanego w kategorii SUP 2 wg zaleceń Euroventu uwzględniających zmiany wytycznych WHO z 2021 roku [2, 3]

|                        | Maksymalne wartości stężenia średniorocznego PM wg wytycznych Eurovent dla pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi       |                                                               |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|                        | 2005                                                                                                                             | 2021                                                          |
|                        | $PM_{2,5} \leq 5 \mu g/m^3$<br>$PM_{10} \leq 10 \mu g/m^3$                                                                       | $PM_{2,5} \leq 2,5 \mu g/m^3$<br>$PM_{10} \leq 7,5 \mu g/m^3$ |
| Przykład pomieszczenia | przedszkola, biura, hotele, budynki mieszkalne, sale spotkań i konferencyjne, hale wystawiennicze, teatry, kina, sale koncertowe |                                                               |

pandemia choroby COVID-19 i jej kolejne warianty – aż 87% pracowników odczuwa większy niż do tej pory dyskomfort związany z pracą w budynku biurowym. Zgodnie z głosami środowiska naukowego, w obecnej sytuacji globalnej zadaniem budynkowych systemów technicznych powinna się stać także kontrola rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych poprzez obniżenie ryzyka zakażeń do akceptowalnego poziomu, np. dzięki stosowaniu filtracji czy dezynfekcji oraz zwiększonej wymiany powietrza [6].

O ile w przypadku biur wysoka jakość powietrza będzie się stawać przewagą konkurencyjną pracodawcy, o tyle w szkołach – szczególnie w istniejących placówkach – wykonanie systemu wentylacyjnego odpowiedzialnego za prawidłową jakość powietrza może napotkać bariery ekonomiczne. To m.in. dlatego w wyniku rozstrzygniętego w lipcu 2021 r. konkursu organizowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pt. „Wentylacja dla szkół i domów” cztery firmy, dysponując budżetem po 700 tys. zł, mają opracować nie tylko innowacyjne, ale też efektywne ekonomicznie systemy wentylacji mechanicznej dla istniejących sal lekcyjnych. Mają to być systemy zdecentralizowane (jeden system na jedną salę lekcyjną), składające się z maksymalnie trzech central o całkowitym poborze mocy elektrycznej nie większej niż 3,8 kW na pomieszczenie lekcyjne, zapewniające poziom dźwięku  $L_{Aeq}$  nie większy niż 35 dB. Wszystkie elementy systemu dla danej sali lekcyjnej mają być zainstalowane w tej konkretnej sali. Natomiast czerpnie i wyrzutnie mają zostać zlokalizowane w przegrodach zewnętrznych sali.

Systemy te mają spełnić szereg wymagań związanych z jakością powietrza i efektywnością energetyczną, ale także zapewnić właściwą jakość powietrza. NCBiR nie tylko określiło wymagania dotyczące temperatury i wilgotności powietrza nawiewanego, minimalnych wartości odzysku ciepła, chłodu i wilgoci czy ryzyka przeciągu, ale także podało wskaźniki dotyczące jakości powietrza, metody ich wyznaczania oraz ich minimalną wartość, jaką system wentylacyjny musi zapewnić.

Środowiskową jakość powietrza ECO określa wskaźnik oparty na sumie trzech wskaźników – średnich zmian przyrostów stężenia dwutlenku węgla, stężenia cząstek  $PM_{2,5}$  oraz zużycia energii elektrycznej. Natomiast mikrobiologiczną jakość powietrza IAQ określa zmiana liczby jednostek tworzących kolonie dla aerozolu bakteryjnego GRAM(–) oraz GRAM(+) w ciągu 45 minut.

opr. red.

## Literatura

1. Badyda Artur (red. wersji polskiej), *Wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) dotyczące jakości powietrza z 2021 roku – drogowskaz do zdrowszego powietrza dla wszystkich*, <https://is.pw.edu.pl/wytyczne-swiatowej-organizacji-zdrowia-who-dotyczace-jakosci-powietrza-z-2021-roku-drogowskaz-do-zdrowszego-powietrza-dla-wszystkich/> (dostęp: 15.03.2022)
2. *WHO global air quality guidelines: Particulate matter ( $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary*, World Health Organization, 2021

3. Eurovent 4/23 – 2022, *Selection of EN ISO 16890 rated air filter classes for general ventilation applications – Fourth edition*, 2022, Brussels, 22.01.2022
4. Honeywell and Wakefield Research, *Healthy Buildings Survey*, 2022
5. *Schools Indoor Pollution and Health Observatory Network in Europe – Final Report*, European Union, 2014
6. Morawska Lidia et al., *A paradigm shift to combat indoor respiratory infection. Building ventilation systems must get much better*, „Science” 372, 6543, 14.05.2021
7. *Wentylacja dla szkół i domów*, <https://www.gov.pl/web/ncbr/wentylacja-dla-szkol-i-domow> (dostęp: 15.03.2022)
8. Frapol, *Czym oddychają uczniowie, czyli dlaczego pilnie potrzebny jest ODDECH DLA SZKÓŁ*, „Rynek Instalacyjny” 11/2021, s. 42–44

## Filtracja i oczyszczanie powietrza z pyłów zawieszonych i wirusów

**Czwarty kwartał roku od kilku lat wiąże się z powrotem problematyki zanieczyszczenia powietrza wewnątrz pomieszczeń. Nasilają się wówczas dwa zjawiska – zanieczyszczenie pyłem zawieszonym oraz rozprzestrzenianie wirusów przenoszonych drogą kropelkową. Choć w przypadku obu tych zagrożeń – smogu i wirusów – kluczowa jest profilaktyka, nadal znajdujemy się w sytuacji, w której bardzo ważne jest radzenie sobie ze skutkami sezonu grzewczego i wirusowego, czyli wyraźnie pogorszoną czystością powietrza wewnątrz pomieszczeń.**

Powietrze wewnętrzne zanieczyszczone jest głównie przez pył zawieszony (PM – Particulate Matter), który jest także nośnikiem benzopirenów i innych węglowodorów wielopierścieniowych, oraz aerozole pochodzące z dróg oddechowych osób obecnych w pomieszczeniach, zawierające bakterie i wirusy, m.in. SARS-CoV-2 powodujący chorobę COVID-19 czy wirusy grypy. Najgroźniejsze w pyłe zawieszonym są cząstki łatwo przenikające do płuc, tj. mniejsze niż  $2,5\ \mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>). Pył PM<sub>2,5</sub> negatywnie wpływa m.in. na układ oddechowy i krążenia, ogólną podatność na choroby czy nasilenie dolegliwości w chorobach przewlekłych, a pochodzi zarówno z zewnątrz (głównie z niskiej emisji z pozaklasowych źródeł ciepła), jak i z codziennych czynności (głównie smażenie na tłuszczu czy palenie tytoniu). Stężenie PM<sub>2,5</sub> w pomieszczeniach jest zatem zwykle ok. 1,5–3,5 raza wyższe niż stężenie na zewnątrz [1].

Natomiast wirusy w pomieszczeniach rozprzestrzeniają się różnymi drogami, w tym przez aerozole wydychane przez ludzi [2–7]. Ryzyko zakażenia tą drogą jest najwyższe w słabo wentylowanych przestrzeniach zamkniętych, gdzie przebywa dużo osób [2, 6]. Użytkownicy pomieszczeń stanowią „wewnętrzne źródła zanieczyszczeń”. Każdy może przenosić wirusy na ubraniu, butach czy rękach w wyniku złych nawyków higienicznych [6]. Osoby zakażone emitują aerosol złożony z kropli i jąder kondensacji (kropli odparowanych) zawierających aktywne wirusy (wiriony). Krople te mają średnice średnio  $4,7\ \mu\text{m}$  i więcej [2, 4, 8]. W zależności od aktywności oddechowej (kichanie, kaszel, intensywne oddychanie, mówienie, śpiewanie itp.) osób obecnych w pomieszczeniu emisja wirusów – wyrażona w dawkach zawieszonych w powietrzu jąder kondensacji powodujących infekcję u 63% osób podatnych na zakażenie [9] – jest zróżnicowana: do 5 dawek na godzinę dla biur i klas szkolnych (przy założeniu, że nauczyciel nie emituje wirusów) do 21 dawek na godzinę dla obiektów sportowych [7].

Zakażenia wirusem zależą zatem od liczby zakażonych osób, ich aktywności fizycznej i indywidualnej podatności związanej m.in. z wiekiem, ogólnym stanem zdrowia i odpornością organizmu [6].

Istnieje także związek między zanieczyszczeniem powietrza pyłem zawieszonym a zachorowalnością na COVID-19 i przebiegiem tej choroby [10, 11].

Pyły zawieszone mogą być dodatkowym nośnikiem wirionów i negatywnie wpływają na odporność organizmu, pracę płuc czy nasilenie chorób współistniejących, zwiększając podatność na zachorowanie i ryzyko ciężkiego przebiegu choroby. Walkę z tymi dwoma zagrożeniami należy więc rozpatrywać łącznie. Kluczowe będzie tu zastosowanie takich rozwiązań technicznych odpowiadających za jakość powietrza w pomieszczeniach, które rzeczywiście zagwarantują zmniejszenie zanieczyszczeń pyłowych i ograniczenie ryzyka rozprzestrzeniania wirusów (nie tylko SARS-CoV-2).

Badania wykazują, że w dobrze wentylowanych pomieszczeniach ekspozycja na aerozol wirusowy jest mniejsza. Zwiększenie strumienia powietrza wentylacyjnego może zapobiec zakażeniom krzyżowym dzięki usuwaniu lub przynajmniej rozcieńczeniu aerozolu [2, 6] – np. dla pięcioosobowego biura otwartego strumień powietrza wentylacyjnego zapewniającego odpowiednio niskie ryzyko zakażenia (czyli jedna zakażona osoba zaraża nie więcej niż 0,5 osoby podatnej na zakażenie) powinien wynosić ok. 80 l/s ( $288\ \text{m}^3/\text{h}$ ) na jedną zakażoną osobę w pomieszczeniu [7]. Jednocześnie jednak wraz z powietrzem wentylacyjnym do pomieszczenia napływają zanieczyszczenia pyłowe, co oznacza konieczność ich eliminacji, a zatem uzupełnienia systemu wentylacji o skuteczne rozwiązania filtracyjne. W instalacji wentylacji mechanicznej należy stosować tzw. filtry antysmogowe, natomiast w przypadku wentylacji naturalnej funkcję urządzeń filtracyjnych pełnią przenośne oczyszczacze powietrza.

### Znaczenie filtrów antysmogowych w wentylacji

Systemy wentylacji mechanicznej dla obiektów mieszkalnych standardowo wyposażone są w filtry powietrza zewnętrznego. Jednak w podstawowym wykonaniu wielu pracujących już central – szczególnie urządzeń starszych niż 3–4 lata – nie są to najczęściej filtry przystosowane do skutecznego usuwania z powietrza zewnętrznego pyłów zawieszonych (jako głównych składników smogu).

Zgodnie z normą PN-EN ISO 16890-1:2017-01E [12] filtr do wentylacji ogólnej może być uznany za „skuteczny” wobec pyłu o danej wielkości, jeśli zatrzymuje co najmniej 50% tego pyłu znajdującego się w powietrzu przed przejściem przez filtr. Przykładowo filtr klasy ePM<sub>2,5</sub> 50% zapewnia usunięcie 50% pyłów PM<sub>2,5</sub>. Jednak filtr o minimalnej klasie w wielu przypadkach nie jest w stanie zapewnić wartości rekomendowanych – zgodnych z wytycznymi WHO z 2021 roku dla powietrza zewnętrznego [13]:

- $\text{PM}_{2,5} \leq 5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  (średnia roczna), przy czym średnie narażenie 24-godzinne nie powinno przekraczać  $15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  częściej niż przez 3–4 dni w roku;
- $\text{PM}_{10} \leq 15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  (średnia roczna), przy czym średnie narażenie 24-godzinne nie powinno przekraczać  $45\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Do wytycznych WHO, choć pochodzących jeszcze sprzed aktualizacji z 2021 r. [14], odwołuje się także w swojej ostatniej rekomendacji organizacja Eurovent [15]. Zaleca, by docelowe stężenie pyłów wewnątrz pomieszczeń – uwzględniające zarówno zanieczyszczenia pochodzące z zewnątrz, jak i źródła wewnętrzne – wynosiło:

- $PM_{2,5} \leq 10 \mu g/m^3$  oraz
- $PM_{10} \leq 20 \mu g/m^3$  [14, 15].

Przykładowo w Sierpcu (woj. mazowieckie) wieczorem 3 listopada 2021 r. polski indeks jakości powietrza przyjął wartość „umiarkowany”, a stężenie pyłu  $PM_{2,5}$  wyniosło  $43,3 \mu g/m^3$  [16]. W tej sytuacji zastosowanie filtra o klasie  $ePM_{2,5}$  50% zapewniłoby nawiew do pomieszczenia powietrza o stężeniu  $PM_{2,5}$  wynoszącym ponad  $20 \mu g/m^3$ , a więc przekraczającym czterokrotnie – nawet bez uwzględnienia źródeł wewnętrznych – rekomendowane przez WHO wartości. Eurovent zaleca, by do ochrony pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi dobierać filtr na podstawie klasy skuteczności dla cząstek **PM1**:

- na obszarach o bardzo wysokim zapyleniu ( $PM_{2,5} > 15 \mu g/m^3$ ,  $PM_{10} > 30 \mu g/m^3$ ) – filtr klasy  $ePM1$  80%;
- na obszarach o wysokim zapyleniu ( $PM_{2,5} \leq 15 \mu g/m^3$ ,  $PM_{10} \leq 30 \mu g/m^3$ ) – filtr klasy  $ePM1$  70% [14].

Przeciwpyłowy filtr antysmogowy może zastąpić filtr montowany standardowo na nawiewie powietrza lub stanowić dodatkowy element instalacji wentylacyjnej – skrzynkę przystosowaną do montażu za centralą wentylacyjną. W wyjątkowych wypadkach moduł filtra antysmogowego może być umieszczony przed centralą, ale wówczas wymaga dodatkowego filtra zgrubnego. Skrzynka filtra antysmogowego może zawierać, oprócz filtra dokładnego, filtr z węgla aktywowanego, który w procesie absorpcji na rozbudowanej powierzchni czynnej usuwa z powietrza liczne substancje organiczne, m.in. te odpowiedzialne za przykre zapachy.

Niektóre rozwiązania oferowane na rynku jako „antysmogowe” oparte są na tzw. filtrach elektrojonizacyjnych (inaczej elektrostatycznych lub elektrofiltrach). Urządzenia te, pobierając niewielką moc elektryczną (do 20 kW), powodują wyładowania koronowe, dzięki którym wytwarzane jest pole elektrostatyczne. W polu tym następuje ładowanie cząstek pyłów – są one przyciągane do przeciwnie naładowanych elementów filtra (elektrody osadczącej lub separatora) – oraz powstawanie wolnych rodników powodujących dezaktywację i unieszkodliwienie komórek grzybów i bakterii czy wirusów zawartych w strumieniu powietrza zewnętrznego. Wyładowania koronowe w filtrze muszą być na tyle małe, by emisja produktu ubocznego jonizacji powietrza – ozonu – nie przekraczała zalecanego przez WHO stężenia, wynoszącego  $100 \mu g/m^3$  [13].

Podobnie jak filtry dokładne, filtry elektrostatyczne montuje się na kanale nawiewnym, najlepiej za centralą. W przypadku montażu przed centralą – np. z powodu braku miejsca – należy przed

elektrofiltrem zastosować także filtr wstępny. Wówczas do właściwego urządzenia napływa mniej zanieczyszczeń grubych, co przekłada się na trwałość elektrody osadczącej lub separatora i mniejszą częstotliwość usuwania zanieczyszczeń (czyszczenia elektrody osadczącej lub wymiany separatora).

Filtry instalowane w systemie wentylacji mechanicznej są skuteczne jako rozwiązania „antysmogowe”, czyli usuwające pyły zawieszone napływające z zewnątrz (a także **zewnątrzne** zanieczyszczenia mikrobiologiczne, np. zarodniki grzybów). Ze względu na wspomniany wcześniej efekt „negatywnej synergii” składników smogu i wirusa SARS-CoV-2, usuwanie pyłów przyczynia się także do kontroli rozprzestrzeniania choroby COVID-19. Jednak filtry takie nie znajdują zastosowania do bezpośredniego zapobiegania rozprzestrzenianiu wirusa SARS-CoV-2, ponieważ źródła tego patogenu znajdują się wewnątrz budynku, a filtry antysmogowe mają za zadanie uzdatnić powietrze napływające z zewnątrz.

## Rola oczyszczaczy powietrza

Proponowane przez naukowców modele obliczeniowe strumienia wentylacyjnego niezbędnego pod kątem zmniejszania ryzyka rozprzestrzeniania chorób wirusowych drogą powietrzną zawierają m.in. współczynnik usuwania wirusów z powietrza  $\lambda$  (1/h) [7]. Na współczynnik ten składają się: naturalna dezaktywacja wirusów w czasie, działanie wentylacji, osadzanie aerozolu na powierzchni oraz filtracja na urządzeniach mobilnych **wewnątrz** pomieszczenia [7]. Współczynnik ten jasno pokazuje, że wentylacja powinna zostać uzupełniona o odpowiednią filtrację. Na pozytywną rolę filtracji na oczyszczaczach przenośnych jako istotnego uzupełnienia wentylacji w zmniejszaniu ryzyka rozprzestrzeniania chorób przenoszonych drogą kropelkową wskazują liczne wytyczne branżowe i opracowania naukowe [3–6, 17]. Jednocześnie podkreśla się, że skuteczność filtra powinna odpowiadać co najmniej skuteczności filtra HEPA. Filtry spełniające ten wymóg znajdują zastosowanie w znakomitej większości urządzeń stosowanych jako oczyszczacze zarówno „domowe”, jak i „profesjonalne”.

Filtr HEPA (High Efficiency Particulate Absorber) jest filtrem tkaninowym o wysokiej skuteczności usuwania z powietrza cząstek stałych, takich jak bakterie, aerozole, dym, pyły  $PM_{2,5}$  czy niektóre wirusy. Skuteczność filtra HEPA wynosi zgodnie z normą PN-EN 1822:2019 [18] 99,95% dla cząsteczek o średnicy tzw. MPPS (czyli takiej, dla której działa najsłabiej) – oznacza to, że zarówno większe, jak i mniejsze cząstki są usuwane z wyższą skutecznością. Średnica cząstek MPPS wynosi  $0,12\text{--}0,25 \mu m$ , natomiast dolna granica skuteczności filtrów HEPA została określona jako  $0,01 \mu m$  [19]. Wielkość cząstki wirusa SARS-CoV-2 wynosi średnio  $0,1\text{--}0,12 \mu m$  [2, 20], przy zakresie średnic od  $0,06$  do  $0,14 \mu m$  [21, 22] – dla porównania wirus grypy ma wielkość od  $0,08$  do  $0,12 \mu m$  [22]. Z kolei wielkość cząstek aerozolu powietrznego jest wyraźnie większa – wynosi średnio  $4,7 \mu m$  i więcej [2, 8].

Zatem filtr HEPA umożliwia przechwycenie wszystkich wirionów – pod warunkiem, że nastąpi ich fizyczny kontakt z powierzchnią filtra, innymi słowy: że całe powietrze zawierające aerozol wirusowy

zostanie przepuszczone przez filtr. Należy tu zwrócić uwagę także na wiriony osiadające na powierzchniach, które nadal stanowią potencjalne zagrożenie. W odpowiednich warunkach (np. zapewnienie intensywnego ruchu powietrza przez wentylator lub przeciąg podczas wietrzenia) mogą ponownie przejść do aerozolu, który z kolei zostanie osadzony na filtrach [2].

## Dobór oczyszczacza dla pomieszczenia mieszkalnego

Skuteczność filtracji powietrza na filtrach oczyszczacza mobilnego  $k_f$  zależy od wartości CADR dla określonej wielkości usuwanych cząstek i kubatury pomieszczenia (V) [7]:

$$k_f = \text{CADR}/V$$

Dlatego rzetelny dobór oczyszczacza do konkretnego pomieszczenia powinien być oparty na wskaźniku CADR [23–25]. Wskaźnik dostawy czystego powietrza (Clean Air Delivery Rate) to ilość powietrza czystego (oczyszczonego z zanieczyszczenia o danej wielkości), którą oczyszczacz dostarcza do pomieszczenia [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]. Znając CADR danego oczyszczacza dla danej wielkości zanieczyszczenia, można określić jego skuteczność w obsłudze danego pomieszczenia – o określonej kubaturze i rodzaju zastosowanej wentylacji. Producenci najczęściej podają CADR dla pyłu zawieszonego ( $0,3\text{--}0,5\ \mu\text{m}$ ).

**Dobór oczyszczacza pod kątem usuwania pyłu zawieszonego** należy przeprowadzić zgodnie z wytycznymi REHVA [23]:

- dla pomieszczeń z wentylacją grawitacyjną liczba wymian na godzinę nie przekracza  $0,5\ 1/\text{h}$  i CADR powinien odpowiadać co najmniej 2 wymianom powietrza na godzinę [ $1/\text{h}$ ] w danej kubaturze [ $\text{m}^3$ ]. Zatem  $\text{CADR} > 2 \times \text{kubatura pomieszczenia}$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ];
- dla pomieszczeń z wentylacją mechaniczną wywiewno-nawiewną z odzyskiem ciepła liczba wymian na godzinę wynosi co najmniej 1 [26] i CADR powinien wynosić tyle, co dwukrotność wydatku powietrza świeżego napływającego do pomieszczenia (np. dla  $100\ \text{m}^3/\text{h}$  nawiewu,  $\text{CADR} > 200\ \text{m}^3/\text{h}$ ).

**Tabela.** Wartość CADR przykładowych urządzeń a maksymalna kubatura obsługiwanych pomieszczeń (opr. własne wg [23, 24])

| CADR urządzenia [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] | Maksymalna kubatura obsługiwanego pomieszczenia [ $\text{m}^3$ ]                |                                                                                                 |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | zapewniające usuwanie 70% pyłu zawieszonego $0,3\text{--}0,5\ \mu\text{m}$ [23] | pod kątem zapobiegania rozprzestrzenianiu chorób wirusowych (w tym COVID-19) <sup>*)</sup> [24] |
| 210                                       | 105 $\text{m}^3$                                                                | od 38 do 60 $\text{m}^3$                                                                        |
| 320                                       | 160 $\text{m}^3$                                                                | od 58 do 91 $\text{m}^3$                                                                        |
| 400                                       | 200 $\text{m}^3$                                                                | od 71 do 114 $\text{m}^3$                                                                       |
| 500                                       | 250 $\text{m}^3$                                                                | od 90 do 142 $\text{m}^3$                                                                       |

<sup>\*)</sup> wartości odpowiadają przyjętej sumarycznej skuteczności wentylacji i filtracji, wyrażonej w wymianach na godzinę ( $1/\text{h}$ ), odpowiednio  $6/\text{h}$  (pierwsza wartość) i  $4/\text{h}$  (druga wartość)

Dobierając oczyszczacz, należy także uwzględnić fakt, że CADR dotyczy pracy urządzenia na najwyższym biegu, ze wszystkimi filtrami. Oczyszczacz pracujący na niższym (np. drugim) biegu nie będzie zapewniał skuteczności wynikającej z doboru zalecanego przez REHVA. Jeśli natomiast oczyszczacz ma wspierać usuwanie mikroorganizmów i wirusów, należy uwzględnić, że źródło zanieczyszczeń – a więc po prostu osoba zakażona – znajduje się w pomieszczeniu. Zatem filtracja i wentylacja powinny zapewniać większą skuteczność oczyszczania powietrza, rozumianą jako sumę liczby wymian powietrza wentylacyjnego i wskaźnika filtracji dla oczyszczacza [ $1/\text{h}$ ]. Wspólne działanie wentylacji i filtracji powinno zapewnić skuteczność  $4\text{--}6\ 1/\text{h}$  [24]. Zatem dla pomieszczeń z wentylacją grawitacyjną ( $0,5$  wymiany na godzinę) CADR powinien wynosić tyle co  $(3,5 \div 5,5) \times \text{kubatura pomieszczenia}$ . W **tabeli** zestawiono przykładowe wartości dla urządzeń spotykanych na polskim rynku, zakładając, że liczba wymian na godzinę dla pomieszczenia z wentylacją grawitacyjną wynosi  $0,5\ 1/\text{h}$ .

## Dobór oczyszczaczy profesjonalnych

Do większych przestrzeni zamkniętych, szczególnie w budynkach z wentylacją naturalną, przeznaczone są tzw. oczyszczacze profesjonalne. Są to urządzenia, które pojawiły się na rynku już po wybuchu pandemii COVID-19 jako rozwiązanie zapewniające usuwanie wirusów z dużych pomieszczeń, gdzie przebywa wiele osób, a zwykle nie jest zapewniona wystarczająca wentylacja. Wyróżniają się nie tylko wysokimi przepływami powietrza, większymi gabarytami i solidniejszą konstrukcją, ale też bardziej złożoną regulacją oraz rozbudowaną komorą filtracyjną z zaawansowanymi rozwiązaniami filtracji i dekontaminacji filtrów.

Filtracja w oczyszczaczach profesjonalnych często opiera się na więcej niż jednym filtrze wysoko skutecznym, np. w jednej komorze filtracyjnej występują dwa filtry HEPA – o klasie zarówno H13, jak i H14. Mogą być one uzupełnione także o filtr węglowy. Wyposażone są także w funkcję automatycznej dekontaminacji, czyli unieszkodliwiania (dezaktywacji) grzybów, bakterii i wirusów zatrzymanych na filtrze [27]. Układ taki w określonych odstępach czasu uruchamia proces dezynfekcji filtrów za pomocą wysokiej temperatury lub naświetlania promieniami UV-C. Dezynfekcja termiczna polega na krótkotrwałym podgrzaniu filtra do temperatury  $100^\circ\text{C}$ , a promieniami UV-C – na okresowym naświetleniu filtra HEPA przez czas zapewniający natężenie promieniowania wystarczające do unieszkodliwienia materiału biologicznego zatrzymanego na filtrze.

Oczyszczacze profesjonalne dobiera się według wielkości przepływu powietrza lub CADR. Jednak wynikająca z tych parametrów skuteczność oczyszczania powietrza zapewniona zostanie tylko przez urządzenie prawidłowo ułożone w chronionym pomieszczeniu. Producenci zwykle zalecają odpowiednie ustawienie centralne, wskazując minimalną odległość od ścian oraz elementów wyposażenia (np. od stanowisk pracy). Intensywność filtracji w przypadku urządzeń profesjonalnych

należy wiązać z przeznaczeniem pomieszczenia – z aktywnością oddechową obecnych oraz z ryzykiem obecności osób zakażonych wirusem.

Do pomieszczeń wymagających wyższej intensywności filtracji zaliczyć można zatem np. sale ćwiczeń (wyższa aktywność oddechowa) czy pomieszczenia służby zdrowia (większe ryzyko obecności osób zakażonych). W przypadku większej intensywności filtracji konieczne może być zastosowanie większej liczby urządzeń – znaczenie ma wówczas ich ustawienie względem siebie, by przez wzajemne oddziaływanie nie zmniejszały swojej skuteczności. Dzięki płynnej lub kilkustopniowej regulacji wydajności wentylatorów można dostosować tryb pracy zarówno do rzeczywistej liczby osób obecnych w pomieszczeniu, jak i do jego charakteru – na niższym biegu urządzenie pracuje ciszej, co może mieć znaczenie np. w biurze lub bibliotece.

Joanna Ryńska

## Literatura

1. Chen Chun, Zhao Bin, *Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor*, „Atmospheric Environment” 45/2011, 275–288
2. Elias Blake, Bar-Yam Yaneer, *Could Air Filtration Reduce COVID-19 Severity and Spread?* New England Complex Systems Institute, 2020, <https://necsi.edu/could-air-filtration-reduce-covid19-severity-and-spread> (dostęp: 3.11.2021)
3. ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols (zatwierdzony przez Radę Nadzorczą ASHRAE), Atlanta, 14.04.2020
4. Morawska Lidia et al., *How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?* „Environment International” 142 (2020), 105832
5. Morawska Lidia et al., *A paradigm shift to combat indoor respiratory infection. Building ventilation systems must get much better*, „Science”, Vol. 372, No. 6543, 14.05.2021
6. van Dijken Froukje, Boerstra Atze, *Implications of COVID-19 pandemic for application of natural ventilation*, „REHVA Journal” 3/2021
7. Kurnitski Jarek et al., *Respiratory infection risk-based ventilation design method*, „Building and Environment” 206(10):108387, September 2021, DOI:10.1016/j.buildenv.2021.108387 (dostęp: 3.11.2021)
8. Lee Byung Uk, *Minimum Sizes of Respiratory Particles Carrying SARS-CoV-2 and the Possibility of Aerosol Generation*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” No. 17/2020 DOI: 10.3390/ijerph17196960 (dostęp: 3.11.2021)
9. Buonanno Giorgio, Stabile Luca, Morawska Lidia, *Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment*. „Environment International” 141, 105794, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105794> (dostęp: 3.11.2021)
10. Wu Xiao et al., *Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis*, „Science Advances” Vol. 6 No. 45 (November 2020), DOI: 10.1126/sciadv.abd4049 (dostęp: 3.11.2021)
11. Pozzer Andrea, Dominici Francesca, Haines Andy, Witt Christian, Münzel Thomas, Lelieveld Jos, *Regional and global contributions of air pollution to risk of death from COVID-19*, „Cardiovascular Research”, Vol. 16, No. 14 (December 2020), p 2247–2253, DOI: 10.1093/cvr/cvaa288 (dostęp: 3.11.2021)
12. PN-EN ISO 16890-1:2017-01E *Przeciwpyłowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej. Część 1: Specyfikacje techniczne, wymagania i system klasyfikacji skuteczności określony na podstawie wielkości cząstek pyłu (ePM)*
13. *Air Quality Guidelines – Global update 2021*, World Health Organization, 2021
14. *Air Quality Guidelines – Global update 2005*, World Health Organization, 2006
15. *Eurovent 4/23 – 2020. Selection of EN ISO 16890 rated air filter classes for general ventilation applications – Third edition*, 2020, Eurovent, Bruksela, 1.11.2020
16. *Ocena jakości powietrza. Bieżące dane pomiarowe*, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2021, <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current> (dostęp: 3.11.2021)
17. Kurnitski Jarek et al., *How to operate and use building services in order to prevent the spread of the coronavirus disease (COVID-19) virus (SARS-CoV-2) in workplaces. COVID-19 guidance document*, wydanie 3 zaktualizowane. REHVA, 3.08.2020
18. PN-EN 1822:2019 *Wysokoskuteczne filtry powietrza (EPA, HEPA i ULPA)*.
19. Perry Jay, Agui Juan, Vijayakumar Rajagopal, *Submicron and Nanoparticulate Matter Removal by HEPA-Rated Media Filters and Packed Beds of Granular Materials*. NASA/TM-2016-218224, Huntsville, Alabama, 2016, <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170005166> (dostęp: 3.11.2021)
20. ASHRAE FAQ on filtration and disinfection
21. Laue Michael, Kauter Anne, Hoffmann Tobias, Möller Lars, Michel Janine, Nitsche Andreas, *Morphometry of SARS-CoV and SARS-CoV-2 particles in ultrathin plastic sections of infected Vero cell cultures*, „Scientific Reports” (Nature) No. 11, 2021, DOI: 10.1038/s41598-021-82852-7 (dostęp: 3.11.2021)
22. Scherzer Uwe, Brown Caroline, *Does a High Efficiency Particulate Air (HEPA) filter offer full protection against viral cross-contamination?*, „Hamilton Medical”, 2020
23. REHVA: *Criteria for room air cleaners for particulate matter*, March 2021, [https://www.rehva.eu/fileadmin/content/documents/Downloadable\\_documents/REHVA\\_COVID-19\\_Recommendation\\_Criteria\\_for\\_room\\_air\\_cleaners\\_for\\_particulate\\_matter.pdf](https://www.rehva.eu/fileadmin/content/documents/Downloadable_documents/REHVA_COVID-19_Recommendation_Criteria_for_room_air_cleaners_for_particulate_matter.pdf) (dostęp: 3.11.2021)
24. Seppänen Olli, *Room air purifiers in the COVID-19 era*, <https://www.rehva.eu/blog/article/room-air-purifiers-in-the-covid-19-era> (dostęp: 3.11.2021)
25. Tate Nick, *Can a Portable Air Cleaner Protect You From COVID?*, „WebMD Health News”
26. Grygier Grzegorz, Szyperski Paweł, *Wytyczne dla instalacji wentylacyjnej z odzyskiem ciepła (systemu rekuperacji) w domach jednorodzinnych*, Wyd. Stowarzyszenie Polska Wentylacja, [http://www.wentylacja.org.pl/upload/files/GT\\_domy\\_jednorodzinne/SPWWytyczneRekuperacja.pdf](http://www.wentylacja.org.pl/upload/files/GT_domy_jednorodzinne/SPWWytyczneRekuperacja.pdf) (dostęp: 3.11.2021)
27. Joniec Waldemar, *Wentylacja pomieszczeń biurowych podczas pandemii – studium przypadku*, „Rynek Instalacyjny” 1–2/2021, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artikul/projektowanie-went-klima/46258,ventylacja-pomieszczen-biurowych-podczas-pandemii-studium-przypadku>

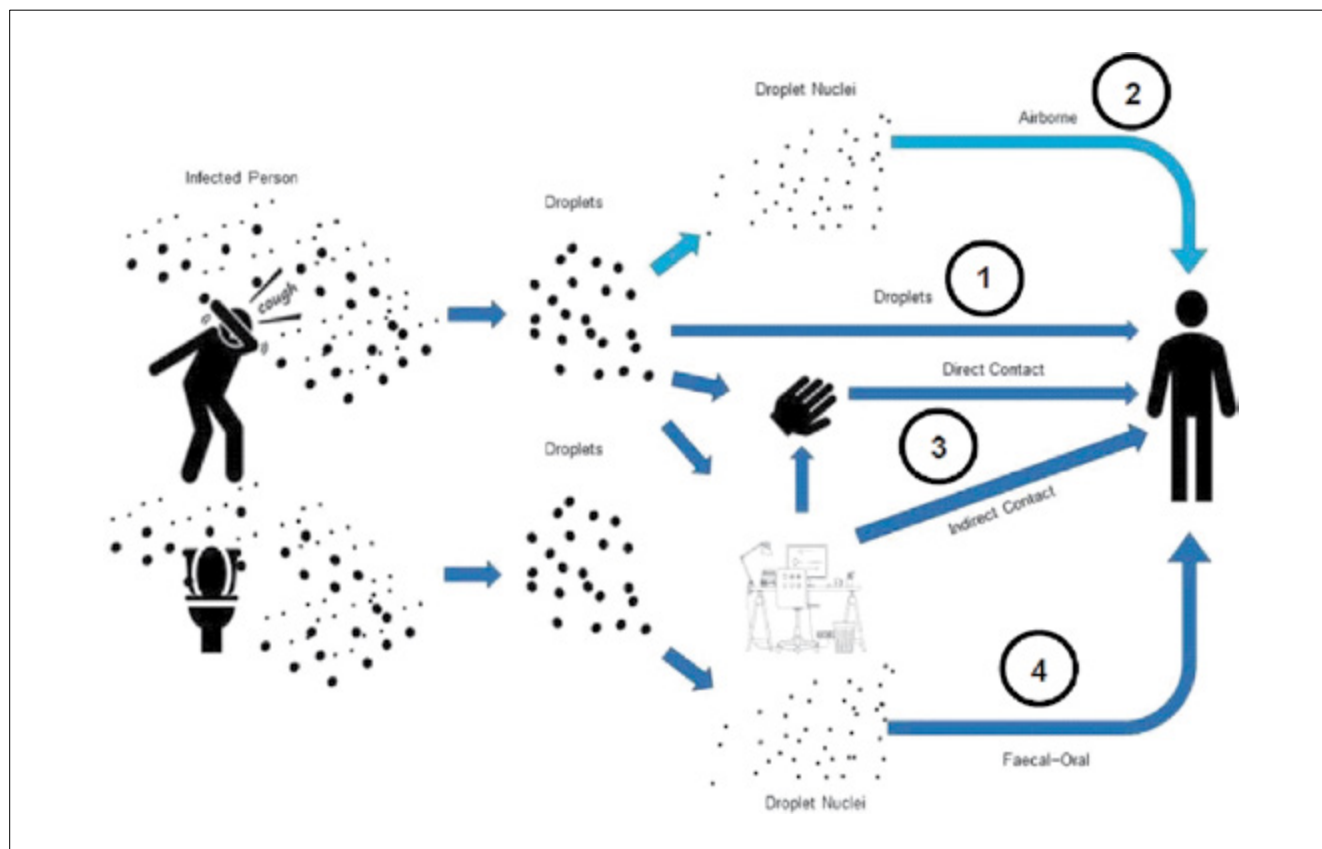
## Wentylacja szkół – rekomendacje REHVA

REHVA – Europejska Federacja Stowarzyszeń Ogrzewnictwa Wentylacji i Klimatyzacji – opublikowała zalecenia dla administracji i personelu szkół w zakresie wentylacji i higieny sanitarnej. Jest to podsumowanie porad dotyczących funkcjonowania instalacji i korzystania z usług serwisowych oraz instalacyjno-budowlanych w szkołach w celu zapobiegania rozprzestrzenianiu się wirusa SARS-CoV-2. Zalecenia te kierowane są do dyrektorów szkół, nauczycieli i kierowników placówek oświatowych.



Przed podjęciem działań zapobiegawczych konieczne jest przypomnienie informacji o najczęstszych czynnikach zakaźnych i drogach przenoszenia się wirusów powodujących COVID-19 – są to cztery drogi transmisji (**rys. 1**):

1. przez bliski kontakt, w odległości 1–2 m – wirus jest przenoszony drogą kropelkową podczas rozmowy, kichania lub kaszlu;



Rys. 1. Drogi rozprzestrzeniania się wirusa SARS-CoV-2

2. przez powietrze wewnętrzne unoszące aerozole (wysuszone małe kropelki powstające podczas oddychania, mówienia, kichania lub kaszlu), które mogą utrzymywać się w powietrzu przez wiele godzin i być przenoszone na duże odległości;
3. poprzez kontakt powierzchniowy (ręka-ręka, ręka-powierzchnia itp.);
4. poprzez korzystanie z urządzeń i pomieszczeń sanitarnych – droga fekalna i oralna.

Ogólne wskazówki dla administracji budynków zawiera m.in. dokument WHO pt. „Wytyczne dotyczące zapobiegania i kontroli COVID-19 w szkołach”. Wiele krajowych wytycznych koncentruje się na obserwacji i monitorowaniu objawów, zasadach zachowania dystansu i dobrych praktykach dotyczących higieny. Natomiast REHVA w celu utrzymania możliwie niskiego ryzyka zakażenia zaleca dodatkowo podejmowanie odpowiednich środków w zakresie wentylacji (zapobieganie przenoszeniu wirusa drogą powietrzną) oraz instalacji sanitarnych (zapobieganie przenoszeniu wirusa poprzez dotyk urządzeń sanitarnych).

### Wentylacja

W licznych europejskich szkołach skuteczna wentylacja jest wciąż dużym wyzwaniem. Wiele z nich wentylowanych jest w sposób naturalny, np. za pomocą otwierania okien. Wentylacja naturalna zależy w znacznym stopniu od różnicy temperatury między powietrzem w pomieszczeniu a powietrzem zewnętrznym oraz siły i kierunku wiatrów. Tym samym nie zawsze może ona zapewnić wystarczającą ilość powietrza do wymaganej wymiany. Tylko systemy wentylacji mechanicznej zapewniają wymaganą ilość powietrza i pracę w każdych warunkach przez cały rok.

REHVA zaleca podejmowanie następujących działań praktycznych w celu doraźnej optymalizacji wentylacji:

1. Zapewnij wentylację pomieszczeń powietrzem zewnętrznym. Sprawdź, czy systemy wentylacyjne w salach lekcyjnych, naturalne lub mechaniczne, działają prawidłowo:
  - sprawdź, czy można otworzyć okna i nawiewniki;
  - wyczyść kratki wentylacyjne, aby nie blokować dopływu powietrza;
  - zleć firmie serwisowej sprawdzenie działania systemów wentylacji mechanicznej.
2. Zainstaluj detektor CO<sub>2</sub> z wyświetlaczem informującym o poziomie tego gazu (w formie cyfrowej lub za pomocą kolorowych diod – zielona/żółta/czerwona) przynajmniej w tych salach, w których wentylacja zależy od otwierania okien i/lub drożności nawiewników. Detektor pokazuje, czy trzeba wspomóc wentylację naturalną poprzez otwarcie okna. Upewnij się, że detektor CO<sub>2</sub> w klasie jest umieszczony w widocznym miejscu, z dala od wlotów świeżego powietrza (np. otwartych okien), najlepiej na ścianie wewnętrznej na wysokości strefy oddychania w pozycji siedzącej – czyli ok. 1,5 m. W czasie pandemii COVID-19, aby zapewnić jak najlepszą wentylację, sugeruje się

zmianę domyślnych ustawień wskaźnika sygnalizacji świetlnej detektorów: żółty kolor – przekroczenie 800 ppm, czerwony kolor – przekroczenie 1000 ppm.

3. Sprawdź godziny pracy systemów wentylacji mechanicznej. Przełącz wentylację na prędkość nominalną co najmniej 2 godziny przed rozpoczęciem zajęć w szkole i wyłącz lub zmniejsz prędkość 2 godziny po zajęciach. Utrzymuj działanie wentylacji w toalecie z nominalną prędkością w podobny sposób jak w głównej instalacji wentylacyjnej.
4. Przełącz centrale wentylacyjne z recyrkulacją na 100% powietrza zewnętrznego.
5. Dostosuj nastawy systemów wentylacji kontrolowanych poziomem CO<sub>2</sub> (jeśli są stosowane). W takich rozwiązaniach wymiana powietrza jest automatycznie zmniejszana przy mniejszej liczbie osób, aby zaoszczędzać energię. Jednak aby zmniejszyć ryzyko przenoszenia chorób zakaźnych, konieczna jest pełna wentylacja, nawet jeśli obecna jest tylko część uczniów. Zapytaj firmę serwisującą, czy twoja szkoła posiada wentylację kontrolowaną poziomem CO<sub>2</sub>. W praktyce to firma serwisująca ustawia wartości zadane.
6. Przekaż nauczycielom instrukcje dotyczące korzystania z urządzeń wentylacyjnych:
  - Otwieraj okna i nawiewniki wentylacyjne tak często, jak to możliwe w godzinach szkolnych. Uchylenie (otwieranie) okien w górnej części zmniejsza ryzyko przeciągu. W pomieszczeniach z mechanicznym nawiewem i wywiewem zwykle nie jest to konieczne, ale dodatkowa wentylacja jest wskazana, o ile nie zakłóca pracy instalacji wentylacji mechanicznej.
  - Zapewnij regularne wietrzenie przez okna w czasie przerw, także w budynkach z instalacją mechaniczną.
  - Upewnij się, że przepływ powietrza przez nawiewniki i kratki wentylacyjne nie jest zasłonięty lub zablokowany przez zasłony lub meble.



**Rys. 2.** Detektory: a) z wyświetlaczem wartości poziomu CO<sub>2</sub> i kolorowymi diodami sygnalizacyjnymi, b) detektor CO<sub>2</sub> z diodami sygnalizacyjnymi umieszczony obok tablicy, c) detektor wielofunkcyjny umożliwiający automatyczne sterowanie wentylacją – kontroler dwutlenku węgla, temperatury oraz wilgotności w obiektach użyteczności publicznej

- Miej oko na wszystkie zainstalowane detektory CO<sub>2</sub> (poproś uczniów o pomoc). Należy pamiętać, że więcej aerozoli z procesów oddychania jest uwalnianych podczas takich zajęć, jak śpiew lub wychowanie fizyczne.
- Możesz używać lokalnych układów chłodzenia, klimakonwektorów (fan coils) lub klimatyzatorów (mono i split), jednak upewnij się, że świeże powietrze zewnętrzne jest dostarczane w odpowiedniej ilości przez wentylację mechaniczną lub otwarte okna.

W dłuższej perspektywie poprawa wentylacji ma wpływ nie tylko na zapobieganie pandemii. Zła jakość powietrza w pomieszczeniach prowadzi m.in. do bólu głowy, zmęczenia i obniżonej wydajności nauki.

Niektórzy wykonawcy i firmy serwisowe oferują obecnie szybką wymianę filtrów, ale nie jest to konieczne, aby zmniejszyć ryzyko infekcji. Filtry należy bowiem wymieniać wtedy, gdy jest to konieczne lub zaplanowane. Ponadto wiele mówi się o schładzaniu i nawilżaniu powietrza, jednak zmiana nastaw systemu chłodzenia na niższe wartości nie jest konieczna, a w szkołach niewskazana. To samo dotyczy stosowania nawilżaczy, ponieważ nie ma dowodów na to, że jest to rozwiązanie rzeczywiście skuteczne. Skoncentruj się na kwestiach, które naprawdę mają znaczenie, takich jak odpowiednia wentylacja – czyli wymiana powietrza.

## Instalacje i urządzenia sanitarne

Zalecenia dotyczące urządzeń sanitarnych – kranów, toalet, kanalizacji:

- Spłucz wszystkie toalety, krany i prysznice przed ponownym otwarciem szkoły po okresie zdalnej nauki lub kilkudniowej przerwie. Jeśli krany nie były używane przez kilka tygodni, woda, która nadal znajduje się w rurach, może być złej jakości.
- Sprawdź, czy krany z wodą we wszystkich toaletach są sprawne (łącznie z dozownikami mydła i ręcznikami papierowymi) lub zapewnij inne urządzenia do dezynfekcji rąk po skorzystaniu z toalety.
- Często używane krany z wodą zastąp kranami z czujnikiem, aby można było z nich korzystać bez dotykania.
- Upewnij się, że odpływy podłogowe nie wysychają, aby uniknąć przenikania wyziewów z kanalizacji. Regularnie napełniaj odpływy wodą. Dodaj trochę oleju, aby zapobiec szybkiemu odparowaniu uszczelnienia wodnego.
- Umieść instrukcje zalecające spłukiwanie toalet przy zamkniętej pokrywie oraz mycie rąk po skorzystaniu z toalety.

Waldemar Joniec

## Literatura

1. <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance>.
2. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>.
3. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/guidance-for-schools-workplaces-institutions>.
4. [https://www.unicef.org/media/66216/file/Key%20Messages%20and%20Actions%20for%20COVID-19%20Prevention%20and%20Control%20in%20Schools\\_March%202020.pdf?sfvrsn=baf81d52\\_4](https://www.unicef.org/media/66216/file/Key%20Messages%20and%20Actions%20for%20COVID-19%20Prevention%20and%20Control%20in%20Schools_March%202020.pdf?sfvrsn=baf81d52_4).
5. [https://www.rehva.eu/fileadmin/user\\_upload/REHVA\\_COVID-19\\_Guidance\\_School\\_Buildings.pdf](https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_Guidance_School_Buildings.pdf).

### ALFACO POLSKA SP. Z O.O.

ul. Krakowska 141-155, 50-428 Wrocław  
tel. 71 340 05 75  
alfaco@alfaco.pl, www.carel.pl



### DAIKIN AIRCONDITIONING POLAND SP. Z O.O.

ul. Taśmowa 7, 02-677 Warszawa  
tel. 22 319 90 00  
office@daikin.pl, www.daikin.pl



### FRAPOL SP. Z O.O.

ul. Mierzeja Wiślana 8, 30-832 Kraków  
tel. +48 12 653 27 66  
e-mail: sekretariat@frapol.com.pl  
www.frapol.com.pl



### ROSENBERG POLSKA SP. Z O.O.

Aleje Jerozolimskie 200, 02-486 Warszawa  
tel. +48 22 720 67 73  
biuro@rosenberg.pl, www.rosenberg.pl



*Tu może znaleźć się Twój wpis w Katalogu firm*