

INSTALACJE W OBIEKTACH EDUKACYJNYCH 2026

SYSTEM WENTYLACJI MECHANICZNEJ DLA SZKÓŁ



SupraBox[®] DELUXE

NISKI POZIOM HAŁASU DO 35 DB (A)

Energooszczędny system do bezpośredniej instalacji w pomieszczeniu.

USUWA PYŁ I KURZ

UTRZYMUJE STĘŻENIE CO₂ NA OPTIMALNYM POZIOMIE

RÓWNOMIERNIE ROZPROWADZA POWIETRZE BEZ PRZECIĄGÓW

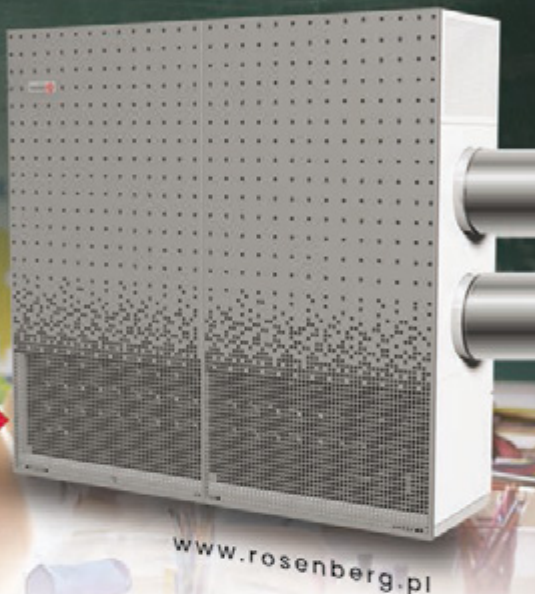
JONIZUJE POWIETRZE (OPCJA)

SPRAWNOŚĆ ODZYSKU CIEPŁA DO 90%

ŁATWOŚĆ ADAPTACJI DO UKŁADU POMIESZCZENIA

ŁATWA INSTALACJA URZĄDZENIA

WSPOMAGA WALKĘ Z SARS-COV2



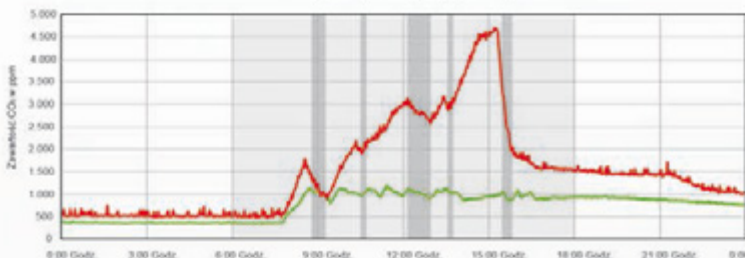
www.rosenberg.pl

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 CO₂
W SALACH LEKCYJNYCH

Okresy pracy (zawieszanie żaluzji)
Okresy pracy
Okresy pracy (zawieszanie żaluzji)
Okresy pracy
Okresy pracy



— Pomieszczenie pomiarowe 1 - z SupraBox DELUXE 750H
— Pomieszczenie pomiarowe 2 - z wentylacją okienną



| Warunki higieniczne | Stężenie CO ₂ [ppm] |
|-------------------------------|--------------------------------|
| bezpieczne, zalecane | < 1.000 |
| średnie, podwyższonego ryzyka | 1.000 - 2.000 |
| niezgodowne | > 2000 |

Ocena warunków higienicznych pod kątem stężenia CO₂ [wg VDI 6040; Pomieszczenia klasowe - wymagania]

INSTALACJE W OBIEKTACH EDUKACYJNYCH 2026



Warszawa 2026

Spis treści

| | |
|---|----|
| Wentylacja szkół – warunek konieczny dla rozwoju Polski! | 1 |
| Wentylacja szkół a nowa dyrektywa EPBD | 5 |
| Nowoczesna wentylacja sal lekcyjnych | 10 |
| Właściwa wentylacja w szkołach – inwestycja w zdrowie naszych dzieci | 15 |
| OXEN od FLOWAIR. Bezkanalowe systemy HVAC w obiektach sportowych | 18 |
| Wentylacja sal gimnastycznych. | 21 |
| Przyszłość ogrzewania budynków edukacyjnych | 30 |
| Zastosowanie urządzeń grzewczych Riello w obiektach edukacyjnych | 36 |
| Technologie i urządzenia usprawniające wentylację szkół | 38 |
| Wentylacja placówek edukacyjnych – przepisy, normy, zalecenia a rzeczywistość | 50 |
| Budynek szkolny zarządzany przez BMS | 59 |
| Czym oddychają uczniowie | 64 |
| Bezpieczeństwo wewnętrznych instalacji wodociągowych w szkołach | 69 |
| Czystość powietrza w placówkach edukacyjnych – rozwiązania uzupełniające | 76 |
| Katalog firm | 82 |

W publikacji wykorzystano m.in. materiały zamieszczone na rynekinstalacyjny.pl

Redakcja

Joanna Ryńska, Waldemar Joniec
redakcja@rynekinstalacyjny.pl

Promocja i reklama

doradczyni ds. strategii marketingowych
Monika Piekut
mpiekut@medium.media.pl
tel. kom. 536 065 603,

Wszelkie prawa zastrzeżone

© Copyright by Grupa MEDIUM

Wydawca i rozpowszechnianie

Grupa MEDIUM
04-112 Warszawa, ul. Karczevska 18
tel. 22 512 60 60
www.ksiegarniatechniczna.com.pl

Skład i łamanie

Agencja Reklamowa MEDIUM

ISSN: 2300-0355X



Wentylacja szkół – warunek konieczny dla rozwoju Polski!

Specjaliści alarmują o problemie jakości powietrza w szkołach od lat. Pierwsze jaskółki działań ze strony państwa pojawiły się jeszcze w exposè ówczesnego premiera z 2019 r. (przystąpienie do realizacji programu tysiąca zeroemisyjnych szkół) [1], lecz przed nami wciąż długa droga do poprawy jakości powietrza w obiektach edukacyjnych. Jakość powietrza w szkołach jest obecnie dla Polski jednym z najważniejszych wyzwań z zakresu zdrowia publicznego!

Należy podkreślić, że obecny rząd, jako pierwszy od zmiany ustroju w Polsce, słucha argumentów specjalistów alarmujących o problemie jakości powietrza w szkołach. Deklaracja z exposè 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 [1]. Wciąż jednak czekamy na podjęcie stosownych działań, tym bardziej, że **w dobie pandemii poprawa jakości powietrza w szkołach jest kluczowa dla unormowania nauki stacjonarnej**. Jakość powietrza w szkołach jest obecnie dla Polski jednym z najważniejszych wyzwań!

Dlaczego jakość powietrza w szkołach 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 + H₂O + CO₂. 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 CO₂ z komórek – źródło energii słabnie i zanika. Oddychając, produkujemy CO₂. Jeśli więc nie będziemy go usuwać z pomieszczeń, w których się znajdujemy, 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 CO₂.

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 CO₂ prowadzi do zakwaszenia organizmu i szeregu poważnych schorzeń z tym związanych [2].

Jak pokazały liczne badania naukowe, gdy stężenie CO₂ w powietrzu przekracza 1000 ppm (cząsteczek na milion), spada nasza sprawność umysłowa, a przy 2500 ppm przechodzimy w stan „zombie” [4]. Analiza wyników uzyskiwanych w testach matematycznych czy oceniających czytanie ze zrozumieniem jednoznacznie pokazuje, że przy stężeniach powyżej 2000–3000 ppm wyniki uzyskiwane przez uczniów są wyraźnie gorsze [14]. W przebadanych polskich szkołach stężenie dwutlenku węgla na poziomie 2500 ppm osiągnęte jest już po 15 minutach od przewietrzenia klasy podczas przerwy, aby pod koniec lekcji sięgnąć nawet 4000 ppm [5]. Warto wie-

dzień, że inspekcja weterynaryjna interweniuje, gdy stężenie CO₂ w chlewniach przekracza 3000 ppm, a hodowcom trzody 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, a 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 średnim zagęszczeniu na jednego ucznia przypadają tylko 2 m² powierzchni, czyli 6 m³ 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 CO₂ w klasie wynosi ok. 2500 ppm i dla podanego powyżej zagęszczenia uczniów przy zalecanych dwóch wymianach mamy strumień powietrza wentylacyjnego o wielkości 12 m³/h/ucznia, podczas gdy dla zaleconego przez WHO poziomu koncentracji CO₂ < 1000 ppm [7] konieczne jest co najmniej 30 m³/h/ucznia.

Niestety, sporo szkód dla wentylacji w polskich szkołach przyniosła nieprzemyślana termomodernizacja, na którą wydano prawdopodobnie już ponad miliard złotych. Proces inwestycyjny przebiegał zwykle w sposób bardzo daleki od ideału – pośpieszny i byle jaki audyt, brak połączenia inwestycji termomodernizacyjnych z procesem zarządzania energią, kluczowym dla jej oszczęd-



Sala gimnastyczna w budynku szkolnym, wyposażona w prawidłową wentylację

Źródło: Flowair

dzania, wybór najtańszego projektu i wykonawcy, najtańsze materiały o nieodpowiednich właściwościach użytkowych (w szczególności kluczowa dla termomodernizacji wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(mK)]). W konsekwencji miliony zainwestowane w termomodernizację trafiają w błoto – jej rezultat jest często inny od oczekiwanego. Co gorsza, 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.

Koszty wentylacji i jej braku

Wentylacja w polskich szkołach, choć jest dramatycznie niedostateczna, i tak generuje 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/m². Co gorsza, taki sposób wentylacji szkół, prowadzący do wysokich rachunków za ogrzewanie i wysokiego stężenia CO₂ w klasach, generuje także inne koszty.

Ile kosztuje spadek efektywności spowodowany wpływem na uczniów nadmiernego stężenia CO₂ w klasach? Koszt ten odpowiada nakładom na edukację pomnożonym przez spadek efektywności wyrażony w %. Przyjmijmy ostrożnie, że spadek efektywności, wyższy w sezonie grzewczym i niższy latem, wynosi średnio 20%. Przy 4,5 mln uczniów i rocznym koszcie kształcenia jednego ucznia wynoszącym 17 tys. zł [8] stratę z tytułu obniżenia sprawności intelektualnej uczniów i nauczycieli na skutek niedostatecznej wentylacji w szkołach można oszacować na $4,5 \text{ mln} \times 17 \text{ tys. zł/rok} \times 20\% = 15,3 \text{ mld zł/rok}$. Albo inaczej: jeśli nauka w klasach ze złą wentylacją trwa 8 lat, to przy dobrej wentylacji ten sam wynik nauczania można by osiągnąć w czasie 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_{2,5} i PM₁₀ wielokrotnie przekracza normy WHO. Szczególnie groźne jest ponad sześciokrotne średnioroczne przekroczenie normy dot. silnie kancerogennego benzo(a)pirenu. Wentylowanie klas polegające na otwieraniu okien podczas przerw nie zapewnia odpowiedniego stężenia CO₂, ale 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 [9]. 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 [10].

Straty spowodowane smogiem w klasach stanowią istotną część 111 mld zł rocznych strat ponoszonych przez Polskę na skutek zanieczyszczenia powietrza [11]. 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

Instalacje w obiektach edukacyjnych

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 ze sobą także ryzyko kalectwa, 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. Przy braku wentylacji mechanicznej mogłoby temu zapobiec częstsze wietrzenie, zalecane w wielu krajach [12], ale w licznych miejscowościach w Polsce ze względu na występowanie smogu nie jest to wskazane.

Pełny tekst artykułu dostępny na:
<http://www.rynekinstalacyjny.pl/artykul/id5233,wentylacja-szkol-warunek-konieczny-dla-rozwoju-polski>

Skróty pochodzą od redakcji

Literatura

1. Stenogram exposé premiera Mateusza Morawieckiego, 2019
2. *Wpływ dwutlenku węgla na organizm człowieka*, <https://diagnozujmy.pl/dwutlenek-węgla/> (dostęp: 10.02.2026)
3. Lee S.C., Chang M., *Indoor Air Quality Investigations at Five Classrooms*, „Indoor Air”, 9, 1999
4. Murkowski A., Skórska E., *Czy zwiększona zawartość dwutlenku węgla w powietrzu ma wpływ na sprawność intelektualną człowieka?* „Kosmos”, tom 65, nr 4 (313), 2016, s. 631–636, <http://kosmos.icm.edu.pl/PDF/2016/631.pdf> (dostęp: 10.02.2026)
5. *Stężenie CO₂ w szkołach jest zbyt wysokie*, serwis „Nauka w Polsce”, maj 2018, <https://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C29677%2Cbadania-stezenie-co2-w-szkolach-jest-zbyt-wysokie.html> (dostęp: 10.02.2026)
6. *Zanieczyszczenia gazowe w obiektach inwentarskich*, <https://www.nanosens.pl/2017/04/13/gazy-w-objektach-inwentarskich> (dostęp: 10.02.2026)
7. *WHO Guidelines for indoor air quality: Household fuel combustion*, January 2014, <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548885> (dostęp: 10.02.2026)
8. *OECD: Education at a Glance 2012*, https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2012_eag-2012-en (dostęp: 10.02.2026)
9. Niepublikowane badania własne w Zespole Szkół nr 33 w Warszawie
10. *Smog zabija nasze dzieci. Jest przyczyną wielu groźnych chorób*, <https://parenting.pl/smog-jest-przyczyna-wielu-groznnych-chorob-u-dzieci> (dostęp: 10.02.2026)
11. Deloitte, InnoEnergy, *Czyste powietrze jako wyzwanie. Rozwiązania z zakresu transportu i ogrzewnictwa na rzecz czystego powietrza*, <https://www2.deloitte.com/pl/pl/pages/zarzadzania-procesami-i-strategiczne/articles/sustainability-insights/czyste-powietrze-jako-wyzwanie.html> (dostęp: 10.02.2026)
12. *Niemieckie szkoły i Covid-19. Wietrzenie to podstawa*, <https://www.dw.com/pl/niemieckie-szko%C5%82y-i-covid-19-wietrzenie-to-podstawa/a-55326818> (dostęp: 10.02.2026)
13. Duda Ludomir, *Rekuperatory zamiast oczyszczaczy*, http://eko.org.pl/index_news.php?dzial=2&kat=20&art=2233 (dostęp: 10.02.2026)
14. Ludwiczak Anna, Ratajczak Katarzyna, *Wentylacja placówek dydaktyczno-edukacyjnych. Przegląd wybranych polskich i zagranicznych wymagań dotyczących strumienia powietrza i stężenia CO₂*, „Rynek Instalacyjny” 3/2018, <http://www.rynekinstalacyjny.pl/artykul/id4424,wentylacja-placowek-dydaktyczno-edukacyjnych-przeglad-wybranych-polskich-i-zagranicznych-wymagan-dotyczacych-strumienia-powietrza-i-stezenia-co2> (dostęp: 10.02.2026)

Wentylacja szkół a nowa dyrektywa EPBD

Przez wiele lat jakość środowiska wewnętrznego (IEQ) w szkołach, zarówno nowych, jak i poddawanych termomodernizacji, nie była uwzględniana w projektowaniu. Liczne badania naukowe zwiększają jednak świadomość o znaczeniu IEQ dla zdrowia, dobrostanu i efektywności pracy dzieci, młodzieży i pedagogów, natomiast zapisy przekształconej w 2024 roku dyrektywy EPBD dają szansę na stopniowe wprowadzenie do praktyki projektowej i wykonawczej rozwiązań technicznych zapewniających prawidłową wentylację, a za jej sprawą – wysoką IEQ.

Już w 2008 roku Centralny Instytut Ochrony Pracy stwierdził, że w ponad połowie badanych szkół zalecana wartość stężenia CO₂ (1000 ppm) została przekroczona (maks. stężenie wyniosło 4000 ppm). Stwierdzono także przekroczone stężenia lotnych związków organicznych, szczególnie w szkołach krótko po remontach. 60% ankietowanych uczniów i nauczycieli wskazywało, że klimat w pomieszczeniach jest niezadowolający – co może wskazywać na związek ze źle prowadzoną termomodernizacją [1]. Jest to problem ogólnoeuropejski, na co wskazują liczne badania pokazujące, jak jakość powietrza wewnętrznego wpływa na zdrowie, dobrostan i zdolności percepcyjne zarówno uczniów, jak i pracowników szkoły, oraz wykazujące oczywisty związek między prawidłowo działającą wentylacją a jakością powietrza. Autorzy brytyjskiego projektu badawcze-



Fot. Adobe Stock

go SAMHE wskazują, że dzieci – które spędzają jedną czwartą aktywnego czasu w szkołach – są szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza, ponieważ w przeliczeniu na masę ciała wdychają więcej powietrza niż dorośli, a wpływ zanieczyszczeń na ich rozwijające się organizmy jest długofalowy. Badania przeprowadzone w projekcie SAMHE w 364 szkołach (obejmujące łącznie 38 tys. dni szkolnych) dowiodło, że strumienie powietrza wentylacyjnego w szkołach są niższe niż określone w rozporządzeniach dla miejsc pracy (np. w biurach), co nie tylko powoduje wysoki poziom CO₂ w klasach, ale też kumulowanie się zanieczyszczeń powietrza wpływających negatywnie na zdrowie i zdolności percepcyjne (np. średnie dobowe stężenie pyłów PM_{2,5} wyniosło 4,5 µg/m³ – a wartość zalecana przez WHO jako średnia roczna wynosi obecnie 5 µg/m³). Natomiast poprawa jakości powietrza w klasach znacznie ograniczyła absencje chorobowe zimą [2, 3]. Ogólnoeuropejski projekt badawczy SINPHONIE przeprowadzony w latach 2012–2013 wykazał, że stwierdzona w wielu europejskich szkołach niedostateczna wentylacja (krotność wymian ≤ 0,68/h, strumień powietrza wentylacyjnego ≤ 6,48 m³/h/osobę) i powodowana przez to niska jakość powietrza wewnętrznego wpływa na zdrowie, samopoczucie oraz skuteczność pracy (mierzoną np. wynikami testów matematycznych i logicznych) dzieci i młodzieży. W pomieszczeniach wyposażonych w wentylację mechaniczną średnie stężenie dwutlenku węgla wyniosło 1087 ppm, a w klasach bez takiej wentylacji – 1510 ppm [4]. Według badań przeprowadzonych w ramach projektu InAirQ w klasach szkolnych panuje zbyt wysokie stężenie niektórych lotnych związków organicznych, stężenie pyłów PM_{2,5} było w salach lekcyjnych wyższe niż na zewnątrz i zwykle przekraczało 25 mg/m³ [5].

Czas na systemowe podejście do problemu!

Przekształcona w 2024 roku dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (EPBD) po raz pierwszy w historii tego aktu wprost odnosi się do jakości środowiska wewnętrznego (IEQ) w budynkach niemieszkalnych – czyli także w budynkach edukacyjnych [6]. W art. 13 wskazano, że *Państwa członkowskie ustalają wymogi dla wdrożenia odpowiednich norm jakości środowiska wewnętrznego w celu utrzymania zdrowego klimatu wewnętrznego*. Punkt 5 wymaga także, by nowe niemieszkalne budynki bezemisyjne były wyposażone w *urządzenia pomiarowe i sterujące do monitorowania i regulacji jakości powietrza wewnątrz* (w Polsce w praktyce branżowej stosuje się określenie „jakość powietrza wewnętrznego” – przyp. redakcji) [6]. Będą one dotyczyć budynków niemieszkalnych nowo wznoszonych i poddawanych ważniejszemu renowacjom – od 2030 r. (w przypadku budynków będących własnością instytucji publicznych od 2028 r.). Z kolei pkt 10d wskazuje, że systemy automatyki i sterowania budynków mają umożliwiać monitorowanie jakości środowiska wewnętrznego (IEQ), nie później niż do 29 maja 2026 roku [6].

Ważnym dokumentem, wyjaśniającym jak Komisja Europejska rozumie i zamierza stosować oraz egzekwować przepisy, są wytyczne dotyczące wdrażania nowej dyrektywy EPBD [7], w których określono także dokumenty odniesienia w zakresie IEQ:

- norma PN-EN 16798-1 opisująca oczekiwania użytkowników wobec IEQ, z zastosowaniem kategorii od I do IV [8],
- Level(s) – ramowy wzorzec działań dla zrównoważonego budownictwa, stworzony przez Komisję Europejską – uzupełniający powyższą normę [9],
- w przypadku budynków poddawanych renowacji – system TAIL, omówiony także na łamach „Rynku Instalacyjnego” nr 6/2025 [10, 11].

Wytyczne te są także spójne z rekomendacjami formułowanymi przez organizacje branżowe (Nordic Ventilation Group, REHVA i Eurovent) w opracowaniu *Wzorcowe zapisy regulacji prawnych dotyczących jakości środowiska wewnętrznego dostosowane do przekształconej w 2024 r. dyrektywy EPBD*, przygotowanego przez przedstawicieli trzech organizacji, które ukazały się w styczniu 2025 roku [12, 13].

REKUPERATOR SZKOLNY

TeachAIR 900



Rekuperator TeachAIR – innowacyjne rozwiązanie Alnor dla zdrowego powietrza w edukacji

W placówkach oświatowych jakość powietrza ma bezpośredni wpływ na zdrowie, koncentrację i wyniki uczniów. Projektanci i zarządcy szkół coraz częściej szukają urządzeń, które łączą skuteczność wentylacji z energooszczędnością i cichą pracą. Odpowiedzią na te potrzeby jest TeachAIR - nowoczesny rekuperator firmy Alnor, zaprojektowany specjalnie z myślą o obiektach edukacyjnych.

Wydajność dopasowana do sal lekcyjnych

W jednej klasie uczy się nawet 30 uczniów - to ponad **900 m³ świeżego powietrza na godzinę**. TeachAIR zapewnia taki przepływ, zachowując przy tym **sprawność odzysku ciepła do 95% i odzysk wilgoci do 73%**. Dostępny w dwóch wersjach - **700 i 900 m³/h** - spełnia normy **EN 13141-7** oraz dyrektywy **UE 1253/2014 i 1254/2014**, gwarantując efektywną i zgodną z przepisami wentylację w szkołach.

Czyste powietrze bez kompromisów

TeachAIR wyróżnia się **podwójnym systemem filtracji** - elektrostatycznym i węglowym - który usuwa nie tylko pyły zawieszone PM10, PM2,5 i PM1, ale również **szkodliwe gazy (NOx, SO₂, O₃, CO)** oraz **lotne związki organiczne (LZO/VOC)**. To jedyne urządzenie w swojej klasie, które skutecznie redukuje **formaldehyd, benzen** czy **toluen**, obecne w meblach, farbach i środkach czystości.

Stabilna praca i komfort akustyczny

System **Constant Flow (CF)** automatycznie utrzymuje stały przepływ powietrza niezależnie od zabrudzenia filtrów czy zmian ciśnienia w kanałach. Dzięki temu rekuperator działa wydajnie i bezobsługowo. Poziom hałasu na poziomie **ok. 30 dB** umożliwi montaż urządzenia **bezpośrednio w sali lekcyjnej**, bez wpływu na komfort nauki.

Energooszczędność i elastyczność

Funkcja **recyrkulacji powietrza** oraz opcjonalna **chłodniczo-nagrzewnica** pozwalają utrzymać komfort cieplny przy minimalnym zużyciu energii - także poza godzinami lekcyjnymi. TeachAIR można zintegrować z systemami **BMS** lub **SmartHOME**, co ułatwia zdalne sterowanie i automatyzację pracy wielu jednostek w budynku.



TeachAIR - przewaga w projektach edukacyjnych

Wybór odpowiedniego rekuperatora do szkoły to kwestia spełnienia przepisów, ale również efektywności inwestycji i bezpieczeństwa użytkowników. TeachAIR daje projektantom, instalatorom i zarządcom realne argumenty w rozmowach z inwestorami oraz przedstawicielami samorządów, łącząc nowoczesną technologię z praktycznymi korzyściami eksploatacyjnymi.

Najważniejsze atuty urządzenia to:

- zgodność z wymaganiami sanitarnymi i prawnymi;
- unikalna filtracja VOC i gazów - przewaga technologiczna na rynku;
- cicha praca i stabilny przepływ dzięki Constant Flow;
- integracja z systemami sterowania i niskie koszty eksploatacji.

TeachAIR od Alnor to kompleksowe rozwiązanie dla szkół, przedszkoli i uczelni - idealne do nowych inwestycji i modernizacji.

Zadbaj o komfort i zdrowie uczniów - wybierz TeachAIR, świeże powietrze, które wspiera naukę.



ALNOR SYSTEMY WENTYLACJI SP. Z O.O.

Dowiedz się więcej:

Monitoring i regulacja wentylacji

Zarówno dyrektywa EPBD [6], jak i wytyczne KE [7] jako kluczowe rozwiązanie techniczne, które jest niezbędne dla uzyskania i zachowania odpowiedniej jakości powietrza wewnętrznego, wskazują system monitoringu i regulacji parametrów składających się na tę jakość. Komisja zaleca też, by pomiary i sterowanie IAQ były prowadzone w pomieszczeniach długotrwale użytkowanych – do takich stref w budynkach niemieszkalnych zalicza także sale szkolne – wskazując jednocześnie, że przestrzenie komunikacyjne, takie jak schody i korytarze nie wpływały negatywnie na strefy, w których przewidziany jest stały pobyt ludzi [7]. Jako parametry istotne dla monitoringu KE wskazuje [7]:

- ditlenek węgla stanowiący dobry wskaźnik efektywności wentylacji w obszarach, w których głównym źródłem zanieczyszczeń są ludzie. Stężenie CO₂ w pomieszczeniu nie powinno przekraczać 1350 ppm (powyżej stężenia na zewnątrz), zgodnie z normą PN-EN 16789-1 [8];
- PM_{2,5} (pyły zawieszone, w przypadku których średnica aerodynamiczna cząstki wynosi ≤ 2,5 μm), które mogą pochodzić z pomieszczeń (procesy spalania) lub z zewnątrz, przy czym ciągły monitoring PM_{2,5} może być potrzebny tylko wtedy, kiedy stężenie PM_{2,5} w powietrzu atmosferycznym przekracza wartości wskazane w normie PN-EN 16798-1 [8].

Stężenie CO₂ w powietrzu jest dobrym wskaźnikiem obecności i aktywności osób przebywających w pomieszczeniu, a tym samym – jakości powietrza wewnętrznego (sam ditlenek węgla dopiero w wyraźnie wyższych stężeniach oddziałuje na człowieka negatywnie). Ze względu na dostępne, efektywne kosztowo technologie stężenie CO₂ może być monitorowane jako wskaźnik działania wentylacji oraz służyć jako parametr regulujący jej wydajność. Selektywne czujniki w sposób ciągły lub w określonych interwałach monitorują zawartość CO₂ w powietrzu. Na tej podstawie następuje automatyczne ustawienie strumienia powietrza wentylacyjnego, odpowiedniego do obecnych potrzeb. Dzięki temu zachowana jest równowaga między komfortem dzieci, młodzieży i pracowników a ekonomiczną pracą instalacji.

Sterowanie wentylacją mechaniczną poprzez stężenie CO₂ jest także funkcjonalnością zalecaną przez tzw. Grupę Trzydziestu Sześciu – zespół naukowców z całego świata, liczący 36 osób (w tym trzech Polaków związanych z zagranicznymi ośrodkami naukowymi), która poprzez artykuły naukowe i dialog ze Światową Organizacją Zdrowia oraz rządami apeluje o zmianę paradygmatu projektowania wentylacji budynków [14]. Z kolei organizacje branżowe we wspólnej rekomendacji [12, 13] wskazują, że bezpośrednie pomiary wszystkich zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego są wysoce utrudnione, ponieważ zwykle wymagają one pobrania próbek, a następnie analizy chemicznej – natomiast powszechnie dostępne niedrogie systemy pomiaru CO₂ dostarczają wiarygodnych danych. W rekomendacji zalecono, by w przyszłych wymaganiach prawnych w zakresie monitoringu i regulacji wskazano następujące wymagania:

- wyposażenie instalacji w czujniki umożliwiające wiarygodny pomiar parametrów uwzględnianych w monitoringu i regulacji jakości powietrza wewnętrznego,
- używanie jako parametru monitoringu i regulacji jakości powietrza wewnętrznego stężenia CO₂, a w strefach nawiewu powietrza zewnętrznego bez filtrów dodatkowym parametrem monitoringu i regulacji powinien być poziom pyłów zawieszonych PM_{2,5} [12, 13].

Stężenie CO₂ a zdrowe klasy szkolne

Maksymalny poziom CO₂ w pomieszczeniach (powyżej stężenia na zewnątrz) jest też jednym ze wskaźników jakości powietrza zawartych w normie PN-EN 16798 [8] i dla szkół powinien wynosić:

- 550 ppm CO₂ – wysoki poziom oczekiwać (dla przestrzeni zajmowanych przez osoby bardzo wrażliwe pod względem środowiskowym (inwalidzi, osoby chore, bardzo młode oraz osoby w podeszłym wieku);

- 800 ppm CO₂ – normalny poziom oczekiwań (dla budynków nowych i modernizowanych);
- 1350 ppm CO₂ – umiarkowany poziom oczekiwań (może być stosowany w odniesieniu do budynków istniejących).

Dodatkowo, tzw. poziom tła CO₂ w atmosferze wciąż rośnie – obecnie jego średnie miesięczne stężenie globalne wynosi prawie 429 ppm [15].

Literatura

1. Pośniak Małgorzata i in., *Kształtowanie jakości powietrza w pomieszczeniach szkolnych*, Centralny Instytut Ochrony Pracy Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2010
2. *Improving Air Quality in UK Schools. Recommendation of Schools' Air Quality Monitoring for Health and Education (SAMHE)*, 2024
3. World Health Organization, *WHO Global Air Quality Guidelines. Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulphur Dioxide and Carbon Monoxide* (2021) (dostęp: 10.09.2025)
4. *Schools Indoor Pollution and Health Observatory Network in Europe – Final Report*, Unia Europejska, 2014
5. Newsletter nr 4 INAIRO – Projektu Ponadnarodowe Planowanie Działań dla Zintegrowanego Zarządzania Jakością Powietrza, Łódź, wrzesień 2018
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1275 z dnia 24 kwietnia 2024 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) (Dz.Urz. UE L 2024/1275 z 8.05.2024)
7. *Annex to the Communication to the Commission – Approval of the content of the draft Commission Notice providing guidance on new or substantially modified provisions of the recast Energy Performance of Buildings Directive (EU) 2024/1275. Technical building systems, indoor environmental quality and inspections (Articles 13, 23 and 24)*, (dostęp: 10.09.2025)
8. PN-EN 16798-1:2019 *Charakterystyka energetyczna budynków. Wentylacja budynków. Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki. Moduł M1-6*
9. European Commission, *Level(s) European framework for sustainable buildings*, https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels_en (dostęp: 10.02.2026)
10. ALDREN, *ALliance for Deep Energy RENovation in Buildings*, <https://aldren.eu/comfort-well-being/> (dostęp: 10.09.2025)
11. Wargocki Paweł, *Ocena i etykiety jakości środowiska wewnętrznego (IEQ)*, „Rynek Instalacyjny” 2025, 6
12. *Model Indoor Environmental Quality regulation aligning with new provisions of the 2024 EPBD recast*. REHVA, Nordic Ventilation, Eurovent
13. *Jakość środowiska wewnętrznego dostosowana do wymagań przekształconej w 2024 roku dyrektywy EPBD*, „Rynek Instalacyjny” 2025, 4
14. Morawska Lidia i in., *A paradigm shift to combat indoor respiratory infection. Building ventilation systems must get much better*. „Science” 2021, 372, 6543
15. Global Monitoring Laboratory. Earth System Research Laboratories, <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/> (dostęp: 10.09.2025)

Nowoczesna wentylacja sal lekcyjnych

Zarówno konsekwencje przebywania uczniów i nauczycieli w dusznych klasach z wysokim stężeniem zanieczyszczeń mikrobiologicznych i chemicznych, jak i dobroczynny wpływ wysokiej jakości środowiska wewnętrznego (Indoor Environmental Quality – IEQ) są udokumentowane licznymi badaniami. Kluczową rolę w zapewnieniu wysokiej IEQ odgrywa wentylacja. Dlatego tworzone są podstawy – prawne, organizacyjne i techniczne – umożliwiające powszechne zastosowanie w szkołach rozwiązań technicznych zapewniających ich odpowiednią, nowoczesną wentylację.

Zrozumienie roli skutecznej wentylacji miejsc, w których dzieci (bardziej wrażliwe i podatne na oddziaływanie zanieczyszczeń niż osoby dorosłe), ale też i nauczyciele odpowiedzialni za ich edukację, spędzają ok. jednej czwartej swojego **aktywnego** czasu [1], wiąże się z rosnącą świadomością dwóch zjawisk – wpływu wysokiej jakości powietrza wewnętrznego na dobrostan i funkcje poznawcze człowieka oraz roli wentylacji w profilaktyce rozprzestrzeniania chorób przenoszonych drogą powietrzną.

Ten drugi czynnik jest wręcz przyczynkiem do światowej dyskusji o konieczności zmiany paradygmatu wentylacji. Już w czerwcu 2021 r. naukowcy (pod kierunkiem prof. L. Morawskiej) wykazali, że globalnej społeczności mierzącej się z pandemią COVID-19 brakuje regulacji prawnych i wytycznych technicznych w zakresie powietrza wewnętrznego, pozwalających na zapobieganie chorobom przenoszonym drogą powietrzną [2]. Naukowcy wskazują wręcz, że zmiana paradygmatu w zakresie wentylacji budynków ma dziś znaczenie podobne do tego, jakie w XIX wieku miała powszechna w brytyjskich miastach organizacja dostaw wody i budowa scentralizowanych systemów kanalizacyjnych [2]. Trudno wyobrazić sobie dziś szkołę bez instalacji wod-kan! Czy za 100 lat podobnie archaiczne będą się wydawały dzisiejsze budynki bez instalacji wentylacji i uzdatniania powietrza?

Kręta droga do wentylacji szkół

Prowadzone na poziomie krajowym, europejskim i światowym działania mają doprowadzić do faktycznego uwzględnienia jakości środowiska wewnętrznego – na równi z bezemisyjnością czy efektywnością energetyczną – w przepisach prawnych i wytycznych technicznych wręcz wymuszających zastosowanie odpowiednich rozwiązań technicznych zarówno w budynkach nowo projektowanych, jak i modernizowanych.

Powołana pod koniec września 2025 roku światowa Komisja na rzecz Zdrowego Powietrza Wewnętrznego ONZ ma wyznaczyć globalne ramy działania (Global Framework for Action) prowadzące do powstania skoordynowanych rozwiązań systemowych poprawiających jakość powietrza wewnętrznego. Licząca 170 ekspertów z różnych branż i środowisk z 30 krajów komisja wskazuje jakość powietrza wewnętrznego jako kluczowe zagadnienie zdrowia publicznego [3]. Przekształcona w 2024 roku dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (EPBD) wprost odnosi się do jakości środowiska wewnętrznego (IEQ) w budynkach niemieszkalnych – czyli także w szkołach [4]. Państwa członkowskie mają ustalić *wymogi dla wdrożenia odpowiednich norm jakości środowiska wewnętrznego w celu utrzymania zdrowego klimatu wewnętrznego*. Natomiast nowe niemieszkalne budynki bezemisyjne mają być wyposażone w *urządzenia pomiarowe*



Nowoczesne **systemy wentylacyjne**

Zadbajmy o powietrze, którym oddychają uczniowie

Dobra wentylacja w szkołach to podstawa zdrowia, koncentracji i komfortu nauki. Właśnie takie wsparcie gwarantują certyfikowane systemy wentylacyjne.

Postaw na ogromne doświadczenie i najwyższą jakość Lindab, będącą wynikiem wnikliwych badań, wieloletniej współpracy z projektantami i wykonawcami oraz odpowiedzią na konkretne potrzeby użytkowników.

- **Kompleksowe rozwiązania wentylacyjne**, oparte na zaawansowanej technologii, niezawodności oraz energooszczędności.
- **Najwyższa klasy szczelności** – D.
- **10-letnia gwarancja** na wszystkie okrągłe systemy wentylacyjne.
- Certyfikaty **Krajowej Oceny Technicznej**.
- **Opatentowany system** montażu Lindab Safe.

i sterujące do monitorowania i regulacji jakości powietrza wewnętrznego – od 2030 r. (w przypadku budynków będących własnością instytucji publicznych od 2028 r.), a systemy automatyki i sterowania budynków mają umożliwiać monitorowanie jakości środowiska wewnętrznego, nie później niż do dnia 29 maja 2026 r. [4]. Wydane pod koniec czerwca 2025 roku wytyczne Komisji Europejskiej dotyczące wdrażania nowej dyrektywy [5] wskazują, że dokumentami odniesienia w zakresie IEQ mają być: norma PN-EN 16798-1 opisująca oczekiwania użytkowników wobec IEQ, z zastosowaniem kategorii od I do IV [6] oraz Level(s) – ramowy wzorzec działań dla zrównoważonego budownictwa, stworzony przez Komisję Europejską [7], a także – w przypadku budynków poddawanych renowacji – system oceny jakości środowiska wewnętrznego przed i po termomodernizacji TAIL (Thermal, Acoustic, Indoor Air, Light) [8, 9]. Natomiast w lipcu 2025 roku – i tu już mowa ściśle o rozwiązaniach technicznych dla szkół – zarządzeniem głównego inspektora sanitarnego, dr Pawła Grzesiowskiego, powołano krajową grupę ekspertów, która docelowo opracuje techniczne wytyczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji instalacji wentylacji i klimatyzacji dla szkół zarówno nowo projektowanych, jak i modernizowanych. Wytyczne te mają uwzględnić także rachunek ekonomiczny. Jako dokument opracowany z udziałem środowiska projektantów, mają szansę stać się istotnym dokumentem odniesienia przy pracach nad budynkami nowymi i remontowanymi [10].

Połączyć niemożliwe?

Nowoczesna wentylacja pomieszczeń w szkole powinna być projektowana, realizowana i eksploatowana zgodnie z wieloletnią, wciąż aktualizowaną wiedzą opartą na dowodach, nie może także rozbić się o realia ekonomiczne, instytucjonalne czy organizacyjne.

Dlatego powinna jednocześnie:

- zapewnić wymianę powietrza ze zużytego na świeże, ale jednocześnie odpowiednio oczyszczone z zanieczyszczeń atmosferycznych, w tym pyły zawieszane (PM) i substancje organiczne (np. benzo(a)piren), których nośnikiem są pyły zawieszane o większej średnicy (PM₁₀),
- chronić dzieci i młodzież oraz nauczycieli i innych pracowników przed rozprzestrzenianiem się chorób zakaźnych przenoszonych drogą powietrzną (w tym wirusy grypy, RSV, COVID-19),
- przyczyniać się do odpowiedniej jakości środowiska wewnętrznego (IEQ), wpływając pozytywnie nie tylko na samą jakość powietrza wewnętrznego (IAQ), ale też czynniki komfortu cieplnego – takie jak temperatura, wilgotność i prędkość powietrza zapewniająca brak przeciągów – czy komfort akustyczny (poprzez cichą pracę),
- pracować w sposób dostosowany do potrzeb oraz energooszczędny – tak aby zoptymalizować zużycie energii zarówno na pracę samego systemu wentylacji systemu wentylacji, jak i ogrzewania powietrza wentylacyjnego,
- nie zakłócać pracy placówek edukacyjnych i stanowić racjonalną pozycję w ich budżecie – jeśli wprowadzenie wentylacji do klas szkolnych wymaga inwestycji i przeprowadzenia remontów, konieczne jest zarówno wsparcie finansowe (np. rządowe), jak i minimalne zakłócenie działania szkoły.

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, ogłaszając w 2021 roku program „Wentylacja dla szkół i domów” – którego celem było zaprojektowanie i komercjalizacja rozsądnych kosztowo efektywnych rozwiązań polskich firm – określiło wymogi dla budynków istniejących, wskazując na wiodącą rolę **rozproszonych systemów wentylacji**, montowanych osobno w poszczególnych klasach i mieszkaniach, z uwzględnieniem efektywności energetycznej, regulacją temperatury powietrza nawiewanego oraz obniżaniem poziomu stężenia CO₂ i zanieczyszczeń mikrobiologicznych i filtracji zanieczyszczeń pyłowych PM_{2,5} i PM₁₀. Zrealizowany w Szkole Podstawowej nr 3 w Lędzinach pilotaż wykonany przez firmę Galmet uwzględnił m.in. automatyczne zarządzanie wentylacją w zależności od liczby uczniów.

Przykład tej realizacji jest zgodny z dokumentami odniesienia do przekształconej dyrektywy EPBD, wskazującymi na istotną rolę wentylacji sterowanej zapotrzebowaniem (Demand Controlled Ventilation), określanej także jako „wentylacja na żądanie” [5].

Komfort a zdrowie w szkole

Podstawą wentylacji sterowanej zapotrzebowaniem jest regulacja strumienia powietrza wentylacyjnego, która wymaga odpowiedniego opomiarowania klas – czujniki jakości powietrza w czasie rzeczywistym monitorują stężenie CO₂ jako wskaźnik regulujący strumień powietrza, stężenie pyłów zawieszonych PM_{2,5} i PM₁₀, wilgotność i temperaturę. Dzięki temu strumień powietrza jest idealnie dostosowany do potrzeb, co przyczynia się do racjonalnego zużycia energii na pracę systemu wentylacji. Natomiast w okresie wzmożonych zachorowań na grypę czy COVID-19 (mając też na uwadze nowe choroby powodowane przez nieznane jeszcze wirusy system wentylacji powinien być użytkowany ze stałym projektowym strumieniem powietrza wentylacyjnego. Przełączenie między trybami pracy wentylacji powinno być ręczne - obecnie nie istnieją czujniki do natychmiastowego pomiaru obecności i liczebności patogenów w powietrzu, które mogłyby umożliwić przejście automatyczne.

Zgodnie z opisywanym wcześniej, postulowanym nowym paradygmatem wentylacji, docelowy strumień powietrza wentylacyjnego „na co dzień” powinien być oparty na kryterium komfortu (metodyka określona zgodnie z normą PN-EN 16798-1 [6]), w okresach nasilonych zachorowań stała wartość strumienia wentylacyjnego powinna zaś być przyjęta jako wyższa z dwóch wartości projektowych wyznaczonych według kryterium komfortu i kryterium zdrowotnego. Uwzględniając szereg skwantyfikowanych czynników – w tym rodzaj wykonywanych czynności i aktywność w klasie szkolnej, czas spędzany w szkole, prawdopodobieństwo zakażenia w przypadku obecnej jednej osoby chorej (także bezobjawowo) – naukowcy i branża zaproponowali [11, 12, 13] prosty wzór umożliwiający wyznaczenie objętości powietrza zewnętrznego (wentylacyjnego), który dla szkół ma postać:

$$Q = 10(N-1) - 0,24V$$

gdzie:

N – projektowa liczba osób w pomieszczeniu,

V – kubatura pomieszczenia [m³].

Przyjęcie projektowej wartości strumienia powietrza wentylacyjnego wymaga korekty uwzględniającej skuteczność wentylacji. W przypadku metody opartej na kryterium komfortu skuteczność wentylacji ϵ_v , określona w normie PN-EN 16798-1 [6], uwzględnia pracę systemów, w których nie występuje pełne mieszanie powietrza (dla systemu z pełnym zmieszaniem powietrza $\epsilon_v = 1$). W metodzie opartej na kryterium zdrowotnym uwzględnia się natomiast skuteczność wentylacji z punktowym źródłem zanieczyszczeń ϵ_b , biorącą pod uwagę fakt emisji zanieczyszczeń (cząstek zawierających wirusy) przez osobę zakażoną.

Urządzenia odpowiednie dla szkół

Funkcją nowoczesnych rozwiązań wentylacyjnych mogą pełnić małe, kompaktowe centrale wentylacyjne z odzyskiem ciepła podwieszane i naścienne, jednostki stojące ściennie czy podparapełtowe czy urządzenia ściennie lub dachowe o zintegrowanej czerpno-wyrzutni. Odzysk ciepła ze strumienia powietrza wentylacyjnego ogranicza straty energii wynikające z wywiewu powietrza ogrzewanego na zewnątrz. Konieczne są także odpowiednia regulacja i sterowanie, umożliwiające szybką reakcję wentylacji na bieżące potrzeby (np. liczbę osób w klasie lub ich aktywność, ale także stężenie pyłów zawieszonych w powietrzu nawiewanym).

Urządzenia powinny być wyposażone w nawiew wyporowy, zapewniający rozprzestrzenianie powietrza w całej sali szkolnej, ale bez przeciągów. Kluczowa jest odpowiednia filtracja – od filtrów ogólnych o wysokiej skuteczności usuwających pyły zawieszane, przez filtry elektrostatyczne wspomagające usuwanie różnych rodzajów zanieczyszczeń po filtry z węglem aktywowanym usuwającym zanieczyszczenia lotne. Ważną cechą tych urządzeń powinny być niewielkie wymagania przestrzenne (np. montaż pod oknami) oraz łatwy montaż, który nie wymaga ingerencji w konstrukcję budynku (np. konieczne jest wykonanie tylko otworów na czerpnię i wyrzutnię powietrza). Bardzo interesującym kierunkiem w kontekście perspektywy elektryfikacji ogrzewania jest połączenie kilku 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.

Literatura

1. *Improving air quality in UK schools. Recommendation of Schools' Air quality Monitoring for Health and Education (SAMHE) project*, 2024
2. Morawska Lidia i in., *A paradigm shift to combat indoor respiratory infection. Building ventilation systems must get much better*, „Science” 2021, vo. 372, issue 6543, s. 689–691, DOI: 10.1126/science.abg2025
3. *Healthy Indoor Air: A Global Call to Action*, <https://webtv.un.org/en/asset/k1v/k1vv2t3bma> (dostęp: 10.02.2026)
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1275 z dnia 24 kwietnia 2024 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) (Dz.Urz. UE L 2024/1275)
5. *Annex to the Communication to the Commission – Approval of the content of the draft Commission Notice providing guidance on new or substantially modified provisions of the recast Energy Performance of Buildings Directive (EU) 2024/1275. Technical building systems, indoor environmental quality and inspections (Articles 13, 23 and 24)*, (dostęp: 10.02.2026)
6. PN-EN 16798-1:2019 *Charakterystyka energetyczna budynków. Wentylacja budynków. Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki. Moduł M1-6*
7. European Commission, *Level(s). European framework for sustainable buildings*, https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels_en (dostęp: 10.02.2026)
8. Aldrem, *Comfort& Well-being*, <https://aldrem.eu/comfort-well-being/> (dostęp: 10.02.2026)
9. Wargocki Paweł, *Ocena i etykiety jakości środowiska wewnętrznego (IEQ)*, „Rynek Instalacyjny” 2025, nr 6
10. *Prawo do dobrej jakości powietrza wewnętrznego mają także uczniowie i nauczyciele – rozmowa z dr inż. Jerzym Sową*, „Rynek Instalacyjny” 2025, nr 9
11. Kurnitski Jarek, Kiil Martin, Wargocki Paweł, Boerstra Atze, Seppänen Olli, Olesen Bjarne, Morawska Lidia, *Respiratory infection risk-based ventilation design method*, „Building and Environment” 2021, 206, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108387> (dostęp: 10.02.2026)
12. Kurnitski Jarek, Aganovic Amar, Schild Peter, Seppänen Olli et al., *Health-based target ventilation rates and design method for reducing exposure to airborne respiratory infectious diseases. REHVA proposal for post-COVID target ventilation rates*, REHVA, 21.12.2022, https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/2022/Health_based_target_ventilation_09012023.pdf (dostęp: 10.02.2026)
13. Ryńska Joanna, *Kryterium zdrowotne w projektowaniu wentylacji*, „Rynek Instalacyjny” 2023, nr 3
14. Materiały techniczne i informacyjne: Alnor, Galmet, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Pro-Vent, Rosenberg, Trox

Właściwa wentylacja w szkołach – inwestycja w zdrowie naszych dzieci

Badania wykazują, że aż 90% naszego czasu spędzamy w zamkniętych pomieszczeniach: w domach, w szkołach, zakładach pracy, biurach. Dlatego też środowisko wewnętrzne jest tak ważne dla naszego zdrowia i dobrego samopoczucia. Jakość powietrza w budynkach ma znaczący wpływ na nasz organizm, zdolność koncentracji i uczenia się, zwłaszcza w przypadku dzieci, które są zazwyczaj bardziej wrażliwe niż dorośli, ponieważ dopiero się rozwijają. Ich niedojrzały układ odpornościowy, nie w pełni wykształcony układ oddechowy, krótsze i węższe drogi oddechowe, częste oddychanie przez usta ograniczające możliwość wyłapywania zanieczyszczeń oraz to, że jedzą, piją i oddychają więcej w stosunku do rozmiarów swojego ciała, sprawiają, że są bardziej narażone na działanie różnych czynników środowiskowych niż dorośli.

Poprawa jakości powietrza przekłada się na lepszy stan zdrowia i lepszą produktywność

Według badań, poziom zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniach może być dwu-, pięcio-, a czasem nawet stukrotnie wyższy niż na zewnątrz. W wielu krajach na całym świecie sytuacja w szkołach jest podobna – mają one problemy ze złą jakością powietrza w pomieszczeniach i ich słabą wentylacją, co jest bardzo niepokojące, biorąc pod uwagę czas, jaki uczniowie spędzają w salach lekcyjnych.

Częste narażanie uczniów na przebywanie w źle wentylowanych pomieszczeniach może prowadzić do rozwoju wielu przewlekłych i groźnych chorób układu oddechowego (astma, alergie, zmniejszona pojemność płuc) oraz sercowo-naczyniowego. Dzieci są szczególnie narażone na pyły zawieszone i gazy składające się na smog, co skutkuje obniżoną odpornością, częstszymi infekcjami, bólami głowy, kłopotami z koncentracją oraz gorszymi wynikami w nauce.



Lindab Pascal – rozwiązanie niezawodne i zoptymalizowane energetycznie

Nowoczesne rozwiązania wentylacyjne, jakie oferuje Lindab, mogą być wyposażone w system dopasowujący przepływ powietrza w wentylacji i klimatyzacji do potrzeb. Dzięki temu następować będzie stała automatyczna regulacja przepływu powietrza nawiewanego i wyciąganego. Wydajność systemu wentylacyjnego będzie zmieniać się w zależności od liczby osób przebywających w pomieszczeniu, co jest niezwykle istotne w przypadku szkół: sal lekcyjnych, sal gimnastycznych, hal sportowych, w których następują częste zmiany w liczbie uczniów. Gwarancją dobrej jakości powietrza wewnętrznego, ale także osiągnięcie oszczędności związanych z eksploatacją

systemów wentylacyjnych dają systemy VAV (ang. *Variable Air Volume* – zmienny przepływ powietrza), do których należy energooszczędny Lindab Pascal, zapewniający efektywnie kontrolowaną i energooszczędną wentylację.

W szkołach, w których pomieszczenia mogą być przez jakiś czas puste, a następnie nagle wchodzi do nich 25 lub więcej osób, niezbędna jest elastyczna i zoptymalizowana pod względem energetycznym wentylacja, która zapewni stały i odpowiedni klimat w pomieszczeniu. Lindab Pascal jest więc bardzo dobrym rozwiązaniem, ponieważ reguluje przepływ powietrza w zależności od zapotrzebowania i utrzymuje niski poziom CO₂.

Lindab Pascal to system wentylacji sterowanej zapotrzebowaniem, określanej także jako wentylacja na żądanie (DCV), który za pomocą sensorów i czujników obecności dostosowuje strumień przepływu powietrza do bieżącego zapotrzebowania w poszczególnych pomieszczeniach. Tradycyjne systemy wentylacyjne generują cały czas koszty: są włączone i wyłączone, podczas gdy system Lindab Pascal jest zawsze na poziomie operacyjnym, który zapewnia optymalną i energooszczędną wentylację.

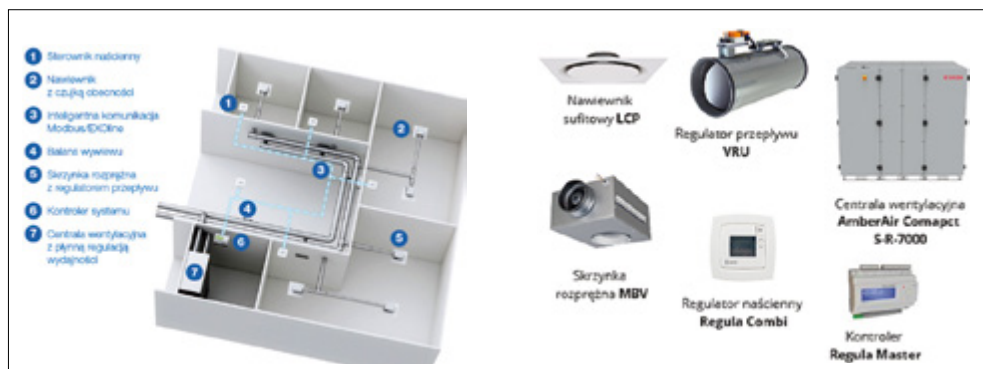
Zdrowa wentylacja = cicha wentylacja

W Lindab kierujemy się zasadą, że nasze urządzenia i rozwiązania mają za zadanie poprawiać klimat w pomieszczeniach – kompleksowo. Stawiamy na przemyślane projektowanie, wykorzystanie materiałów najwyższej jakości oraz stosowanie nowoczesnej technologii, dzięki czemu nasze systemy wentylacyjne dostarczają nie tylko świeże powietrze, ale także zapewniają komfort akustyczny oraz energooszczędność, co jest równie istotne, a często, niestety, pomijane. Systemy wentylacyjne, choć niezbędne dla dobrej jakości powietrza, mogą być bowiem jednym z głównych źródeł zakłócających ciszę wewnątrz obiektu. Ruch powietrza w kanałach i nawiewnikach generuje turbulencje



Fot. Nawiewnik sufitowy LCP, sprawdzający się w układach wentylacji DVC





Rys. 1. Przykładowa konfiguracja wentylacji sterowanej zapotrzebowaniem (DCV): a) schemat instalacji, b) komponenty instalacji

oraz opory, co może zwiększać poziom hałasu. Nadmierny oraz długotrwały hałas w budynkach jest nieoczywistym problemem, który wpływa na komfort, samopoczucie i zdrowie użytkownika obiektu. W miejscach pracy i szkołach często prowadzi do rozproszenia uwagi, stresu, spadku produktywności oraz wzrostu liczby błędów, w domach natomiast zakłóca relaks i sen. Dlatego nie tylko dostarczenie zdrowego powietrza, ale również zapewnienie komfortu akustycznego (m.in. kontrola źródeł hałasu w budynku), odgrywają istotną rolę w tworzeniu zdrowego środowiska wewnętrznego.

Optymalne projektowanie systemów wentylacyjnych powinno opierać się na dokładnej analizie przeznaczenia pomieszczeń, liczby użytkowników oraz zmiennych warunków eksploatacyjnych. Prawie 70-letnia obecność w branży HVAC pozwoliła Lindab wypracować i wdrożyć standardy, które kładą nacisk na dostarczanie kompleksowych rozwiązań wentylacyjnych. Systemy wentylacyjne Lindab funkcjonują w wielu obiektach na świecie, również tych o najwyższych wymaganiach technicznych. Do każdego z realizowanych projektów Lindab podchodzi indywidualnie, uwzględniając specyficzne wymagania funkcjonalne oraz techniczne obiektu.

Lindab Sp. z o.o.
 Wieruchów, ul. Sochaczewska 144,
 05-850 Ożarów Mazowiecki
 tel. 022 250 50 50
 e-mail: kontakt.handlowy.wentylacja@lindab.com
<https://www.lindab-polska.pl>
 formularz kontaktowy: <https://www.lindab-polska.pl/pl/kontakt/formularz-kontaktowy.html>



OXEN od FLOWAIR Bezkanałowe systemy HVAC w obiektach sportowych



Obiekty sportowe zlokalizowane przy szkołach, takie jak hale sportowe i sale gimnastyczne, należą do najbardziej wymagających przestrzeni pod względem jakości powietrza i komfortu cieplnego. Intensywna aktywność fizyczna użytkowników, duże zmiany liczby osób oraz zmienny charakter zajęć powodują szybki wzrost stężenia CO₂, wilgotności i temperatury. Obiekty te bardzo często funkcjonują w budynkach istniejących, poddawanych etapowej modernizacji lub rewitalizacji. W takich warunkach kluczowe znaczenie ma zastosowanie systemów wentylacji i ogrzewania, które są elastyczne, energooszczędne i możliwe do wdrożenia bez ingerencji w konstrukcję obiektu. Przykładem takiego rozwiązania jest urządzenie Oxen od FLOWAIR.

Specyfika hal sportowych i sal gimnastycznych a wymagania instalacyjne

Hale sportowe oraz przyszkolne sale gimnastyczne charakteryzują się bardzo zmiennym obciążeniem użytkowym. W ciągu dnia mogą być wykorzystywane przez różne grupy – od zajęć wychowania fizycznego, przez treningi sportowe, po wydarzenia pozalekcyjne. Każdy z tych scenariuszy generuje inne zapotrzebowanie na wentylację i ogrzewanie. Systemy HVAC muszą reagować dynamicznie, zapewniając intensywną wymianę powietrza w czasie aktywności fizycznej i tryb oszczędny poza godzinami użytkowania.

Oxen łączy w jednym urządzeniu funkcje wentylacji, odzysku energii oraz ogrzewania powietrza, dzięki czemu pozwala utrzymać stabilne warunki środowiskowe nawet przy dużych wahaaniach obciążenia. Takie podejście upraszcza projektowanie instalacji i umożliwia lepsze dopasowanie systemu do rzeczywistego sposobu użytkowania obiektu sportowego.

Bezkanalowość jako klucz w realizacjach obiektów sportowych

Rewitalizacja przyszkolnych hal sportowych coraz częściej obejmuje nie tylko poprawę estetyki czy docieplenie budynków, ale również modernizację systemów wentylacji i ogrzewania. Zwiększenie szczelności obiektów bez jednoczesnego zapewnienia wentylacji mechanicznej prowadzi do pogorszenia jakości powietrza, szczególnie podczas intensywnych zajęć sportowych.

Jednym z największych wyzwań w projektowaniu i modernizacji obiektów z przeznaczeniem sportowym jest ograniczona możliwość prowadzenia instalacji kanałowych. Duże kubatury, konstrukcje dachowe, brak przestrzeni technicznej oraz potrzeba zachowania pełnej funkcjonalności obiektu często uniemożliwiają zastosowanie klasycznych central wentylacyjnych.

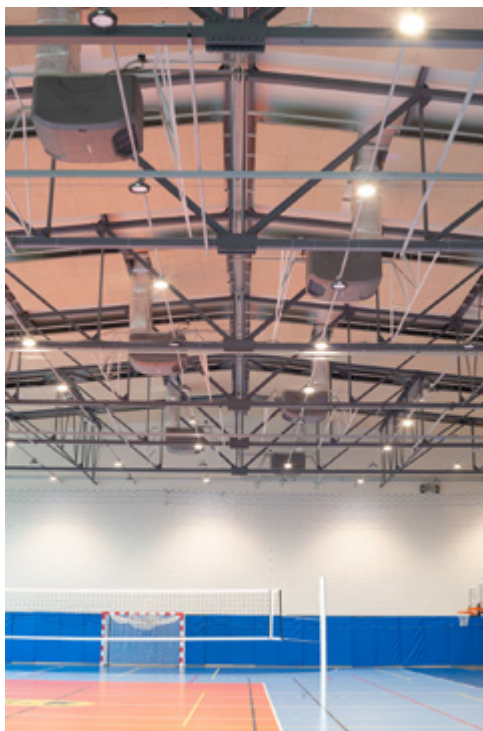
Bezkanalowe urządzenia Oxen pozwalają skutecznie wprowadzić wentylację mechaniczną bez ingerencji w konstrukcję obiektu. Jest to rozwiązanie szczególnie korzystne w starszych salach gimnastycznych, gdzie możliwości techniczne są ograniczone, a wymagania użytkowników stale rosną. Takie rozwiązanie pozwala na etapową realizację inwestycji i skraca czas montażu. Dodatkowo urządzenie może być zamontowane na ścianie lub pod stropem, co ułatwia proces projektu.

Rozwiązania techniczne dopasowane do intensywnego użytkowania

Obiekty sportowe wymagają systemów o dużej wydajności i wysokiej niezawodności. Oxen zapewnia skuteczną wentylację nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła, co ma szczególne znaczenie w okresie jesienno-zimowym, gdy intensywna wentylacja mogłaby prowadzić do dużych strat energii. Nawiewane powietrze jest filtrowane i ogrzewane, co pozwala utrzymać komfort cieplny nawet przy dużej liczbie użytkowników. Stabilne warunki temperaturowe i odpowiednia jakość powietrza mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo oraz komfort ćwiczących.

Oxen został zaprojektowany z myślą o pracy w wymagających warunkach eksploatacyjnych, charakterystycznych dla hal sportowych i sal gimnastycznych. Solidna konstrukcja oraz zastosowanie trwałych materiałów obudowy jak EPP, zapewniają wysoką odporność na intensywne użytkowanie, zmienne warunki temperaturowe oraz podwyższoną wilgotność powietrza. Elementy urządzenia dobrano tak, aby zachować niezawodność i stabilne parametry pracy nawet przy dużych obciążeniach wentylacyjnych, typowych dla sal sportowych.

W obiektach średnio i wielokubaturowych niezwykle istotna jest automatyzacja pracy systemów HVAC. Ręczne sterowanie wentylacją w pomieszczeniach o zmiennym harmonogramie użytkowania jest nieefektywne i prowadzi do nadmiernego zużycia energii. Oxen może pracować w oparciu o czujniki stężenia CO₂, temperatury oraz harmonogramy czasowe. System automatycznie zwiększa intensywność wentylacji podczas zajęć sportowych, a po ich zakończeniu przechodzi w tryb ograniczonego poboru energii. Takie rozwiązanie pozwala utrzymać wysoką jakość powietrza przy jednoczesnej optymalizacji kosztów eksploatacyjnych.



SYSTEM FLOWAIR – centralne zarządzanie obiektami sportowymi

Oxen jest częścią SYSTEMU FLOWAIR, który umożliwia spójne zarządzanie wieloma urządzeniami w jednym obiekcie. W szkołach dysponujących kilkoma mniejszymi salami gimnastycznymi lub halą sportową z zapleczem centralny, nadzór nad instalacjami HVAC znacząco ułatwia eksploatację.

SYSTEM FLOWAIR pozwala na monitorowanie parametrów pracy i szybką diagnostykę. Dla administratorów oznacza to większą kontrolę nad obiektem, mniejsze ryzyko awarii oraz możliwość racjonalnego planowania kosztów utrzymania infrastruktury sportowej.



Optymalny dobór urządzenia

Prawidłowy dobór urządzenia OXEN do hali sportowej lub przyszkolnej sali gimnastycznej powinien zawsze wynikać z analizy rzeczywistych scenariuszy użytkowania obiektu. Kluczowe znaczenie mają takie parametry jak kubatura hali, maksymalna liczba użytkowników, intensywność aktywności fizycznej, harmonogram zajęć oraz oczekiwany poziom komfortu cieplnego i jakości powietrza. Istotne jest również uwzględnienie możliwości montażowych, dostępnej powierzchni przegród zewnętrznych oraz planowanej automatyki sterującej. Właściwe zestawienie modułów wentylacyjnych i grzewczych pozwala precyzyjnie dopasować wydajność urządzenia do potrzeb obiektu, bez przewymiarowania instalacji. W tym procesie znaczącym wsparciem jest zaplecze projektowe FLOWAIR. Dział wsparcia projektowego oferuje pomoc w doborze konfiguracji urządzenia, przygotowaniu założeń projektowych oraz optymalizacji rozwiązania zarówno pod kątem technicznym, jak i eksploatacyjnym.

Oxen – kompleksowe rozwiązanie HVAC

OXEN od FLOWAIR to rozwiązanie idealnie dopasowane do potrzeb hal sportowych i przyszkolnych sal gimnastycznych. Bezkanałowa konstrukcja, zaawansowane rozwiązania techniczne, inteligentna automatyka oraz integracja z SYSTEMEM FLOWAIR sprawiają, że urządzenie skutecznie wspiera zarówno nowe inwestycje, jak i procesy rewitalizacji obiektów sportowych. Efektem jest poprawa jakości powietrza, komfortu użytkowników oraz efektywności energetycznej, bez compromiśów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych. Dzięki temu Oxen doskonale sprawdza się zarówno w nowych inwestycjach, jak i w modernizowanych halach i salach gimnastycznych o podwyższonych wymaganiach eksploatacyjnych.



FLOWAIR Sp. z o.o.
ul. Chwaszczyńska 135, 81-571 Gdynia
tel. +48 58 627 57 20
info@flowair.pl

 **FLOWAIR**
intelligent air flow

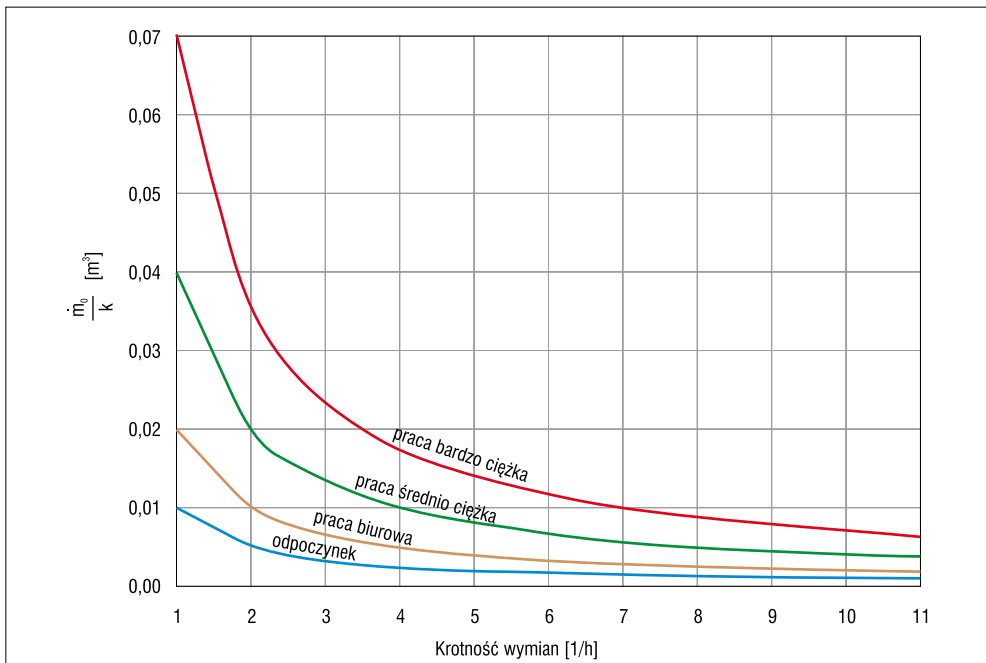
Wentylacja sal gimnastycznych

Jednym z obowiązków szkół publicznych jest konieczność zapewnienia uczniom miejsca i warunków do realizacji zajęć wychowania fizycznego. W budynku szkolnym taką funkcję pełni sale gimnastyczne. Dużym problemem może się okazać wentylacja małych szkolnych sal gimnastycznych, dlatego szczegółowo przedstawiono problemy z nią związane oraz sposoby ich rozwiązywania.

W szkołach zazwyczaj występują dwa rodzaje sal gimnastycznych:

- typowe szkolne sale sportowe, tzw. **małe sale gimnastyczne lub sportowe**, przeznaczone wyłącznie do zajęć wychowania fizycznego;
- **szkolne sale sportowe** przeznaczone również do zawodów sportowych i wykorzystywane nie tylko w celach związanych z edukacją, tzw. **duże sale sportowe**.

Warunki panujące w sali gimnastycznej powinny zapewniać uczniom komfort cieplny, dlatego zalecana minimalna temperatura nie powinna być w nich niższa niż 16°C. Na warunki środowiska wewnętrznego w największym stopniu wpływają stopień wykorzystania sali gimnastycznej oraz liczba uczniów biorących jednocześnie udział w zajęciach wychowania fizycznego. Dla zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza wewnątrz obiektu najbardziej istotna jest wentylacja pomieszczenia, która szczególne znaczenie ma w małej sali gimnastycznej.



Rys. 1. Nomogram do obliczania stężenia dwutlenku węgla w wentylowanym pomieszczeniu [5, 6]

Emisja zanieczyszczeń

Głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza w sali gimnastycznej są przebywający w niej ludzie. W wyniku zwiększonej aktywności fizycznej wzrasta częstotliwość oddychania uczniów i wzrasta się wydzielanie potu. Dlatego najważniejsze z punktu widzenia wentylacji są:

- stężenie dwutlenku węgla w powietrzu,
- zawartość wilgoci,
- zyski ciepła,
- występowanie nieprzyjemnych zapachów.

Stężenie dwutlenku węgla

Ze względów zdrowotnych koncentracja CO₂ w pomieszczeniu powinna być jak najbardziej zbliżona do stężenia tego gazu w powietrzu zewnętrznym [1], czyli obecnie ok. 400 ppm. Choć organizm może krótkotrwale dostosować się do stężenia ok. 1500 ppm CO₂, duże stężenia oddziałują na człowieka niekorzystnie. Dlatego w pomieszczeniach, w których przebywają ludzie, zaleca się, by stężenie CO₂ nie przekraczało wartości 1000 ppm, rekomendowanej przez WHO [2, 3].

Szacuje się, że człowiek w czasie odpoczynku wydziela ok. 10–12 l CO₂/h, natomiast podczas wysiłku fizycznego ilość ta wzrasta cztero–sześciokrotnie [4]. W przypadku pracy fizycznej średnio ciężkiej, do której można porównać wysiłek fizyczny podczas zajęć wychowania fizycznego, jest to ok. 40 l/h [5].

Znaczący wpływ na stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniu ma jego wentylacja. Stężenie CO₂ w stanie ustalonym dla $t \rightarrow \infty$ [5]:

$$S_{(t \rightarrow \infty)} = 10^6 \frac{\dot{m}}{\dot{V}} + S_n = 10^6 \frac{n}{V_p} \left(\frac{\dot{m}_0}{k} \right) + S_n \text{ [ppm]} \quad (1)$$

gdzie:

$S_{(t \rightarrow \infty)}$ – stężenie dwutlenku węgla po ustaleniu się stanu równowagi, ppm;

S_n – naturalne stężenie dwutlenku węgla w środowisku, ppm;

\dot{V} – ilość powietrza wentylacyjnego, m³/h;

V_p – kubatura pomieszczenia, m³;

\dot{m} – wielkość emisji dwutlenku węgla w pomieszczeniu, m³/h;

\dot{m}_0 – wielkość emisji dwutlenku węgla od jednego człowieka, m³/h;

n – liczba osób;

k – krotność wymian, 1/h.

Czynnik (m_0/k) powyższego równania przedstawiono na **rys. 1**.

Porównajmy stężenie dwutlenku węgla dla pomieszczenia o tej samej kubaturze, dla tej samej liczby osób i ich aktywności, ale dla różnych warunków wymiany powietrza:

- liczba osób: 30,
- $m_0 = 40$ l/h (lekcja zajęć wychowania fizycznego, praca średnio ciężka),
- kubatura pomieszczenia: 1000 m³,
- początkowe stężenie CO₂ w pomieszczeniu oraz stężenie CO₂ w powietrzu doprowadzonym: 370 ppm,
- recyrkulacja: brak:
- krotność wymian: 2 (przykład A) oraz 1 (przykład B).

$$(A) \quad S_{(t \rightarrow \infty)} = 10^6 \frac{n}{V_p} \left(\frac{\dot{m}_0}{k} \right) + S_n = 10^6 \frac{30}{1000} (0,02) + 370 = 970 \text{ [ppm]}$$

FLOWAIR

Oxen

Oxen od FLOWAIR to zdecentralizowane urządzenie wentylacyjne z odzyskiem ciepła, przeznaczone do modernizacji budynków. Pracuje niezależnie od instalacji grzewczej, zapewniając skuteczną wentylację nawiewno-wywiewną i realne oszczędności energii – bez potrzeby prowadzenia kanałów.

- **Idealna do termomodernizacji**
- **Montaż bez kanałów wentylacyjnych**
- **Niższe koszty zużycia energii**
- **Lepszą jakość powietrza w obiekcie**

$$(B) S_{(t \rightarrow \infty)} = 10^6 \frac{n}{V_p} \left(\frac{\dot{m}_0}{k} \right) + S_n = 10^6 \frac{30}{1000} (0,04) + 370 = 1570 \text{ [ppm]}$$

Jak można zauważyć, brak odpowiedniej wentylacji znacząco zwiększa stężenie CO₂ w pomieszczeniu, w którym przebywają ludzie.

Zawartość wilgoci w powietrzu sali gimnastycznej

Podobnie jak w przypadku stężenia dwutlenku węgla w powietrzu w pomieszczeniu, również w przypadku wilgoci głównym źródłem emisji są uczniowie. Jej emisja jest związana z intensywnością ćwiczeń fizycznych.

Należy również pamiętać, że w razie podwyższenia temperatury w sali gimnastycznej intensywność wydzielania potu przez uczniów wzrośnie, gdyż jest on naturalnym czynnikiem biorącym udział w ochładzaniu ciała.

Ilość emitowanej pary wodnej przez człowieka wynosi 30–410 g/h, do nawet 580 g/h podczas dużego wysiłku fizycznego. Emisję wilgoci od ludzi, często nazywaną również zyskami wilgoci od ludzi, można obliczyć na podstawie wzoru:

$$\dot{W}_L = k \cdot n \cdot w \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \quad (2)$$

gdzie:

k – współczynnik jednoczesności przebywania ludzi;

n – liczba osób;

w – jednostkowy strumień emitowanej wilgoci od osoby przebywającej w pomieszczeniu, kg/h.

Ilość powietrza wentylacyjnego w zależności od obciążenia wilgocią można obliczyć ze wzoru [6]:

$$\dot{V} = \frac{W}{\rho_w \cdot (x_w - x_n)} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (3)$$

gdzie:

W – strumień pary wodnej generowany w pomieszczeniu, kg/h;

x_w – zawartość wilgoci w powietrzu wywiewanym, kg_{par}/kg_{powietrza suchego};

x_n – zawartość wilgoci w powietrzu nawiewanym, kg_{par}/kg_{powietrza suchego};

ρ_w – gęstość powietrza wilgotnego, kg/m³.

W ciągu całego roku zawartość wilgoci w powietrzu wewnętrznym pomieszczeń jest wyższa niż w powietrzu zewnętrznym. W związku z tym następuje przepływ dyfuzyjny pary wodnej na zewnątrz [7].

Do przykładu wcześniejszego pomieszczenia dodajmy dane dla wilgoci:

- ilość wilgoci emitowanej od osoby: 300 g/h,
- zawartość wilgoci w powietrzu zewnętrznym: 2,5 g/kg,
- zawartość wilgoci w powietrzu wywiewanym: 10 g/kg.

Jak można zauważyć na powyższym przykładzie, dla takiej kubatury i przy tej liczbie osób na sali do odprowadzenia wilgoci powinna wystarczyć sprawnie działająca wentylacja grawitacyjna zapewniająca dwie wymiany powietrza na godzinę.

Porównując z poprzednimi przykładami – obciążenie wilgocią jest mniej uciążliwe od obciążenia dwutlenkiem węgla. Jednak wilgoć w niedogrzejanej lub źle wentylowanej sali powoduje wykrapanie wilgoci na zimnych powierzchniach ścian i pojawianie się pleśni.

$$\dot{W}_L = 1 \cdot 30 \cdot 0,3 = 9 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right], \quad \dot{V} = \frac{9}{1,2 \cdot (0,01 - 0,0025)} = 1000 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Emisja nieprzyjemnych zapachów

Emisja nieprzyjemnych zapachów z ciała człowieka wzrasta wraz z intensywnością wysiłku, wpływa na nią także zatem higiena osobista. Jednak podczas wysiłku fizycznego dominującymi zanieczyszczeniami powietrza są inne czynniki (para wodna, dwutlenek węgla), dlatego w większości przypadków zagwarantowanie niskiego poziomu stężenia CO₂ w sali sportowej wystarcza do zmniejszenia wpływu emisji nieprzyjemnych zapachów na ćwiczących.

Ilość powietrza zewnętrznego niezbędna do usunięcia zapachów wytworzonych przez człowieka i utrzymania przez niego higieny waha się na ogół w granicach 10–50 m³/h na osobę [6].

Emisja i zyski ciepła

Emisja ciepła przez człowieka zależy od stopnia jego aktywności fizycznej. Główną pozycją w bilansie cieplnym organizmu jest energia z przemiany chemicznej pokarmu, a całkowita ilość wydzielanego ciepła (tzw. zyski ciepła od człowieka) wynoszą w zależności od intensywności pracy 90–290 W [6].

Natomiast wymiana ciepła pomiędzy pomieszczeniem a otoczeniem zachodzi w wyniku przenikania ciepła przez przegrody, tzn. przez ściany, strop i podłogę, w mniejszym zaś stopniu w wyniku wypromieniowywania ciepła. Intensywność tej wymiany zależy m.in. od:

- różnicy temperatur pomiędzy pomieszczeniem a otoczeniem,
- współczynnika przewodzenia ciepła związanego z rodzajem materiału konstrukcyjnego, z jakiego wykonane są przegrody, oraz zastosowanych izolacji cieplnych,
- a także od powierzchni wymiany ciepła i intensywności omywania ścian przez powietrze.

Wpływ na zapotrzebowanie na ciepło ma również wiatr (infiltracja), a intensywność wymiany powietrza i związane z tym straty ciepłne zależą od szczelności pomieszczenia oraz prędkości i kierunku wiatru.

Zimą sale gimnastyczne powinny być dogrzewane w okresie październik–kwiecień, gdy warunki zewnętrzne nie sprzyjają prowadzeniu zajęć wychowania fizycznego na świeżym powietrzu. Latem temperatura w sali niejednokrotnie jest za wysoka dla utrzymania komfortu cieplnego (w większości przypadków brakuje instalacji klimatyzacyjnych). Ponieważ zwykle czas ten przypada na okres letnich wakacji, te największe zyski ciepła nie są znaczącym wyznacznikiem jakości dla tego typu obiektów szkolnych.

Zagrożenia związane z niedostateczną wentylacją

Wśród zagrożeń, które wiążą się z niedostateczną wentylacją szkolnych sal gimnastycznych, możemy wyróżnić:

- a) **zagrożenia wpływające na osoby przebywające w środowisku sali**, związane głównie ze szkodliwym oddziaływaniem na zdrowie uczniów i nauczycieli oraz niezapewnieniem im odpowiednich warunków higienicznych i komfortu cieplnego;
- b) **zagrożenia wpływające na stan techniczny i higieniczny obiektu i jego wyposażenia**, związane z wykraplaniem wilgoci na chłodnych powierzchniach oraz zagrzybieniem i uszkodzeniami przegród budowlanych.

Brak odpowiedniej wentylacji pogarsza jakość powietrza wewnętrznego, którym oddychają ludzie. Jednocześnie zła jakość powietrza przyczynia się do pogorszenia stanu obiektu, np. poprzez wzrost jego zawilgocenia.

Wzrost zawartości wilgoci w powietrzu wewnętrznym przy niedostatecznej wentylacji sprzyja wykrapaniu wilgoci na zimnych powierzchniach (punkt rosy). W wyniku tego następuje niszczenie powłok malarskich i tynkarskich oraz rozwija się pleśń. Występowanie grzybów pleśniowych i emisja ich zarodników do powietrza w takich warunkach sprawia, że mogą one zajmować znaczne powierzchnie.

Punkt rosy oznacza stan dla takiej temperatury powietrza, dla której ciśnienie cząstkowe pary wodnej zawartej w powietrzu jest równe ciśnieniu nasycenia pary. W przypadku dalszego obniżania temperatury powietrza nastąpi wykrapanie się wilgoci, zatem jest to stan, od którego rozpoczyna się skraplanie pary wodnej (w powietrzu tworzy się mgła) [7].

Osiągnięcie punktu rosy oznacza, że przy danej temperaturze i ciśnieniu powietrze nie może pochłonąć już więcej wilgoci, czyli zostało nasycone. Aby nie następowało więc wykrapanie się wilgoci na powierzchniach przegród budowlanych, temperatura wewnętrznej powierzchni przegród (ścian zewnętrznych) powinna być wyższa przynajmniej o 1°C od temperatury punktu rosy [7].

Poza występowaniem kondensacji na powierzchni przegród budowlanych, istnieje ryzyko wykrapania się wilgoci we wnętrzach przegród. Tworzące przegrody materiały higroskopijne (np. drewno w postaci klepek, z których wykonuje się parkiet) pochłaniają wilgoć, co powoduje ich pęcznienie, zwiększają się ich wymiary liniowe i masa. Pojawiają się nierówności, spaczenie, aż w końcu parkiet nie nadaje się do użytku. W przypadku stropów drewnianych istnieje ryzyko zwiększenia ich masy, co może być ostatecznie przyczyną nawet katastrofy budowlanej. Sytuację pogarsza izolacja termiczna wykonana w sposób uniemożliwiający odparowywanie pochłoniętej wilgoci na zewnątrz obiektu.

Podstawową metodą poprawienia jakości powietrza w pomieszczeniu jest doprowadzenie czystego powietrza w celu rozcieńczenia i wyprowadzenia zanieczyszczeń [1]. Ze względów bezpieczeństwa zdrowotnego uczniów i nauczycieli, a także ze względu na samą konstrukcję obiektu, należy zatem zadbać o właściwą wentylację sali gimnastycznej.

Wentylacja naturalna i wentylacja mechaniczna

Według normy [8] pomieszczenia przeznaczone do stałego i czasowego pobytu ludzi powinny mieć zapewniony dopływ co najmniej 20 m³/h powietrza zewnętrznego dla każdej przebywającej w nich osoby dorosłej i 15 m³/h dla dziecka, natomiast pokoje klimatyzowane oraz wentylowane o nieotwieranych oknach – co najmniej 30 m³/h na każdą osobę.

Dla porównania wg ASHRAE (USA) strumień świeżego powietrza dostarczany do pomieszczenia dla jednej osoby nie powinien być mniejszy niż 36 m³/h.

Wentylacja sali może być realizowana w dwojaki sposób, a mianowicie jako wentylacja:

- **naturalna**, w której ruch powietrza wywołują czynniki naturalne, takie jak np. działanie wiatru, różnica temperatury,
- **mechaniczna**, w której ruch powietrza wywoływany jest pracą wentylatorów.

Wentylacja naturalna polega na wymianie powietrza w pomieszczeniach w wyniku oddziaływania na budynek czynników atmosferycznych, takich jak temperatura, wiatr i nasłonecznienie. Różnica temperatury między powietrzem wewnątrz i na zewnątrz budynku wpływa na powstanie różnicy gęstości powietrza. W wyniku tej różnicy powietrze jest wprawiane w ruch. Ciepłe powietrze z uwagi na mniejszą gęstość unosi się do góry, natomiast zimne powietrze opada.

Do wentylacji naturalnej zalicza się: wentylację grawitacyjną, przewietrzanie, infiltrację i eksfiltrację oraz aerację [5].

Infiltracja i eksfiltracja są spowodowane różnicą temperatury powietrza, a tym samym gęstością powietrza w pomieszczeniu i na zewnątrz pomieszczenia oraz nadciśnieniem wywołanym przez parcie wiatru na przegrody zewnętrzne.

Wielkość wymiany powietrza zależy od stopnia nieszczelności przegród.

Infiltracja w okresie zimowym odgrywa znacznie większą rolę niż latem. W budynkach starych z nieszczelną stolarką może powodować 1–1,5 wymiany na godzinę, a przy znacznym naporze wiatru nawet do trzech wymian na godzinę.

W przypadku stolarki o przeciętnej szczelności infiltracja może powodować ok. 1 wymianę na godzinę, a dla bardzo szczelnych okien i drzwi krotność wymian powietrza w pomieszczeniach spowodowana infiltracją może wynosić zaledwie 0,1–0,2 h⁻¹ [6].

Najbardziej popularną formą zaplanowanej wentylacji naturalnej jest

- **pionowa wentylacja grawitacyjna**, wykorzystująca tzw. **efekt kominowy**,
- oraz **wentylacja pozioma**, wykorzystująca efekt naporu wiatru – w wyniku oddziaływania wiatru na budynek od strony napływu powstaje nadciśnienie, po przeciwnej stronie podciśnienie, a istotną rolę w powstawaniu tej różnicy ciśnień ma prędkość wiatru i geometria budynku.

W wentylacji grawitacyjnej całkowita różnica ciśnień panujących u wlotu i wylotu kominu wentylacyjnego wynosi [4]:

$$\Delta p = h(\rho_z - \rho_w)g \text{ [Pa]} \quad (4)$$

gdzie:

g – przyspieszenie ziemskie, m/s²;

h – wysokość kominu wentylacyjnego, m;

ρ_z – gęstość powietrza zewnętrznego, kg/m³;

ρ_w – gęstość powietrza wewnętrznego, kg/m³.

Powyższa różnica ciśnień wywołuje przepływ powietrza w przewodzie kominowym.

Często optymistycznie przyjmuje się, że w pomieszczeniach z dobrze zaprojektowaną wentylacją grawitacyjną krotność wymian powietrza wynosi ok. 2 h⁻¹. Jednak działanie wentylacji grawitacyjnej ustaje w przypadku bardzo szczelnych pomieszczeń, natomiast duże nieszczelności w budynkach mogą powodować zaburzenia w jej działaniu.

Ruch powietrza w kominie wentylacyjnym powstaje, gdy temperatura powietrza w pomieszczeniu różni się od temperatury zewnętrznej. Jeśli temperatury te są sobie równe, przepływ ustaje, a po odwróceniu temperatur odwróceniu ulega również przepływ powietrza w kominie.

Poprawę działania wentylacji grawitacyjnej osiąga się, stosując tzw. **wywietrzaki** zainstalowane na zakończeniu kominu wentylacyjnego, które pod wpływem oddziaływania wiatru zwiększają różnicę ciśnień. Niestety podczas bezwietrznej pogody wywietrzaki nie działają, lecz stają się dodatkowym elementem zwiększającym opór przepływu [5].

Jednym z najprostszych i często stosowanych sposobów wymiany powietrza w pomieszczeniu jest przewietrzanie, polegające na otwieraniu okien i drzwi [9]. Według [10] pomieszczenia w szkołach, w których odbywają się zajęcia, powinny być wietrzone podczas każdej przerwy, a jeżeli istnieje taka konieczność, również podczas zajęć.

Otwieranie okien w salach gimnastycznych może być jednak utrudnione, jeżeli podczas montażu nieprawidłowo ułożono kraty, np. są one zbyt blisko umiejscowione i mogą uniemożliwiać otwieranie okien, a nawet ich uchylenie.

W przypadku niezadawalających efektów działania wentylacji naturalnej obiektu należy zastosować wentylację mechaniczną. W odróżnieniu od nieprzewidywalnej wentylacji naturalnej, wentylacja mechaniczna może być prowadzona w sposób w pełni kontrolowany. Wentylacja mechaniczna polega na wymuszeniu przepływu powietrza za pomocą wentylatorów. W salach sportowych zastosowanie znajduje wentylacja mechaniczna:

- a) **wywiewna**, w której wentylatory usuwają powietrze zużyte, a dopływ świeżego powietrza odbywa się w sposób naturalny poprzez nieszczelności i/lub nawiewniki;

- b) **nawiewno-wywiewna**, w której nawiew i wywiew powietrza realizowane są za pomocą wentylatorów.

Zastosowanie wentylacji mechanicznej umożliwia kontrolowanie wymiany powietrza w pomieszczeniu. Można dzięki niej osiągnąć większą krotność wymian powietrza i większe prędkości przepływu powietrza. Za pomocą wentylacji mechanicznej można również realizować dogrzewanie pomieszczenia.

Jednak pełną kontrolę nad parametrami ciepło-wilgotnościowymi umożliwia zastosowanie klimatyzacji-wentylacji pomieszczenia. Za pomocą tej instalacji można utrzymywać zarówno temperaturę, jak i wilgotność na zadanym poziomie. Niestety inwestorzy często rezygnują z tego rozwiązania, gdyż koszt inwestycyjny i późniejsze koszty eksploatacyjne są wyższe niż w przypadku utrzymywania instalacji wentylacji mechanicznej.

Odgrzybianie przegród budowlanych

Często spotykanym zjawiskiem występującym w szkolnych salach sportowych jest zagrzybienie ścian, które niestety w wielu przypadkach jest skutkiem nieprawidłowej eksploatacji obiektu, np. podejmowania niewłaściwych działań związanych z oszczędzaniem energii cieplnej.

Stosowanie metod skupiających się wyłącznie na usuwaniu pleśni poprzez spryskiwanie powierzchni środkiem grzybobójczym przynosi zazwyczaj krótkotrwały efekt jej usunięcia i po krótkim czasie problem pojawia się ponownie. Opryski te powinny być prowadzone jedynie w okresie niewykorzystywania sali gimnastycznej, np. podczas ferii, wakacji, przerw świątecznych, gdyż opary tych związków oddziałują niekorzystnie na człowieka.

Poprawę sytuacji w przypadku zawilgocenia obiektu może zagwarantować jedynie jednocześnie:

- usprawnienie wentylacji pomieszczenia,**
- osuszenie przegród budowlanych** (np. poprzez ogrzewanie całego pomieszczenia z intensywną wentylacją, kierowanie strumienia powietrza bezpośrednio w miejsca zagrzybione i usuwanie powietrza zużytego),
- zastosowanie środków grzybobójczych na powierzchniach skolonizowanych przez grzyby pleśniowe,**
- utrzymywanie temperatury powierzchni przegród budowlanych powyżej temperatury punktu rosy.**



Prawidłowo wentylowana mała sala gimnastyczna z zastosowaniem urządzeń bezkanałowych (Żywiec) Fot. Flowair

Podsumowanie

- Istotą prawidłowego działania wentylacji jest skuteczne usuwanie wraz z wywiewanym powietrzem nadmiaru zanieczyszczeń, w tym wilgoci, dwutlenku węgla i zapachów, dlatego konieczna jest dbałość o jej sprawne działanie.
- Na zapewnienie prawidłowej wentylacji należy szczególną uwagę zwracać podczas prac termomodernizacyjnych, gdyż zwiększenie szczelności termicznej obiektu często powoduje zaburzenie działania wentylacji, a nawet może być przyczyną jej zaniku. Tak też dzieje się w przypadku szczelnej stolarki okiennej i drzwiowej, która przy zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej redukuje wymianę powietrza w pomieszczeniach.
- Jakkolwiek woda w postaci pary wodnej występuje naturalnie w powietrzu wewnętrznym pomieszczeń, w przypadku znacznych wartości wilgotności powietrza istnieje ryzyko jej wykroplenia na chłodnych powierzchniach obiektu budowlanego. Jest to sytuacja niekorzystna, gdyż sprzyja rozwojowi grzybów pleśniowych.
- Pojawienie się nadmiaru wilgoci w przegrodach budowlanych jest również niepożądane, gdyż zawilgocenie przegród sprzyja:
 - zwiększeniu intensywności procesów korozyjnych (korozja mechaniczna, biologiczna, chemiczna),
 - pogorszeniu właściwości fizyko-mechanicznych materiałów oraz stanu higieniczno-sanitarnego pomieszczeń [7].
- Zwiększenie wilgotności przegród intensyfikuje wymianę ciepła i zwiększa straty ciepła w okresie zimowym.
- Należy pamiętać, że niedopuszczalne jest zasłanianie kratki wentylacyjnych, tym bardziej kiedy w sali gimnastycznej stosowana jest wyłącznie wentylacja grawitacyjna.
- Zastosowanie wentylacji mechanicznej lub klimatyzacji-wentylacji i prawidłowa ich eksploatacja umożliwiają utrzymywanie parametrów ciepłno-wilgotnościowych powietrza w pomieszczeniu i jakości tego powietrza na odpowiednim poziomie.
- Właściwy mikroklimat w szkolnych salach gimnastycznych niewątpliwie wpływa pozytywnie na ćwiczących uczniów.

Literatura

1. Kaiser Krzysztof, *Mikroklimat sal lekcyjnych*, „TCHiK” 1–2/2017, s. 7–12
2. Badyda Artur (red. wersji polskiej), *Wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) dotyczące jakości powietrza z 2021 roku – drogowskaz do zdrowszego powietrza dla wszystkich* (dostęp: 10.02.2026)
3. Kaiser Krzysztof, *Oddziaływanie dwutlenku węgla na organizm człowieka i stężenie CO₂ w pomieszczeniach wentylowanych*, „TCHiK” 6–7/2015, s. 229–237
4. Kaiser Krzysztof, Wolski Andrzej *Hałas i zanieczyszczenia w wentylacji*, Wyd. Masta, Gdańsk 2011
5. Kaiser Krzysztof, Wolski Andrzej, *Wentylacja mechaniczna pomieszczeń usługowych: zakładów fryzjerskich, kosmetycznych, tatuażu i odnowy biologicznej*, „TCHiK” 6–7/2008, s. 253–265
6. Kaiser Krzysztof, *Wentylacja i klimatyzacja. Wymagania prawne, projektowanie, eksploatacja*, Wyd. Masta, Gdańsk 2015
7. Kaiser Krzysztof, *Kondensacja wilgoci na powierzchni i we wnętrzu przegród budowlanych*, „TCHiK” 6–7/2014, s. 248–253
8. PN-83/B-03430/Az:2000 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej*
9. Wolański Napoleon (red.), *Biomedyczne podstawy rozwoju i wychowania*, PWN, Warszawa 1979
10. Pośniak Małgorzata, Jankowska Elżbieta, Kowalska Joanna, Golofit-Szymczak Małgorzata, Jankowski Tomasz, *Kształtowanie jakości powietrza w pomieszczeniach szkolnych*, CIOP, Warszawa 2010

Przyszłość ogrzewania budynków edukacyjnych

Energia na ogrzewanie i chłodzenie pochłania nawet do 70% całej energii zużywanej przez budynek. Można ją zaoszczędzić, zapobiegając jej ucieczce (za pomocą skutecznego docieplenia przegród), odyskując (m.in. dzięki wentylacji mechanicznej z rekuperacją) oraz stosując efektywne energetycznie źródła ciepła. Nowoczesne źródło ciepła daje nie tylko efekt ekonomiczny, ale też ekologiczny, przyczyniając się do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń pochodzących ze spalania paliw konwencjonalnych.

Budując lub gruntownie remontując budynek edukacyjny (czyli budynek użyteczności publicznej), trzeba spełnić wymagania standardu WT2021, zawartego w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [1]. Standard ten określa izolacyjność przegród budowlanych oraz maksymalną wartość wskaźnika energii pierwotnej EP zużywanej na ogrzewanie, wentylację i przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Dla budynków użyteczności publicznej wynosi on $45 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$. Spełnienie tego warunku wymaga zastosowania wysokosprawnych systemów grzewczych oraz wykorzystania szeroko pojętych odnawialnych źródeł energii (OZE).

Wykorzystanie niskotemperaturowej energii otoczenia

Otacza nas energia – ma ją każdy obiekt o temperaturze wyższej niż 0 bezwzględne (-273°C). Zjawisko to wykorzystują pompy ciepła – elektryczne urządzenia grzewcze przekształcające niskotemperaturową energię otoczenia, czyli powietrza, wody czy gruntu, w energię cieplną.

Ilość energii uzyskanej na ogrzewanie z otoczenia określa wskaźnik COP (Coefficient of Performance). Mówi on o tym, ile kW energii można uzyskać z 1 kW energii elektrycznej wykorzystanej przez pompę ciepła na pracę jej mechanicznych części (np. sprężarki). Wartość COP zależy od wielu czynników – temperatury źródła dolnego (czyli odnawialnego źródła energii) i temperatury źródła górnego (zwykle woda grzewcza), ale także od warunków pracy oraz zużycia energii przez pompy obsługujące instalację. Dlatego chcąc porównać dwie pompy ciepła pod kątem współczynnika COP, należy zwrócić uwagę, dla jakich warunków został on określony.

Norma PN-EN 14511 [3] i decyzja 2007/742/WE Komisji Europejskiej w sprawie wymogów ekoprojektu [4] podają minimalne wartości COP dla różnych rodzajów pomp ciepła:

| Pompa ciepła | COP | Źródło dolne | Źródło górne |
|--|------|--|---|
| Solanka/woda B0/W35 | 4,30 | solanka (brine) o $t = 0^\circ\text{C}$ | woda grzewcza o $t = 35^\circ\text{C}$ |
| Woda/woda W10/W35 | 5,10 | woda (water) o $t = 10^\circ\text{C}$ | |
| Powietrze/woda A2/W35 | 3,10 | powietrze (air) o $t = 2^\circ\text{C}$ | |
| Bezpośrednie odparowanie w gruncie/woda E4/W35 | 4,30 | roztwór czynnika o $t = 4^\circ\text{C}$ | |

Pompa ciepła monoblok aroTHERM plus

Najwyższa wydajność od dziesięcioleci,
bezpieczna inwestycja w przyszłość.



Vaillant Komfort w moim domu

Jeśli panują inne warunki, np. temperatura powietrza zewnętrznego w przypadku pompy ciepła powietrze/woda jest niższa niż 2°C, współczynnik COP jest wyraźnie niższy.

W miarę możliwości należy wybierać pompy ciepła o wysokim COP i stosunkowo wysokiej temperaturze dolnego źródła ciepła, podlegającej w ciągu roku niewielkim wahaniom. Wówczas oszczędności na ogrzewaniu będą największe. Taka sytuacja dotyczy np. bardzo sprawnych pomp ciepła, tzw. gruntowych (solanka/woda). Ograniczeniem tych urządzeń jest to, że wymagają one wykonania dolnego źródła ciepła – pionowego odwiertu w warstwie wodonośnej, umożliwiającego wykorzystanie energii zmagazynowanej w wodach podziemnych (solance). Takie rozwiązanie wiąże się zarówno z koniecznością dysponowania działką z dostępem do odpowiedniej warstwy wodonośnej (nie zawsze jest to możliwe), jak i wyższymi nakładami inwestycyjnymi. Dlatego inwestorzy stosunkowo często decydują się na tzw. powietrzne pompy ciepła (powietrze/woda).

Pompa ciepła współpracuje z instalacją grzewczą w budynku. Na rynku dostępne są rozwiązania niskotemperaturowe, wymagające ogrzewania niskoparametrowego (np. podłogowego), oraz rozwiązania wysokotemperaturowe, które mogą współpracować z klasycznymi grzejnikami ściennymi.



Kompleks szkolny w Niepołomicach po modernizacji z zastosowaniem pomp ciepła i paneli fotowoltaicznych
Fot. Gmina Niepołomicze

Panele fotowoltaiczne, czyli energia elektryczna ze słońca

Odnawialnym źródłem energii jest także słońce. Można z niego uzyskać energię elektryczną, która wytwarzana jest dzięki panelom fotowoltaicznym (PV) i zasila urządzenia elektryczne w budynku – takie jak oświetlenie, pompy ciepła, centrale wentylacyjne czy urządzenia pracujące w warsztatach szkolnych w szkołach technicznych. Co jednak zrobić z prądem wytwarzanym jako nadwyżka (np. gdy nie jest potrzebna energia dla urządzeń grzewczych)? Zgodnie z ustawą o odnawialnych źródłach energii [5] szkoły korzystające z mikroinstalacji PV (o mocy zainstalowanej do 50 kW) i podłączone do sieci elektroenergetycznej mają status prosumenta, czyli podmiotu nie tylko konsumującego, ale także wytwarzającego energię.

Czy może to przynieść szkole istotne oszczędności? Za przykład może posłużyć Zespół Szkół Ponadpodstawowych nr 1 w Końskich (600 uczniów). W placówce tej po głębokiej termomodernizacji, przejściu na ogrzewanie elektryczne i zastosowaniu klimatyzacji zaoszczędzono 70 tys. zł i za prąd płaci się ok. 190 tys. zł rocznie. Opust uzyskany dzięki odprowadzaniu nadwyżki prądu pochodzącego z fotowoltaiki do sieci elektroenergetycznej wyniósł 35 tys. zł rocznie [6].

PANELE FOTOWOLTAICZNE CZY KOLEKTORY SŁONECZNE?

Energię słoneczną pozyskują także kolektory słoneczne, które w odróżnieniu od paneli fotowoltaicznych przekształcają ją na energię cieplną, np. do przygotowania ciepłej wody. Kolektory słoneczne sprawdzają się głównie w obiektach intensywnie użytkowanych latem (jak np. pensjonaty). Większość szkół czy przedszkoli w tym czasie nie funkcjonuje, a również kolektory nie pracują na siebie. Jeśli zatem szkoły czy przedszkola nie działają w czasie wakacji (np. jako schronisko młodzieżowe czy ośrodek kolonijny), zastosowanie w nich kolektorów słonecznych może być nieuzasadnione.

BENEFIT



INSTALUJ • REJESTRUJ • ZYSKAJ

JEDNA PLATFORMA WIELE MOŻLIWOŚCI



**ZOBACZ
JAK DOŁĄCZYĆ**

OFF-ROAD
EXTREME ADVENTURE



1

INSTALUJ

2

REJESTRUJ

3

ZYSKAJ

System opustów powoli się kończy – jego czas obowiązywania to 15 lat (czyli maksymalnie do 2036 roku) dla instalacji wykonanych i podłączonych do sieci do końca 2021 r. Za sprawą nowelizacji ustawy Prawo energetyczne [7] od 2022 r. nowi prosumenci sprzedają prąd solarny sprzedawcy zobowiązanemu, który kupuje energię za określoną cenę, lub innemu podmiotowi wedle stawek rynku energii.

Przykładem wykonania inwestycji łączącej pompy ciepła i instalacje PV jest projekt w gminie Sławno, dofinansowany z Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodniopomorskiego na lata 2014–2020. W ramach wartej 3 mln zł inwestycji (dofinansowanie wyniosło blisko 2,5 mln zł – 85% kosztów) w 10 szkołach, przedszkolach i świetlicach gminy zamontowano panele fotowoltaiczne, a w czterech placówkach zamontowano także pompy ciepła – w części z nich były to pompy solanka/woda z pionowymi wymiennikami gruntowymi [8].

Finansowanie inwestycji w szkolne OZE

Podany powyżej przykład gminy Sławno zwraca uwagę na problem dużych nakładów związanych z głęboką termomodernizacją, której częścią jest zwykle wprowadzenie do placówki OZE. W latach 2014–2020 źródłem finansowania głębokiej termomodernizacji szkół były Regionalne Programy Operacyjne (środki z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego) oraz Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (priorytet inwestycyjny 4.3. *Zwiększona efektywność energetyczna w budownictwie wielorodzinnym mieszkaniowym oraz w budynkach użyteczności publicznej*). Inwestycje z Regionalnych Programów Operacyjnych finansowane były w ramach różnych działań, jak np. poprawa jakości powietrza, zwiększenie wykorzystania OZE, termomodernizacja budynków czy rozwój infrastruktury edukacyjnej. Dzięki RPO zrealizowano dużą liczbę inwestycji z zastosowaniem pomp ciepła i instalacji fotowoltaicznych [9].

Trwająca perspektywa finansowania polityki spójności Unii Europejskiej (na lata 2021–2027) wskazuje cel *Przyjazna dla środowiska niskoemisyjna Europa*, obszar *Efektywność energetyczna*, działanie *Poprawa efektywności energetycznej przedsiębiorstw, budynków mieszkalnych i publicznych* [10]. Przykładowo w najnowszym projekcie programu operacyjnego dla woj. łódzkiego opisany jest cel *szczegółowy Wspieranie efektywności*. Jak podają autorzy projektu, wsparcie dla **kompleksowej** termomodernizacji mogą uzyskać samorządy terytorialne na modernizację budynków użyteczności publicznej, jeśli zwiększą swoją efektywność energetyczną o co najmniej 25%. Częścią tego kompleksowego rozwiązania mają być *instalacje do produkcji energii z OZE* [11].

Ciekawym instrumentem dla samorządów chcących poprawić efektywność energetyczną placówek edukacyjnych może być partnerstwo publiczno-prywatne (PPP). W Warszawie w tej formule ma powstać 5–10 energooszczędnych przedszkoli, które zastąpią istniejące budynki prefabrykowane typu Stolbud-Ciechanów. Nowe, dostosowane do aktualnych potrzeb i standardów placówki przedszkolne będą publiczne, ale ich zaprojektowanie, realizacja i utrzymanie pozostaną po stronie inwestora prywatnego przez ustalony okres. Wynagrodzeniem partnera prywatnego będzie opłata za dostępność ponoszona przez miasto po oddaniu nowych przedszkoli do użytku, zależnie od realizacji umowy [12]. W formule PPP można także kontraktować efekt energetyczny, współpracując z firmą o profilu oszczędzania energii (ESCO – ang. Energy Saving Company). Firma pozyskuje środki na rozpoczęcie inwestycji i fi-



Kotłownia szkolna z pompami ciepła w Zespole Szkół w Chudku (gm. Kadzidło) – po głębokiej termomodernizacji Fot. Krzysztof Chojnacki dla UG Kadzidło

nansuje wszelkie działania potrzebne do osiągnięcia uzgodnionego efektu, rozliczając się z JST na podstawie osiągniętych, rzetelnie potwierdzonych rezultatów.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. DzU 2022, poz. 1225, z późn. zm.)
2. Firląg Szymon, *Jak zmieniono domy żeby były energooszczędne?*, <http://www.ibp.com.pl>
3. PN-EN 14511 *Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła do grzania i ziębienia oraz ziębiarki do procesów przemysłowych, ze sprężarkami o napędzie elektrycznym*
4. Decyzja Komisji z dnia 9 listopada 2007 r. określająca kryteria ekologiczne dotyczące przyznawania wspólnotowego oznakowania ekologicznego pompom ciepła zasilanym elektrycznie, gazowo lub absorpcyjnym pompom ciepła (notyfikowana jako dokument nr C(2007) 5492)
5. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (DzU 2015, poz. 478, t.j. DzU 2021, poz. 610)
6. Zapis webinaru „ODDECH DLA SZKÓŁ. Termomodernizacja bez zadyszki finansowej”, 13 kwietnia 2021 [online], <http://www.rynekinstalacyjny.pl/aktualnosc/id11630,obejrzyj-szkolenie-online-poznaj-mozliwosci-dobrej-termomodernizacji> (dostęp: 10.02.2016)
7. Ustawa z dnia 20 maja 2021 r. o zmianie ustawy – Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw (DzU 2021, poz. 1093)
8. Ryńska Joanna, *Pompy ciepła w obiektach modernizowanych*, „Rynek Instalacyjny” 4/2020
9. *Mapa dotacji UE*, <https://mapadotacji.gov.pl/projekty/> (dostęp: 10.02.2016)
10. *Umowa Partnerstwa 2021–2027*, Wyd. Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej
11. *Fundusze Europejskie dla Łódzkiego 2027* (projekt). Załącznik do uchwały nr 755/21 Zarządu Województwa Łódzkiego z dnia 10 sierpnia 2021 r., <https://rpo.lodzkie.pl/images/2021/318-fel-2027/fel-2027.pdf> (dostęp: 10.02.2016)
12. Słomiak Sylwia, *LeadAIR. Przewodnik dla samorządów. Jak finansować działania na rzecz poprawy jakości powietrza i realizacji celów klimatyczno-energetycznych?* Wyd. Forum Energii, lipiec 2021

Zastosowanie urządzeń grzewczych Riello w obiektach edukacyjnych

Urządzenia grzewcze marki Riello coraz częściej pojawiają się w obiektach edukacyjnych, gdzie liczą się nie tylko koszty eksploatacji, ale też bezpieczeństwo, komfort cieplny oraz możliwość elastycznego sterowania pracą instalacji.

Nowoczesne kotły kondensacyjne z serii Condexa Pro sprawdzają się zarówno w szkołach, jak i w budynkach uczelni czy obiektach szkolno-usługowych, w których w ciągu dnia występują zmienne obciążenia cieplne. Doskonałym przykładem jest Szkoła Podstawowa im. Tadeusza Kościuszki w Brzeźnie (woj. lubelskie), gdzie w październiku 2025 r. zmodernizowano kotłownię, instalując kocioł RTS 349 3S o mocy 334,7 kW z niskoemisyjnym palnikiem olejowym RL 42 BLU. To rozwiązanie zapewnia wysoką sprawność (ok. 90%), niską emisję NOx i stabilną pracę przy zmiennych obciążeniach, zasilając instalację c.o. oraz c.w.u. w obiekcie.

Kolejnym udokumentowanym przypadkiem jest modernizacja kotłowni w budynku Krakowskiej Wyższej Szkoły Promocji Zdrowia w Krakowie, gdzie zainstalowano dwa kotły Condexa Pro 70P w układzie kaskadowym. Taka konfiguracja pozwala płynnie dopasować moc źródła ciepła do aktualnych potrzeb budynku, co ma duże znaczenie w obiektach dydaktycznych, gdzie inne jest obciążenie w godzinach szczytu, w weekendy czy w okresach przerw w nauce. Kaskada kotłów



Fot. 1. Zmodernizowana kotłownia – kaskada dwóch kotłów w Wyższej Szkole Promocji Zdrowia w Krakowie

zwiększa także niezawodność systemu, ponieważ w razie postoju jednego urządzenia pozostałe mogą utrzymać pracę instalacji i zapewnić komfort ciepły użytkownikom.

Kotły kondensacyjne marki Riello projektowane są z myślą o wysokiej sprawności, niskiej emisji oraz łatwej integracji z automatyką budynkową, co ułatwia zarządzanie energią w szkołach i na uczelniach. Szeroki zakres modulacji sprawia, że te same rozwiązania można stosować zarówno w mniejszych szkołach podstawowych, jak i w większych kampusach, zapewniając stabilną temperaturę w salach lekcyjnych, pomieszczeniach administracyjnych i strefach wspólnych.

Doświadczenia z innych obiektów komercyjnych pokazują, że wybór urządzeń marki Riello przekłada się na wyraźne obniżenie kosztów eksploatacji. Potwierdza to m.in. instalacja kaskady czterech kotłów Condexa 57 P w zakładzie produkcyjno-biurowym w Skierniewicach, gdzie uzyskany zakres pracy mieści się w przedziale od 14 do 228 kW. Wnioski dotyczące efektywności, stabilnej pracy i możliwości dopasowania mocy można bezpośrednio przenieść na szkoły i uczelnie.

Rozwiązania marki Riello pozwalają także łączyć funkcję ogrzewania z przygotowaniem ciepłej wody użytkowej, co ma duże znaczenie w placówkach z rozbudowanym zapleczem sanitarnym i sportowym, internatami czy stołówkami. Z punktu widzenia inwestorów instytucjonalnych, takich jak samorządy czy uczelnie, ważne są również serwis i wsparcie techniczne, które ograniczają ryzyko błędów projektowych i ułatwiają późniejszą eksploatację.

Rosnące wymagania dotyczące efektywności energetycznej budynków publicznych sprawiają, że modernizacja źródeł ciepła w obiektach edukacyjnych staje się koniecznością. Przykłady zastosowania urządzeń marki Riello pokazują, że przejście na nowoczesne kotły kondensacyjne i układy kaskadowe pozwala połączyć cele ekonomiczne i ekologiczne oraz zapewnić wysoki komfort ciepły użytkowników.

Więcej realizacji w różnych typach obiektów można znaleźć na stronie www.riello.com/poland/referencje.



Fot. 2. Szkoła Podstawowa im. Tadeusza Kościuszki w Brzeźnie (woj. lubelskie) ze zmodernizowaną kotłownią

RUG Riello Urządzenia Grzewcze S.A.

Dział Obsługi Klienta: tel. 56 657 16 58–59

Dział Techniczny Kotły:

serwis urządzeń i szkolenia tel. 56 657 16 18

oferty tel. 71 326 53 86–87

formularz kontaktowy: <https://www.riello.com/poland/contact-us>

RIELLO

Technologie i urządzenia usprawniające wentylację szkół

Najbliższe lata w budownictwie poświęcone będą działaniom modernizacyjnym prowadzonym w celu poprawy efektywności energetycznej istniejących budynków i zapewnienia w nich wysokiej jakości środowiska wewnętrznego. Oba te kierunki powinny być nierozłączne, a ich skuteczną realizacją zależy m.in. od zastosowania wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła i filtracji powietrza także w szkołach i budynkach edukacyjnych. Rynek oferuje szereg nowych urządzeń do skutecznej wentylacji istniejących budynków, a popularyzacji tego kierunku działań i poszukiwaniu kolejnych rozwiązań służyło m.in. przedsięwzięcie Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pt. *Wentylacja dla szkół i domów*.

Pandemii „zawdzięczamy” wiele zmian, zarówno niepożądanych, jak i pozytywnych. Zmienił się nasz stan wiedzy nt. wirusów oraz infekcji, a także na temat wentylacji i kształtowania jakości powietrza wewnętrznego (IAQ), zwłaszcza w biurach i szkołach [2]. Szkoły to miejsca o dużym zagęszczeniu osób i praktycznie nie ma w nich możliwości zachowania dystansu ograniczającego ryzyko zakażenia wirusami powodującymi m.in. choroby dróg oddechowych [1]. Budynki szkolne to przeważnie obiekty z wentylacją naturalną (grawitacyjną) i w czasach, gdy energia była tania, a stolarka okienna nieszczelna, w klasach dochodziło do jakiejś wymiany powietrza w sezonie grzewczym, a poza nim po prostu uchylano okna. Obecnie szkoły mają stolarkę wysokiej jakości oraz izolacje termiczne ścian, dzięki czemu powinny zużywać mniej energii na ogrzewanie, ale brakuje im skutecznej wentylacji. Co więcej, nasze przepisy budowlane i wykonawcze, czyli warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [10], stawiają wyraźne wymaganie w § 148.1, że **wentylację mechaniczną wywiewną lub nawiewno-wywiewną należy stosować w budynkach wysokich i wysokościowych oraz w innych budynkach, w których zapewnienie odpowiedniej wymiany powietrza nie jest możliwe za pomocą wentylacji grawitacyjnej lub wentylacji hybrydowej**.

WT wskazują także (§ 149.1, który odsyła do normy PN-83/B-03430), jaka powinna być intensywność wentylacji: w budynkach użyteczności publicznej pomieszczenia przeznaczone do stałego i czasowego pobytu ludzi powinny mieć zapewniony dopływ co najmniej 20 m³/h powietrza zewnętrznego dla każdej przebywającej osoby. Norma dopuszcza obniżenie wymiany do 15 m³/h na każde dziecko w żłobkach i przedszkolach, jednak ogranicza liczbę wymian do 2–3 na godzinę dla wentylacji grawitacyjnej, hybrydowej lub mechanicznej wywiewnej, czyli systemów, w których powietrze doprowadzają nawiewniki, a to za małą ilość dla typowych klas szkolnych z liczbą uczniów sięgającą 30 [1].

O jakość środowiska i powietrza wewnętrznego zabiegają stowarzyszenia oraz organizacje branżowe architektów i projektantów, a także świat nauki. Jednak to rolę organów centralnych państwa jest aktualizacja przepisów budowlanych według współczesnej wiedzy i technologii. Rozwiązania zapewniające skuteczną wentylację mechaniczną, także w modernizowanych szkołach, są dostępne i oferowane przez firmy krajowe oraz zagraniczne. Problem dotyczy bowiem wielu krajów.

Ocena stanu jakości powietrza w szkołach

Nasza administracja centralna wyłożyła środki na przedsięwzięcie realizowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pt. *Wentylacja dla szkół i domów* [3]. NCBR wspiera polskie podmioty i także ten program skierowany był do firm krajowych. Rozpoczęto od przeglądu literatury i opracowano zestawienie wyników badań zrealizowanych w szkołach na terenie Polski w latach 2000–2020 [6]. Następnie przeprowadzono pomiary stężenia CO₂, koncentracji cząstek PM_{2,5} i PM₁₀, stężenia formaldehydu i lotnych związków organicznych VOC oraz zmiany temperatury i wilgotności powietrza [4]. Badania zostały przeprowadzone w odniesieniu do różnych klas szkolnych w zależności od sposobu ich użytkowania.

Główne wnioski z literatury i badań są następujące: według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) powietrze wewnętrzne ma większy wpływ na nasze zdrowie i samopoczucie niż powietrze zewnętrzne (człowiek przebywa w pomieszczeniach przez prawie 90% życia). Wiele zrobiono, aby zmniejszyć emisję szkodliwych substancji do atmosfery, lecz w pomieszczeniach zamkniętych stężenia wielu z tych substancji są obecnie wyższe niż w powietrzu zewnętrznym. Narażenie na nie młodych organizmów to istotny problem, a młodzież szkolna spędza w klasach szkolnych często ponad 8 godzin dziennie (jedną trzecią doby). Jakość powietrza wewnętrznego ma istotny wpływ nie tylko na zdrowie użytkowników, ale także na łatwość przyswajania wiedzy i zapamiętywania oraz ogólne samopoczucie.

W Polsce przeważająca liczba obiektów edukacyjnych to budynki z lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, poddane w ostatnich latach różnego rodzaju remontom. W ich ramach podejmowano często działania zmierzające do ograniczenia zużycia energii, głównie poprzez modernizację instalacji c.o. i węzłów ciepłych, ocieplanie przegród budowlanych i wymianę stolarki okiennej. Większość to budynki dwukondygnacyjne z wentylacją grawitacyjną i tradycyjnym systemem ogrzewania opartym na grzejnikach płytowych. Wysokość kanałów wentylacji grawitacyjnej, szczególnie na wyższej kondygnacji, jest bardzo mała, co powoduje, że w okresach bezwietrznych wartość ciśnienia czynnego powodującego przepływ powietrza jest tak niska, że uniemożliwia napływ powietrza do pomieszczenia. Powszechna wymiana okien na szczelne powoduje, że przepływy powietrza są minimalne, a wymiana powietrza bliska zeru, co jest jedną z głównych przyczyn występowania w pomieszczeniach nadmiernych stężeń różnych substancji zanieczyszczających powietrze.

Opublikowane dotychczas badania dotyczące pomiarów CO₂ wskazują, że zwiększenie wydajności wentylacji w salach lekcyjnych do 10 l/s (36 m³/h) na osobę przyniosłoby znaczące korzyści i usprawniło naukę oraz zmniejszyło absencję. Stężenie CO₂ powinno być utrzymywane na poziomie maks. 900 ppm. Nie znaleziono danych informujących o tym, czy poziom CO₂ niższy od 900 ppm lub wydajność wentylacji wyższa niż 10 l/s na osobę przyniosłoby dodatkowe korzyści. Sporadyczne czynności związane z wietrzeniem sal jedynie chwilowo poprawiają jakość powietrza wewnętrznego. Ponadto w salach, które uczniowie rzadko opuszczają, otwieranie okien w sezonie grzewczym jest krótkotrwałe, uważa się bowiem, że niesie za sobą ryzyko wzrostu liczby przeziębień wśród dzieci.

Charakter działań modernizacyjnych w budynkach

Autorzy raportu pt. *Wentylacja dla szkół i domów. Analiza i perspektywy projektu* [5] opracowanego w ramach przedsięwzięcia *Wentylacja dla szkół i domów* realizowanego przez NCBR wskazywali, że od lat prowadzone są działania zmierzające do redukcji zużycia energii w budynkach, sprowadzające się zwykle jedynie do obłożenia ich warstwą styropianu i/lub wymiany okien. Zwiększona szczelność budynku zmniejsza liczbę wymian powietrza w pomieszczeniach – wzrasta stężenie CO₂, często do poziomu prowadzącego do zakwaszenia organizmu, i wilgotność

względna, co z kolei prowadzi do pojawienia się w powietrzu mykotoksyn z powodu zagrzybienia pomieszczeń.

Paradoksalnie zwiększenie szczelności budynku i ograniczenie strumienia powietrza wentylacyjnego często nie powoduje spadku ilości energii potrzebnej do ogrzewania. Wynika to ze zwiększonego zużycia energii na początku i końcu sezonu grzewczego, kiedy to użytkownicy pomieszczeń chronią się przed ich przegrzaniem, otwierając okna przy włączonych grzejnikach. Prawie żaden z istniejących budynków wielorodzinnych lub szkolnych nie ma możliwości wprowadzenia do swojej kubatury wielkogabarytowych kanałów wentylacji nawiewno-wywiewnej. A do aktywnej wentylacji nie nadają się tradycyjne przewody kominowe stosowane w wentylacji grawitacyjnej.

Autorzy raportu [5] wskazują, że ponad 90% polskich szkół ma tylko wentylację grawitacyjną i ten stan powoduje w sezonie grzewczym:

- utrzymywanie się w klasach stężenia CO₂ w zakresie 2500–4500 ppm, co prowadzi do istotnego spadku efektywności procesu edukacyjnego;
- utrzymywanie się stężenia pyłu zawieszonego jak w powietrzu zewnętrznym, co prowadzi do upośledzenia zdrowia znacznego odsetka młodzieży w miejscowościach ze złą jakością powietrza;
- najwyższy poziom skażenia mikrobiologicznego w szkołach, co prowadzi do rozprzestrzeniania się chorób przenoszonych drogą kropelkową;
- pomimo niskiej skuteczności wentylacji ogrzanie powietrza wentylacyjnego pochłania ponad 40% energii na ogrzewanie szkół.

Oczekiwania dotyczące systemu wentylacji szkół

Na potrzeby programu NCBR eksperci [5] sformułowali szereg oczekiwań dotyczących systemu wentylacji w szkołach. Zastosowanie innowacyjnej wentylacji ma umożliwić utrzymanie co najmniej następujących wymagań w salach lekcyjnych:

- stężenie CO₂ – poniżej 900 ppm;
- koncentracja pyłów PM_{2,5} – poniżej 5 µg/m³;
- ryzyko wystąpienia przeciągów – poniżej 16,3%;
- efektywność wentylacji – nie niższa niż 0,79;
- odzysk ciepła i chłodu – nie niższy niż 0,9;
- zmiana zawartości wilgoci – nie niższa niż 0,8;
- poziom natężenia hałasu – nie wyższy niż 37 dB;
- zużycie energii elektrycznej – nie wyższe niż 12 Wh/m².

Centrale wentylacyjne powinny być wyposażone w nagrzewnice i chłodnice zasilane pompami ciepła o mocy zapewniającej ogrzewanie klas przy temperaturach obliczeniowych. Dzięki temu możliwa będzie w przyszłości elektryfikacja systemów grzewczych w szkołach przy co najmniej 90-proc. udziale OZE. Zainstalowane filtry i odpowiedni system dystrybucji powietrza oraz sterowana poziomem stężenia CO₂ liczba wymian powietrza gwarantują nie tylko istotny wzrost efektywności procesów dydaktycznych i zabezpieczenie przed smogiem, ale także skuteczną ochronę przed rozprzestrzenianiem się chorób przenoszonych drogą kropelkową, w tym wywoływanych przez koronawirusy.

Szkolny system zarządzający centralami przy monitorowaniu parametrów powietrza w poszczególnych pomieszczeniach dydaktycznych może być elementem bardzo skutecznego układu bezpieczeństwa. Centrale wentylacyjne powinny być wyposażone także w sterowniki kontrolujące parametry mikroklimatu w klasie. Dzięki dostosowaniu strumienia powietrza wentylacyjnego do bieżącego zapotrzebowania na świeże powietrze i wysokiemu poziomowi odzysku ciepła istotnie obniżą się koszty ogrzewania. Zaletą takiego rozwiązania powinna być możliwość prowadze-

nia montażu instalacji klasa po klasie, co pozwoli prowadzić prace montażowe w trakcie roku szkolnego.

Szkolny system zarządzający, nadzorujący pracę sterowników central wentylacyjnych powinien być elastyczny i umożliwiać podłączanie kolejnych instalowanych central klasowych. Pozwoli to na zdalne sterowanie i diagnostykę pracy systemów wentylacji zainstalowanych w każdym pomieszczeniu szkoły z jednego miejsca. Ponadto powinien umożliwiać zdalną aktualizację oprogramowania wybranych lub wszystkich systemów w różnych salach lekcyjnych. Elektroniczna tablica wyników powinna umożliwiać wyświetlanie parametrów jakości środowiska wewnętrznego, takich jak: temperatura powietrza, wilgotność względna, stężenie CO₂ czy koncentracja cząstek PM₁–PM₁₀ dla poszczególnych sal lekcyjnych wyposażonych w system wentylacji. Tablica ta, oprócz wyświetlania wartości poszczególnych parametrów powietrza, powinna zapewniać interpretację graficzną oceny jakości powietrza, co będzie stanowiło jednocześnie element edukacyjny dla użytkowników i gości szkoły. Nowoczesny design systemu wentylacji przeznaczonej do istniejących sal lekcyjnych powinien zwiększać estetykę wystroju wnętrza, a jego funkcjonalność ma się cechować także potencjałem replikacji w pomieszczeniach o różnej powierzchni i kubaturze. System wentylacji szkół powinien być relatywnie łatwo adaptowany do istniejących budynków administracji i obiektów służby zdrowia.

W opracowaniu [5] przyjęto, że montaż systemu przeznaczonego dla szkół w jednej sali lekcyjnej w wersji prototypowej kosztuje 32 tys. zł, a łączne nakłady inwestycyjne potrzebne do montażu systemów w ok. 300 tys. sal lekcyjnych w Polsce mogą sięgać 9 mld zł. Jednak uzyskanie efektu skali w przypadku masowej produkcji może znacznie zredukować te koszty, nawet o 30%. W szkołach podstawowych koszt ogrzewania (wg cen z 2021 roku) jednej sali lekcyjnej może przewyższać 6000 zł rocznie, a oferowany system powinien obniżyć tę kwotę do 400 zł, czyli roczny koszt ponoszony przed modernizacją powinien wystarczyć na 15 lat eksploatacji nowego systemu wentylacji.

Konkurs NCBR i demonstratory

Przedsięwzięcie realizowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pt. *Wentylacja dla szkół i domów* [3] rozłożone zostało na etapy. Pierwszy polegał na badaniu prototypów systemów wentylacji i automatyki wg procedury badawczej opracowanej przez Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej [8]. Wyłonione prototypy zastosowano, po naborze konkursowym, w Szkole Podstawowej nr 3 im. J.Ch. Ruberga w Łędzinach na Górnym Śląsku oraz w Zespole Szkół im. Ojca Świętego Jana Pawła II w Niepołomicach k. Krakowa. Wymagania konkursu dla szkół [11] nie było łatwo spełnić. Do budowy demonstratora wentylacji i systemu zarządzania wymagano przynajmniej 15 sal lekcyjnych oraz dodatkowych pomieszczeń dydaktycznych lub pomocniczych. Sale lekcyjne powinny być przeznaczone dla nie więcej niż 32 użytkowników (tj. uczniów i nauczycieli). Zakres prac miał obejmować: wykonanie otworów w przegrodzie zewnętrznej w celu zainstalowania czepni i wyrzutni; montaż pomp ciepła na działce obok budynku szkolnego (maks. 3 m od budynku); podłączenie i montaż systemu zarządzającego; podłączenie i montaż regulatorów pomieszczeniowych w wybranych salach lekcyjnych i pomieszczeniach dodatkowych; podłączenie i montaż zewnętrznej stacji pogodowej; instalacje odprowadzenia skroplin; szczelne i trwałe zaślepienie otworów wentylacji grawitacyjnej/naturalnej oraz usunięcie/zaślepienie nawiewników okiennych na czas eksploatacji systemów wentylacji zgodnie ze sporządzonym przez wykonawcę projektem wielobranżowym.

Każdy demonstrator ma system wentylacji, w skład którego wchodzi centrala wentylacyjna nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła i chłodu oraz instalacje rozprowadzające powietrze w salach lekcyjnych. Temperatura powietrza nawiewanego jest utrzymywana dzięki energii (ciepła i chłodu) dostarczanej przez pompy ciepła. Grzejniki wyposażono w bezprzewodowe sitowniki

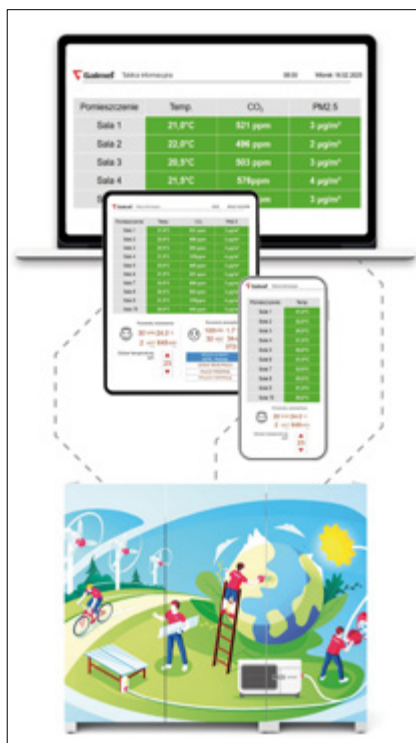
zaworów termostatycznych współpracujące z systemem automatyki regulującej m.in. temperaturę powietrza. W szkołach zamontowano wyświetlacze informujące o temperaturze i wilgotności powietrza, stężeniu CO₂, PM_{2,5} i PM₁₀, zużyciu energii elektrycznej przez system wentylacji, a także parametrach powietrza zewnętrznego. Każda sala lekcyjna ma własny panel sterujący, który wyświetla parametry dotyczące jakości powietrza w tym pomieszczeniu [8].

Jak ocenił NCBR, w warunkach rzeczywistych w obu szkołach nawiewane powietrze jest filtrowane i utrzymywany jest niski poziom CO₂. Systemy nie powodują takiego natężenia dźwięku instalacji, który przeszkadzałby w prowadzeniu lekcji. W klasach z tymi rozwiązaniami znacznie poprawiono jakość powietrza oraz obniżono zapotrzebowanie na ciepło [8].

Szkoła w Lędzinach

Zastosowano w niej rozwiązanie firmy Galmet. Niezależne systemy wentylacyjne wdrożono w 19 klasach, w których przebywa do 31 osób. System wentylacyjny zapewnia wymianę powietrza, tak aby stężenie CO₂ nie wzrosło powyżej 550 ppm, oraz filtruje powietrze nawiewane. Temperatura w klasach jest regulowana, a dane nt. parametrów powietrza wyświetlane. Centrala wentylacyjna w tylnej części pomieszczenia klasy ma zabudowę dekoracyjną dostosowaną do wystroju pomieszczenia. Powietrze jest dystrybuowane przez kanał tekstylny poprowadzony pod sufitem (jego dekoracja także współgra z wystrojem klasy), a wywiew zintegrowany z centralą [8].

Hybrydowy System Wentylacji dla Szkół firmy Galmet łączy wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła i chłodu oraz wysokosprawne pompy ciepła i pełni funkcje ogrzewania i chłodzenia. Zarządza nie tylko temperaturą, ale zwłaszcza jakością powietrza wewnętrznego, dostosowując ją do zmieniających się warunków w danej klasie. Powietrze jest nawiewane z intensywnością zapewniającą poziom CO₂ w pomieszczeniu poniżej 1000 ppm, filtrowane z pyłów zawieszonych PM_{2,5} oraz PM₁₀ ze skutecznością 70%, a rekuperacja odzyskuje 87% energii cieplnej z powietrza wywiewanego i utrzymywana jest zadana temperatura w przedziale 20–24°C oraz optymalna wilgotność dzięki odzyskowi wilgoci zimą. W okresie grzewczym pompy ciepła powietrze/woda podgrzewają powietrze dostarczane przez system wentylacji, a w upalne dni chłodzą, co istotnie poprawia komfort uczniów i nauczycieli. Zaawansowane czujniki jakości powietrza w czasie rzeczywistym monitorują: stężenie CO₂, poziom pyłów zawieszonych, wilgotność oraz temperaturę. Wysoka jakość powietrza wewnętrznego zapobiega spadkowi koncentracji oraz problemom zdrowotnym uczniów i nauczycieli. System działa w pełni automatycznie, a nauczyciele i dyrekcja szkoły mają dostęp online do zdalnego panelu sterowania, który pozwala śledzić jakość powietrza oraz zużycie energii. Integracja z pompami ciepła umożliwia precyzyjną regulację temperatury w każdej klasie, a układ hybrydowy



Rys. 1. Widok tablic informacyjnych Hybrydowego Systemu Wentylacji dla Szkół oraz dekoracja maskująca zamontowaną w klasie centralę wentylacyjną

Źródło: Galmet

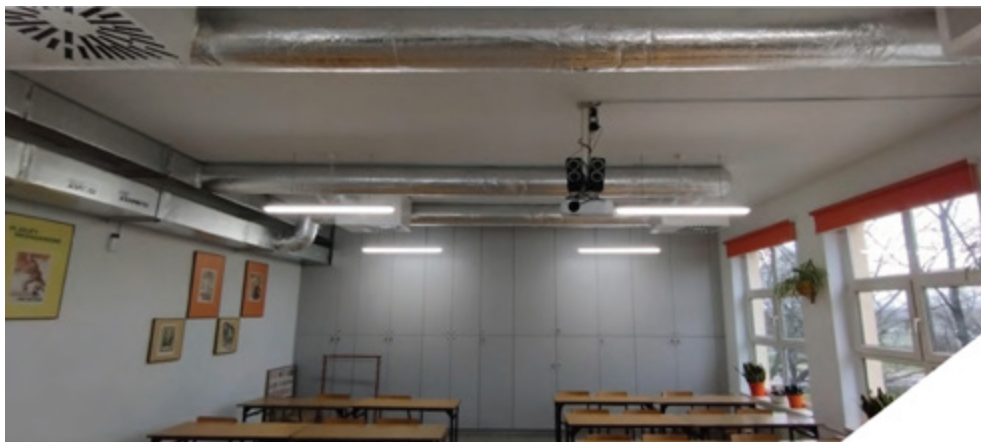


ZAWSZE CZYSTE POWIETRZE

SYSTEM WENTYLACJI DLA SZKÓŁ

W PEŁNI ZINTEGROWANY SYSTEM
WENTYLACJI, OGRZEWANIA
I CHŁODZENIA W JEDNYM

NOWOŚĆ



Rys. 2. System iSCHOOL w klasie szkolnej: a) centrala przed zabudową, b) zabudowa szafkami Źródło: Smay

z wentylacją – znaczną oszczędność energii w porównaniu do tradycyjnych rozwiązań HVAC. Znacząco obniża to koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne w szkołach i zapewnia wysoką jakość środowiska wewnętrznego.

Jest to system zdecentralizowany, modułowy i skalowalny, może też zostać zintegrowany z innymi źródłami ciepła, np. kotłami gazowymi, dzięki czemu można go zainstalować zarówno w nowych budynkach, jak i w modernizowanych szkołach. Jednostki wentylacyjne i instalacje można łatwo wkomponować w wystrój pomieszczeń szkolnych.

Szkoła w Niepołomicach

W sześciu klasach szkoły w Niepołomicach zastosowano rozwiązanie firmy Smay. Centrala wentylacyjna umieszczona w tylnej części pomieszczeń jest wkomponowana w zabudowę meblową i niewidoczna. Kanały nawiewne są prowadzone na ścianie i suficie oraz wyposażone w nawiewniki. Wywiew jest realizowany przez kratkę w instalacji wywiewnej [8].

System wentylacyjny iSCHOOL Smay [13] umożliwia wentylację nawiewno-wywiewną o maks. wydajności 950 m³/h, co odpowiada zapotrzebowaniu na wentylację 31-osobowej sali lekcyjnej (30 uczniów i jeden nauczyciel). Strumień powietrza nawiewanego zmienia się w zależności od wybranego programu pracy oraz różnicy stężenia CO₂ pomiędzy powietrzem zewnętrznym i wewnętrznym. System automatycznie wykrywa zmiany stężenia CO₂ i w zależności od liczby osób zwiększa lub obniża strumień powietrza wentylacyjnego.

Rekuperator iSCHOOL może być podwieszony do stropu lub ściany w klasie i jest wyposażony w krzyżowy wymiennik ciepła o wysokiej sprawności odzysku ciepła i wilgoci (ponad 80%) oraz filtry powietrza nawiewanego i wywiewanego. Nie wymaga stosowania wstępnej nagrzewnicy powietrza przed wymiennikiem, a powietrze może być dogrzewane za pomocą grzałki elektrycznej lub wymiennika wodnego współpracującego z pompą ciepła dla utrzymania komfortu użytkowników. System sterowania komunikuje się m.in. z czujnikami temperatury i wilgotności oraz centralą wentylacyjną, a także z siłownikami zaworów termostatycznych zainstalowanymi na grzejnikach w celu regulacji temperatury wewnętrznej i zmian intensywności wymiany powietrza. Zastosowano technologię kanałów lekkich Climatever, co zapewnia niski poziom hałasu, podobnie jak w przypadku pracy centrali. Wykonano również instalację hydrauliczną i montaż pompy ciepła współpracującej z rekuperatorami.

Sterowanie pracą rekuperatorów odbywa się na dwa sposoby – poprzez szkolny system zarządzający (SSZ), który umożliwia ustawianie odpowiednich programów pracy, takich jak Praca,

Przerwa, Eco i Wakacje, oraz ich parametryzację, w tym temperatury i strumienia powietrza nawiewanego. System można obsługiwać także za pomocą regulatora znajdującego się w danej klasie. SSZ wyświetla informacje na temat parametrów powietrza zewnętrznego i prognozy pogody oraz prowadzi pomiary temperatury wewnętrznej i wilgotności, a także poziomu CO₂ oraz pyłów PM_{2,5} i PM₁₀. Dane są na bieżąco wyświetlane oraz archiwizowane.

HETA School – uczestnik konkursu NCBR

HETA School firmy 21 Stopni to rozwiązanie, które również brało udział w konkursie NCBR i przeszło pozytywnie pierwszy etap. To specjalnie skonfigurowany rekuperator dla klas szkolnych z maks. 30 uczniami, gwarantujący poziom CO₂ w przedziale 800–1200 ppm. Jego optymalna wydajność wynosi 900 m³/h, klasa energetyczna to A+, poziom ciśnienia akustycznego emitowanego przez obudowę: 39,8 dB(A), waga: 75 kg, a wymiary zewnętrzne: 1782 × 1342 × 476 mm (dł. × szer. × wys.). Zastosowano w nim wysokoskutekcyjny filtr F9 (98% cząstek o wielkości 2,5–10 μm i 80% pyłów mniejszych niż 1 μm) oraz filtr węglowy usuwający zapachy. Ma też funkcję nawilżania, przydatną zwłaszcza w sezonie grzewczym.

System sterowania HETA School jest przystosowany do współpracy z BMS bez konieczności zakupu dodatkowego modułu komunikacyjnego i automatycznie dostosowuje pracę do warunków w pomieszczeniu na podstawie stężenia CO₂ i wilgotności, z zachowaniem komfortu termicznego. Ma opcję integracji z nagrzewnico-chłodnicą oraz by-pass omijający wymiennik do free coolingu, zwłaszcza do nocnego schładzania pomieszczeń w gorące dni. Wymiennik w rekuperatorze pracuje naprzemiennie, co zapobiega jego zamarzaniu w okresie zimowym. System wentylacji rozprowadza oczyszczone powietrze po całym pomieszczeniu. Można je dodatkowo ogrzać lub schłodzić w ramach jednego systemu po instalacji dodatkowego modułu.



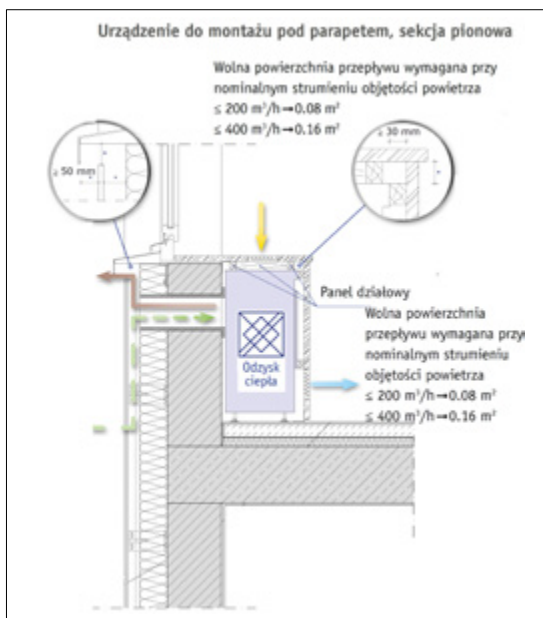
Rys. 3. Wizualizacja instalacji HETA School w klasie szkolnej Źródło: 21 Stopni

Systemy zdecentralizowanej wentylacji fasadowej

Na rynku europejskim i polskim od lat dostępne są różne rozwiązania do fasadowej wentylacji zdecentralizowanej w szkołach i budynkach biurowych. Przykładem jest TROX SCHOOLAIR – urządzenie montowane jest w pomieszczeniu blisko ściany zewnętrznej, a świeże powietrze dostarczane przez mały otwór w ścianie lub przepust okienny i w ten sam sposób usuwane. TROX SCHOOLAIR podgrzewa świeże powietrze do żądanej temperatury przy małym nakładzie energii dzięki odzyskowi ciepła z powietrza wywiewanego. Rozwiązanie wymaga bardzo małej powierzchni na wyposażenie techniczne, nie jest konieczne prowadzenie przewodów lub szachtów w pomieszczeniu, a czas montażu jest bardzo krótki, co ma szczególne znaczenie w szkołach – można go przeprowadzić podczas wakacji lub ferii, ale także w trakcie roku szkolnego. Przejrzysty interfejs zapewnia skuteczną regulację wynikającą z zapotrzebowania na jakość powietrza, czyli wentylację z odzyskiem ciepła i chłodu w zależności od liczby osób w pomieszczeniu. Urządzenia przeznaczone są do montażu poziomego (pod parapetem), pionowego (z kurtynowymi fasadami osłonowymi przeszklonymi od sufitu do parapetu) i sufitowego (z sufitem podwieszanym).



Rys. 4. Klasa szkolna z zamontowanymi jednostkami podokienneymi Źródło: Trox



Rys. 5. Instrukcja montażu sekcji pionowej TROX SCHOOLAIR pod parapetem Źródło: Trox

Urządzenia do montażu poziomego są szczególnie zalecane w przypadku standardowych fasad z cegiel lub betonu z otwieranymi oknami, także z parapetami. Strumień nawiewanego powietrza ma charakter wyporowy z indukcją. W układzie wentylacyjnym do wyboru są warianty z obrotowym wymiennikiem odzysku ciepła (rotor) lub wymiennikiem płytowym z przepustnicą obejścia wyposażoną w siłownik elektryczny. W układzie wodnym (zastępuje grzejnik) znalazł się wymiennik ogrzewania i chłodzenia powietrza dla systemu 2- lub 4-rurowego. Montaż takich jednostek w klasie szkolnej pod oknami zapewnia na tyle duże wymiany powietrza, że wystarczają one do utrzymania niskiego poziomu CO₂ z zachowaniem wysokiej efektywności odzysku ciepła z powietrza wywiewanego, filtrowanego przed wymiennikiem filtrem zgrubnym ISO Coarse 60%. Filtracja powietrza nawiewanego (ISO ePM₁ 65%) oczyszcza je z pyłów zawieszonych.

Zakres strumieni objętości powietrza dla jednostek podokiennej w wykonaniu poziomym i pionowym wynosi 150–320 m³/h przy całkowitej wydajności cieplnej do 5,8 kW i chłodniczej do 1,4 kW oraz 150–400 m³/h przy całkowitej wydajności cieplnej do 6,5 kW i chłodniczej do 1,75 kW. Urządzenia są łatwe w obsłudze. System regulacji pomieszczeń zapewnia wentylację zgodnie z zapotrzebowaniem (steruje wszystkimi funkcjami koniecznymi do pracy wentylatorów i przepustnic) oraz umożliwia regulację obiegów ogrzewania i chłodzenia po stronie wodnej z zaworami regulacyjnymi z siłownikami. Może być wyposażony w czujniki jakości powietrza, moduł programatora czasowego do nastawy trybów pracy oraz w komunikację przez interfejs BACnet MS/TP, Modbus RTU lub LON-FTT-10.

Zdecentralizowana wentylacja wyporowa

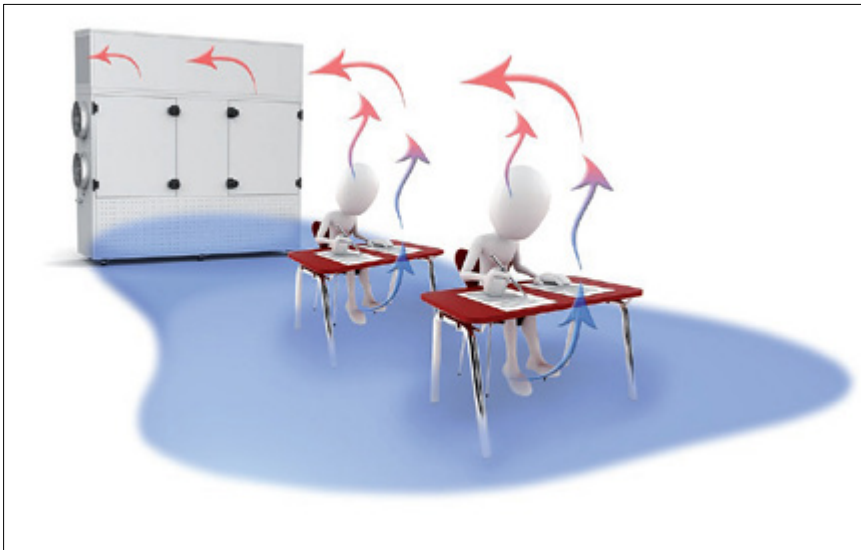
Centrala kompaktowa SupraBox Deluxe w wersjach 500 V i 750 H (wydajność odpowiednio 500 i 750 m³/h) firmy Rosenberg to energooszczędny system zdecentralizowanej wentylacji służący do bezpośredniego montażu w pomieszczeniach szkolnych i konferencyjnych oraz w biurach. Automatem sterowanie centralą wentylacyjną, zależne od stężenia CO₂ w pomieszczeniu,

zapewnia optymalną jakość powietrza. W wersji 500 V podłączenia kanałów znajdują się u góry urządzenia, natomiast w wersji 750 H – z boku. Kanały są wyprowadzane na zewnątrz przez ścianę budynku do czerpni i wyrzutni.

Dystrybucja powietrza w klasie opiera się na efektywnej koncepcji wentylacji wyporowej. Świeże powietrze jest nawiewane z centrali z niską prędkością na poziomie podłogi. Niewielki przyrost temperatury powoduje jego ogrzanie i naturalne unoszenie się ku sufitowi, co zapewnia równomierną cyrkulację w całym pomieszczeniu. Takie rozwiązanie pozwala wyeliminować odczuwanie chłodnego przeciągu i gwarantuje skuteczną wymianę powietrza w strefie oddychania. Urządzenie jest wolnostojące i może zostać dowolnie usytuowane w pomieszczeniu. Prawidłową dystrybucję zapewniają indywidualnie regulowane dysze nawiewne znajdujące się na zintegrowanej płycie u dołu centrali, na wylocie powietrza. W zależności od położenia jednostki zaleca się odpowiednie ustawienia dysz. Powietrze zużyte jest odprowadzane przez kratkę wywiewną w górnej części urządzenia, bezpośrednio spod stropu pomieszczenia. Obudowa ma izolację cieplną i akustyczną grubości 60 mm, natomiast tylna część środkowego modułu izolację grubości 40 mm. Poziom dźwięku emitowanego przez centralę nie przekracza 35 dB(A).

Odzysk ciepła wentylacyjnego zapewnia aluminiowy przeciwprądowy wymiennik ciepła o sprawności powyżej 90%, w którym nie mieszają się strumienie powietrza. Powietrze zewnętrzne kierowane na wymiennik oczyszcza filtr F7, a wywiewane – filtr M5. Możliwe jest także zastosowanie filtracji dwustopniowej. Wymiana filtrów jest szybka i łatwa. Duże drzwi serwisowe umożliwiają dostęp do wszystkich części urządzenia i ich wygodne czyszczenie.

Centrale SupraBox DELUXE zawierają wewnętrzny, całkowicie okablowany system sterowania. Mogą pracować w sposób ciągły w trybie automatycznym dla zapewnienia wysokiej jakości powietrza wewnętrznego. Dopływ powietrza zewnętrznego sterowany jest za pomocą czujnika CO₂ zainstalowanego w pomieszczeniu. Jeśli nie przebywają w nim ludzie, urządzenie wyłącza się samoczynnie, zapobiegając niepotrzebnemu zużyciu energii. Można też ustawić tryb obsługi ręcznej z trójstopniową wentylacją. Centrale mają zintegrowane, w 100% sterowane stałe obejście (by-pass), dzięki któremu możliwe jest obniżenie temperatury w po-



Rys. 6. Rozprowadzenie powietrza przy zastosowaniu wentylacji wyporowej

Źródło: Rosenberg

mieszczeniu (tzw. free cooling). Funkcję tę wykorzystuje się zazwyczaj latem w godzinach porannych oraz nocą, gdy temperatura na zewnątrz jest niższa. System stale monitoruje pracę i sygnalizuje ewentualne usterki, ma też rejestrator danych trendów i pamięć alarmów. Komunikacja, w tym z systemem nadrzędnym zarządzania budynkiem, realizowana jest za pomocą interfejsów Modbus, RJ45 z siecią BACnet, poprzez serwer sieciowy (TCP/IP) lub Modbus master-slave (TCP/IP).

Montaż jest łatwy zarówno w nowych obiektach, jak i modernizowanych budynkach, nie wymaga dodatkowych systemów kanałów, ochrony akustycznej i pożarowej. Konieczne jest tylko wykonanie otworów w ścianie zewnętrznej w celu doprowadzenia kanałów dla powietrza świeżego i usunięcia powietrza zużytego (przyłącza kanału: \varnothing 315 mm) oraz układu odpływu kondensatu. Masa łączna urządzenia o wydajności 470 m³/h wynosi ok. 340 kg, a modułowa budowa (moduł wywiewny: 63 kg, nawiewny: 103 kg i główny: 174 kg) pozwala łatwo je wносить do wnętrza budynku. Centrala jest zasilana jednofazowo 230 V/50 Hz, a jej wymiary to (szer.×wys.×głęb.): 2010×1950×601 mm. Producent oferuje również usługę montażu urządzeń oraz pełny serwis gwarancyjny.



Rys. 7. Centrala SupraBox DELUXE 750 H

Źródło: Rosenberg

Podsumowanie

Na rynku dostępny jest szeroki wybór rozwiązań wentylacji zdecentralizowanej, możliwej do zastosowania w istniejących szkołach (tych po termomodernizacji i przed nią), a także w dopiero wznoszonych budynkach. Wiele z tych technologii umożliwia montaż systemów w trakcie roku szkolnego, klasa po klasie. Sprzyja to etapowaniu wydatków przez samorządy i nie przeszkadza w funkcjonowaniu szkół, pozwala też nabrać zaufania do zastosowanych urządzeń po zapoznaniu się z ich efektami energetycznymi oraz wpływem na jakość środowiska wewnętrznego.

Literatura

1. Sowa Jerzy, *Czas na zmianę podejścia do wentylacji polskich szkół*, „Cyrkulacje” 85, styczeń–luty 2025
2. Wargocki Paweł, *Nowe zadania w projektowaniu i eksploatacji wentylacji*, „Rynek Instalacyjny” 3/2024, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/arttykul/wywiady/165077,nowe-zadania-w-projektowaniu-i-eksploatacji-wentylacji>
3. NCBR, *Zamówienie publiczne 94/21/PU/P37 – Wentylacja dla szkół i domów*, <https://www.gov.pl/web/ncbr/9421pup37---wentylacja-dla-szkol-i-domow>
4. NCBR, *Raport z badań jakości powietrza*, <https://www.gov.pl/attachment/bb0efbbf-0958-427f-b5e5-1402d1f00d82>
5. Szymalski Wojciech, Popkiewicz Marcin, *Wentylacja dla szkół i domów. Analiza i perspektywy projektu*, Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa 2021, <https://www.gov.pl/attachment/4b918d03-8bd8-40ab-8a11-3d200f4a9ec5>
6. Dumala Stawomira, *Raport stanowiący przegląd literatury w zakresie dotychczas przeprowadzonych badań w szkołach na terenie Polski pod kątem stężenia dwutlenku węgla*, styczeń 2023, <https://www.gov.pl/attachment/144a667e-c517-490c-a62e-9bac58b7ae18>
7. Trusewicz Tomasz, *Czy wentylacja w szkołach ma sens?*, „Cyrkulacje” 85, styczeń–luty 2025
8. Skwarczyński Mariusz, Dumala Stawomira, Biernacka Zuzanna, *Poprawa jakości powietrza w szkołach, Wdrożone technologie i wyniki badań*, „Cyrkulacje” 85, styczeń–luty 2025
9. Magdziarz Marek, *Modelowanie CFD – określenie komfortu w salach lekcyjnych*, „Cyrkulacje” 85, styczeń–luty 2025
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU 2002, nr 75, poz. 690, z późn. zm.)

11. *Ogłoszenie konkursu na wybór Partnerów demonstracji technologii, którzy udostępnią budynki szkół średnich i podstawowych na potrzeby demonstracji systemów opracowanych w przedsięwzięciu pn. „Wentylacja dla szkół i domów”,* <https://www.gov.pl/attachment/57a200cc-d027-4dd7-9d2c-2627330fad3d>
12. *Hybrydowy System Wentylacji dla Szkół*, materiały firmy Galmet, <https://galmet.com.pl/pl/kategorie/hybrydowe-systemy-grzewcze>
13. *Tekielak-Skałka Izabela, Bezpieczny oddech dla uczniów i nauczycieli, „BUILDVENT” 1/2024,* <https://buildvent.pl/>
14. *Rekuperator HETA School,* <https://21stopni.pl/wp-content/uploads/2020/12/21stopni-HETASchool-grudzien2020.pdf>
15. *Systemy wentylacji fasadowej do nowych i modernizowanych budynków biurowych, szkół i przedszkoli,* https://cdn.trox.de/465275dea6a6ffd7/fe2374ba3ba9/PO_2017_10_Variety_at_a_glance_DE_pl_web.pdf
16. *Rosenberg, Katalog SupraBox Deluxe,* <https://www.rosenberg.pl/produkt/SBD050VGLISO-1A#prod-download>
17. *Ryńska Joanna, Wentylacja decentralna dla mieszkań, szkół i budynków komercyjnych,* „Rynek Instalacyjny” 11/2023
18. *Warszawski standard zielonego budynku,* <https://samorzad.pap.pl/sites/default/files/2024-09/Warszawski%20Standard%20Zielonego%20Budynku.pdf>

Wentylacja placówek edukacyjnych – przepisy, normy, zalecenia a rzeczywistość

W artykule przedstawiono i porównano wybrane wymagania przepisów polskich i zagranicznych dotyczące strumienia powietrza wentylacyjnego oraz kontroli stężenia dwutlenku węgla w odniesieniu do wentylacji placówek dydaktycznych. Wymagania i zalecenia uzupełniono o dwa istotne dodatki: rekomendację dotyczącą doboru systemów wentylacji mechanicznej oraz zalecenia dla szkół w zakresie wentylacji w czasie pandemii.

Utrzymanie odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniach szkolnych i przedszkolnych uznaje się, zgodnie z szeregiem badań, za czynnik wpływający na poprawę wyników nauczania uczniów. Dlatego 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.

Strumień wentylacyjny – wymagania polskie

Według normy PN-B-03430 [1] 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 [1] 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 [2] w oparciu o normę [1] podają, że strumień powietrza wentylacyjnego, jaki musi być doprowadzony do budynków, w tym żłobków, jako kompensacja wentylacji grawitacyjnej powinien mieć wielkość maks. 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 [3], 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 od liczby osób w budynku, emisji wewnętrznych zanieczyszczeń czy jakości powietrza [4], na podstawie normy PN-EN 16798-1:2019-06 [5]. Nie jest to norma obowiązująca, ale norma okładkowa w jęz. angielskim i jako taka nie została powołana w żadnym akcie prawnym, jednak przedstawia wynikające z najlepszej obecnej wiedzy zalecenia, którymi można się kierować. Zatem według normy [5] wymagany

(projektowany) strumień powietrza wentylacyjnego dla budynków niemieszkalnych, nieprzemysłowych wynika z dwóch składowych: strumienia wentylacyjnego niezbędnego do usunięcia/rozcieńczenia zanieczyszczeń wynikających z obecności ludzi oraz strumienia wentylacyjnego potrzebnego do usunięcia zanieczyszczeń pochodzących od wyposażenia budynku i jego systemów.

Minimalny strumień powietrza wentylacyjnego, wynikający tylko z obecności ludzi, powinien wynosić $10 \text{ l/s} \cdot \text{os}$, tj. $36 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$ – wartość ta odpowiada I kategorii, czyli wysokiemu poziomowi oczekiwań, i powinna być stosowana dla budynków zajmowanych przez osoby o szczególnych potrzebach (w tym dzieci). Kategoria II (średni poziom oczekiwań) może dotyczyć większości budynków nowych i remontowanych – dla takich budynków strumień powietrza wentylacyjnego wynosi $7 \text{ l/s} \cdot \text{os}$, tj. $25,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$.

Natomiast strumień wentylacyjny mający za zadanie usunąć/rozcieńczyć zanieczyszczenia związane z budynkiem, powinien wynosić dla kategorii I od $0,5 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$, tj. $1,8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ (dla budynków o bardzo niskiej emisji zanieczyszczeń wewnętrznych), przez $1,0 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$, tj. $3,6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ (dla budynków o niskiej emisji zanieczyszczeń wewnętrznych) do $2,0 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$, tj. $7,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$, dla pozostałych budynków. W przypadku kategorii II wartości te wynoszą odpowiednio: $0,35 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ ($1,26 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$), $0,7 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ ($2,52 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$) oraz $1,4 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ ($5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$).

Zgodnie z normą, nieprzekraczalnym poziomem odniesienia powinny być wartości dla kategorii III (umiarkowany poziom oczekiwań), które wynoszą odpowiednio $4 \text{ l/s} \cdot \text{os}$, tj. $14,4 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$ (usuwanie zanieczyszczeń pochodzących od ludzi), oraz od $0,2 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$, tj. $0,72 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ (dla budynków o bardzo niskiej emisji zanieczyszczeń wewnętrznych), przez $0,4 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$, tj. $1,44 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ (dla budynków o niskiej emisji zanieczyszczeń wewnętrznych), do $0,8 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$, tj. $2,88 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$, dla pozostałych budynków.

Strumień wentylacyjny – wymagania zagraniczne

Jednym z zagranicznych przepisów określających minimalną ilość powietrza zewnętrznego jest norma niemiecka DIN 1946 cz. 2, omówiona w [6], w której dla szkół określono wymaganą minimalną ilość powietrza zewnętrznego wynoszącą $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$ (czyli ok. $8,3 \text{ l/s} \cdot \text{os}$) z uwzględnieniem ludzi lub 4–5 wymian powietrza w ciągu godziny z uwzględnieniem wyposażenia pomieszczenia.

Natomiast w artykule [7] autor powołuje się na raport CEN, zgodnie z którym 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 [8], określono wymagane strumienie powietrza w zależności od obciążenia zanieczyszczeniem w trzech kategoriach. Wytyczne przedstawione w raporcie zostały uwzględnione w normach – wycofanej PN-EN 15251:2012 [9] oraz zastępującej ją PN-EN 16798-1:2019-06 [5].

Z kolei wytyczne w Anglii i Walii [10] 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. $5 \text{ l/s} \cdot \text{os}$, przez cały czas, a także zdolność osiągnięcia minimum $28,8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$, tj. $8 \text{ l/s} \cdot \text{os}$, w każdej chwili. Przepisy te dopuszczają również stosowanie wenty-



Urządzenie do miejscowej wentylacji pomieszczenia zapewniające właściwy strumień powietrza wentylacyjnego
Fot. Rosenberg

lacji naturalnej, ale przy założeniu, że spełnione zostaną wymagania w zakresie doprowadzania strumienia powietrza zewnętrznego do każdej klasy w ilości:

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

W amerykańskich wytycznych ASHRAE 61.1 [11] znaleźć można szczegółowe dane dot. 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, obliczane w zależności od 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. $5 \text{ l/s} \cdot \text{os}$, i $3,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$, tj. $0,9 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$,
- klasy dla dzieci w wieku 5–8 lat: $18 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$, tj. $5 \text{ l/s} \cdot \text{os}$, i $3,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, tj. $0,9 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$,
- klasy dla dzieci w wieku od 9 lat: $18 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$, tj. $5 \text{ l/s} \cdot \text{os}$, i $2,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$, tj. $0,6 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$,
- sale wykładowe: $13,4 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$, tj. $3,7 \text{ l/s} \cdot \text{os}$, i $1,1 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$, tj. $0,3 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$.

W Danii natomiast przepisy (BR10) [12] 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. $3 \text{ l/s} \cdot \text{os}$, a dla osoby dorosłej $18 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$, tj. $5 \text{ l/s} \cdot \text{os}$. Dodatkowo należy uwzględnić strumień wynikający z powierzchni pomieszczenia, wynoszący minimum $1,26 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$, tj. $0,35 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$.

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 $18 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$ [13]. W artykule [13] 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 fińskich (Finnish Building Code, Part D2, Indoor Climate and Ventilation, Requirements and Guidelines 2003), gdzie strumień ten powinien wynosić $21,6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{os}$.

Wymagania polskie w zakresie kontroli stężenia CO₂

Niewątpliwie, zgodnie z najlepszą wiedzą medyczną i techniczną, zawartość dwutlenku węgla (CO₂) powinna być normowana, ponieważ parametr ten stanowi bardzo dobry wskaźnik zanieczyszczenia powietrza i skuteczności wentylacji, a przy wyższych stężeniach powoduje dyskomfort, a nawet wpływa negatywnie na zdrowie uczniów i nauczycieli.

Zgodnie z polskim ustawodawstwem zanieczyszczeniem powietrza w kontekście oddziaływania na zdrowie człowieka określa się substancje, których stężenie przekracza dopuszczalne wartości. **W polskim prawie, jak wskazano w [14], dopuszczalne progi stężeń CO₂ określone są jedynie w rozporządzeniu w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS) i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [15] odnośnie do najwyższych dopuszczalnych stężeń w środowisku pracy, które podaje NDS = 27 000 mg/m³ (4650 ppm).**

Jest to wartość wynikająca z oceny potencjalnego szkodliwego oddziaływania CO₂ 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 [15] 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. Teoretycznie odpowiednie stężenie CO₂ ma zapewnić zaprojektowanie właściwego strumienia powietrza zewnętrznego dostarczanego do pomieszczenia. Jednak wyniki badań wskazują, że szczególnie w przypadku wentylacji naturalnej stężenie CO₂ jest przekraczane [16, 17, 18, 19].

| Norma 16798-1:2019-06 [5] | | Norma PN-EN 13779 [20] | |
|---------------------------|--|--|--|
| kategoria oczekiwañ | wartość CO ₂ powyżej stężenia na zewnątrz | kategoria jakości powietrza wewnętrznego | wartość CO ₂ powyżej stężenia na zewnątrz |
| wysoka | 550 | wysoka | 350 |
| średnia | 800 | średnia | 500 |
| umiarkowana | 1350 | umiarkowana | 800 |
| niska | 1350 | niska | 1200 |

Tabela 1. Zestawienie wymagań normowych dotyczących poziomu CO₂ w budynkach niemieszkalnych [5, 20]. Średnie stężenie CO₂ w atmosferze wynosi obecnie ok. 415 ppm

W zakresie polskich wymagań można się powoływać na dobre praktyki zgodnie z normą 16798-1:2019-06 [5] lub wręcz z normą już wycofaną, ale stawiającą surowsze wymagania, tj. PN-EN 13779 [20]. Wartości zalecane w tych normach zestawiono w **tabeli 1**.

Wymagania zagraniczne w zakresie kontroli stężenia CO₂

Pierwsze wytyczne w zakresie jakości powietrza związane z dwutlenkiem węgla pojawiły się już pod koniec XIX wieku i określały stężenie, które do teraz uznaje się za odpowiadające właściwej jakości powietrza, **tj. 1000 ppm**. Racjonalny poziom stężenia CO₂, który jest zgodny z badaniami naukowymi, wskazuje raport CEN 1752 [8] – 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 CO₂ 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 CO₂ jest głównym wskaźnikiem wydajności dla oceny jakości powietrza w pomieszczeniach lekcyjnych i wentylacji w szkołach**. Zalecany przez wytyczne standard wydajności instalacji wentylacyjnej określany jest w odniesieniu do stężenia dwutlenku węgla następująco:

- średnie stężenie CO₂ nie powinno przekraczać 1500 ppm w czasie przebywania w pomieszczeniu osób,
- maksymalne stężenie CO₂ nie powinno przekraczać 5000 ppm w trakcie dnia lekcyjnego,
- w czasie przebywania w pomieszczeniach użytkownicy powinni mieć możliwość zmniejszenia stężenia CO₂ do 1000 ppm (np. przez otwieranie okien).



a)



b)

Różne rozwiązania pomiaru CO₂: a) przetwornik pomieszczeniowy do regulacji systemów wentylacyjnych (np. VAV) Fot. Smay; b) pomieszczeniowy czujnik parametrów powietrza, w tym stężenia CO₂ Fot. AirInsight

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 czy Ameryce, można zauważyć, że w państwach tych wymagane minimalne strumienie są wyższe. Różnica ta nie jest duża, wynosi 3 m³/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 m³/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 osiągnąć w przypadku wentylacji naturalnej.

Wymagania w zakresie utrzymywania stężenia dwutlenku węgla w Polsce i za granicą różnią się znacząco. 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 CO₂ nie może być wyższe niż 5000 ppm. Jego wyższa wartość 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. Można się odnieść do normy PN-EN 13779 [20] lub PN-EN 16798-1:2019-06 [5], ale **podstawowym przepisem w tym zakresie jest norma wentylacyjna PN-B-03430 [1], która nie definiuje maksymalnego stężenia dwutlenku węgla.** Aby zapewnić komfort nauki, należy przestrzegać zalecanego progu 1000 ppm wynikającego z minimum higienicznego, dla którego zgodnie z normą [7] jakość powietrza określana jest jako umiarkowana. Istotny wpływ CO₂ 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 niestety tego nie gwarantuje.



Przykład centrali wentylacyjnej z odzyskiem ciepła zgodnej z obowiązującymi w UE wymaganiami dotyczącymi urządzeń wentylacyjnych
Fot. Frappol

Dodatek 1. Rekomendacje dotyczące wentylacji dla szkół w okresie pandemii COVID-19

Zalecenia dla administracji i personelu szkół opracowała w I kwartale 2021 roku REHVA – Europejska Federacja Stowarzyszeń Ogrzewnictwa Wentylacji i Klimatyzacji [26]

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 CO₂** 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 CO₂ 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. W podobny sposób utrzymuj działanie wentylacji w toalecie.

4. Przełącz centrale wentylacyjne z recyrkulacją na **100% powietrza zewnętrznego**.

5. Dostosuj **nastawy systemów wentylacji** kontrolowanych poziomem CO₂ (jeśli są stosowane). W takich rozwiązaniach wymiana powietrza jest automatycznie zmniejszana przy mniejszej liczbie osób, aby oszczędzać energię. Jednak aby zmniejszyć ryzyko przenoszenia chorób zakaźnych, konieczna jest pełna wentylacja, nawet jeśli obecna jest tylko część uczniów. Zwykle nastawy ustawia firma serwisowa.

6. Przekaż nauczycielom **instrukcje** dotyczące korzystania z urządzeń wentylacyjnych:

- Otwieraj okna w godzinach pracy szkoły tak często, jak to możliwe. 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 wentylacją mechaniczną.
- Upewnij się, że przepływ powietrza przez nawiewniki i kratki wentylacyjne nie jest zastoiny lub zablokowany przez zasłony lub meble.
- Miej oko na wszystkie zainstalowane detektory CO₂ (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 coili) lub klimatyzatorów (mono i split), jednak upewnij się, że świeże powietrze zewnętrzne jest dostarczane w odpowiedniej ilości przez wentylację mechaniczną lub otwarte okna.

Dodatek 2. Jak zapewnić odpowiedni poziom strumienia wentylacyjnego i CO₂ w szkołach?

Poniższa rekomendacja dotycząca konkretnych rozwiązań technicznych została opracowana przez dr. inż. Ludomira Dudę, audytora energetycznego [27]

Uwzględniając skalę strat, jakie ponosimy w wyniku wadliwego systemu wentylacji szkół, **najbardziej opłacalnym rozwiązaniem jest wprowadzenie w szkołach wentylacji mechanicznej z rekuperacją**. Nowoczesne centrale wentylacyjne dzięki bardzo cichej pracy mogą być instalowane w klasach, zapewniając kontrolę stężenia CO₂ na 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 mogłoby być stosowane powszechnie. Nieliczne szkoły poddane zostały bowiem kompleksowej termomodernizacji, dzięki czemu jakość powietrza w ich klasach jest odpowiednia przy radykalnie niższych kosztach eksploatacyjnych. Pojawiają się też niestety oferty central wentylacyjnych dla szkół, które nie spełniają żadnych wymagań, ale mają atrakcyjną cenę. Zachęceni 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?**

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 CO₂ < 1000 ppm [22]. Kolejne wymagania dla central to:

- zgodność z rozporządzeniem Komisji (EU) nr 1254/2014 regulującym wymagania dot. efektywności energetycznej systemów wentylacyjnych przeznaczonych do budynków mieszkalnych [23],
- klasa energetyczna: A+,
- filtry: klasy min. ePM1 75% wg ISO 16890 [24],
- poziom hałasu: < 40 dB wg PN-EN 13141-7 [25],
- wydatek nominalny: min. 30 m³/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 czepni 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 zapewniającej 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 o profilu 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 na m² klasy, już tylko z tytułu oszczędności energii powinna się ona zwrócić w okresie krótszym niż 15 lat. Przy obecnych stopach procentowych jest to bardzo optymalne 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 cóż dopiero, jeśli dodatkowo wiąże się ona z redukcją emisji CO₂.

Literatura

1. PN-B-03430:1983/Az3:2000 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania*
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. DzU 2022, poz. 1225, z późn. zm.)
3. 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.)
4. Basińska Małgorzata, Michałkiewicz Michał, Górzeński Radosław, *Jakość powietrza. Przepisy i wymagania dotyczące komfortu termicznego, minimalnego strumienia powietrza, stężenia ditlenku węgla i pyłów*, „Rynek Instalacyjny” 5/2016
5. PN-EN 16798-1:2019-06 (wersja angielska) *Charakterystyka energetyczna budynków. Wentylacja budynków. Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki. Moduł M1-6*
6. Recknagel Hermann, Sprenger Eberhard, Schramek Ernst-Rudolf, *Kompendium Ogrzewnictwa i Klimatyzacji*, Omni Scala, Wrocław 2008
7. Sowa Jerzy, *Współczesne kierunki rozwoju systemów wentylacji i klimatyzacji*, „Energia i Budynek” 8/2007

8. *Performance criteria of buildings for health and comfort*, ISIAQ-CIB Task Group TG 42, CIB No. 292, 2004
9. PN-EN 15251:2012 *Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę*
10. Building Bulletin 101 *Ventilation and School Buildings (BB101)*
11. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016 *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*
12. *The Building Regulations 2010 (BR10)*, The Danish Ministry of Economic and Business Affairs
13. Ianniello Elvira, *Ventilation systems and IAQ in school buildings*, „REHVA Journal”, 3, 2011
14. Basińska Małgorzata, Michałkiewicz Michał, *Zanieczyszczenia powietrza i ich wpływ na zdrowie człowieka*, „Rynek Instalacyjny” 4/2016
15. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2014, poz. 807)
16. Mijakowski Michał, Sowa Jerzy, *An attempt to improve indoor environment by installing humidity-sensitive air inlets in a naturally ventilated kindergarten building*, „Building and Environment”, 111, 2017
17. Pegas Priscilla Nascimento, Etyugina Margarita G., Alves Celia A. et al., *Outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon: a preliminary study*, „Quim Nova” Vol. 33, No. 5, 2010
18. Ratajczak Katarzyna, Łochyński Szymon, *Jakość powietrza w budynku użytkowanym jako żłobek*, „Rynek Instalacyjny” 10/2017
19. Koruba Dorota i in., *Próba poprawy jakości powietrza wewnętrznego w przedszkolu*, „Budownictwo i Architektura”, 13 (4), 2014
20. PN-EN 13779:2008 *Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji*
21. DIN 1946-2 *Ventilation and air conditioning. Technical health requirements (VDI ventilation rules)*
22. *WHO Guidelines for indoor air quality: Household fuel combustion*, January 2014, <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548885> (dostęp: 30.08.2021)
23. Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 1254/2014 z dnia 11 lipca 2014 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/30/UE w odniesieniu do etykiet efektywności energetycznej systemów wentylacyjnych przeznaczonych do budynków mieszkalnych (Dz.Urz. UE L 337/27 z 25.11.2014)
24. PN-EN ISO 16890:2017-01E *Przeciwpyłowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej*
25. PN-EN 13141-7:2010 *Wentylacja budynków. Badanie właściwości elementów/wyrobów do wentylacji budynków mieszkalnych. Część 7: Badanie właściwości urządzeń wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej (z odzyskiwaniem ciepła) do wentylacji mechanicznej budynków jednorodzinnych*
26. *COVID-19 ventilation and building services guidance for school personnel*, <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance>
27. Duda Ludomir, *Wentylacja szkół – warunek konieczny dla rozwoju Polski*, „Rynek Instalacyjny” 1–2/2021
28. Ludwiczak Anna, Ratajczak Katarzyna, *Wentylacja placówek dydaktyczno-edukacyjnych – przegląd wybranych polskich i zagranicznych wymagań dotyczących strumienia powietrza i stężenia CO₂*, „Rynek Instalacyjny” 3/2018

mgr inż. Beata Klucberg

EL-PIAST Sp. z o.o.

mgr inż. Jerzy Żurawski

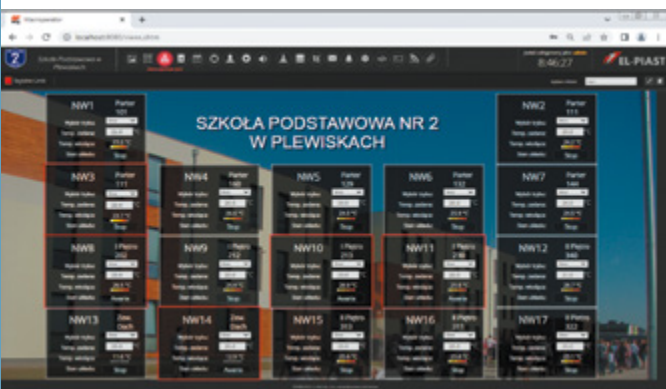
Dolnośląska Agencja Energii i Środowiska

Budynek szkolny zarządzany przez BMS

Budynki jednostek samorządu terytorialnego spełniają szczególnie istotne funkcje, stanowiąc ważne ogniwo rozwoju polskiego społeczeństwa. Społeczna odpowiedzialność za edukację – podstawową, średnią, zawodową i wyższą, rozwój nauki, ale także ośrodki ochrony zdrowia i inne budynki publiczne, w tym infrastruktury krytycznej, powinna obejmować również aspekty operacyjne i ekonomiczne tego typu obiektów. Jak zatem ułatwić zarządzane strategicznymi budynkami oraz kontrolować koszty ich użytkowania przy zachowaniu komfortu?

Mechanizm terminarza

W przypadku Szkoły Podstawowej nr 2 im. Marii Skłodowskiej-Curie w Plewiskach (woj. wielkopolskie; fot. 1) mamy do czynienia z klasycznym otwartym systemem BMS, uruchomionym w 2017 roku i opartym na protokole komunikacyjnym BACnet (rys. 1), który odpowiada m.in. za skomunikowanie poszczególnych central wentylacyjno-klimatyzacyjnych z systemem nadrzędnym. Zadaniem przykładowej wizualizacji centrali NW1 (rys. 2) jest prezentacja monitorowanego układu w sposób przystępny dla operatora (konserwatora, administratora, decydenta) – aby rozwiązać wątpliwości dotyczące elementów składowych central (rodzaj nagrzewnicy, występowanie lub nie nawilzacza, rodzaj odzysku ciepła, lokalizacja czujników ciśnienia i temperatury), budowy, a następnie serwisu systemu technicznego budynku odpowiedzialnego za wentylację. Archiwizacja danych z czujników (temperatury) zlokalizowanych przed i za układem może ułatwić przeprowadzenie kontrolnej oceny sprawności urządzeń wentylacyjnych. W omawianym budynku szkolnym wykorzystano dodatkowo bardzo prosty, ale skuteczny mechanizm okresowych przerw w działaniu układów klimatyzacji i wentylacji (rys. 3).



Rys. 1. Strona startowa systemu zarządzania budynkiem, integrującego 17 central wentylacyjno-klimatyzacyjnych odpowiedzialnych za jakość powietrza w budynku szkoły. Komunikacja wykorzystuje protokół BACnet



Fot. 1. Budynek Szkoły Podstawowej nr 2 im. Marii Skłodowskiej-Curie w Plewiskach

Źródło: <https://sp2plewiska.edu.pl/>

Źródło: EL-PIAST

Archiwizacja danych z BMS

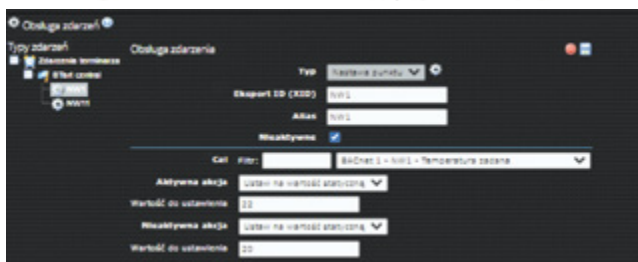
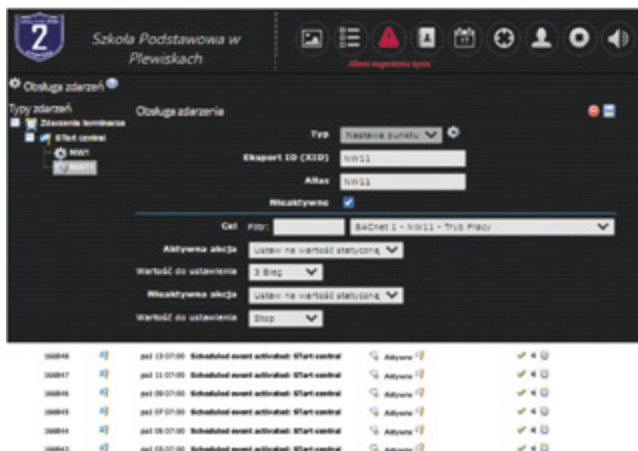
Przechowywanie długiej historii zapisów zmiennych danych w systemach chmurowych wiąże się z koniecznością skalowania kosztów archiwizowania informacji na serwerach zdalnych. Wynika to z konieczności zapewnienia odpowiedniej infrastruktury oraz backupowania off-site (czyli w innej lokalizacji niż znajduje się właściwy serwer). W przypadku zespołu budynków lub budynków rozproszonych (również po całym terytorium RP) można wykorzystać pomieszczenia serwerowni ze względu na kontrolę dostępu przeciw zalaniu. Dodatkowo w przypadku świadczenia serwisu BMS obejmującego również dbanie o dobrostan bazy, w której gromadzone są dane, dobrą praktyką jest wykonywanie kopii pobieranych off-site – na odpowiednio zabezpieczone serwery dostawcy. Można się także posługiwać harmonogramem zdarzeń MS Windows lub równoważnego systemu operacyjnego, który umożliwia definiowanie i planowanie cyklicznych procesów wykonujących kopie danych we wskazanych lokalizacjach (rys. 4), jak również procedur i reguł w bazie danych (rys. 5).

Stabilne źródło zasilania

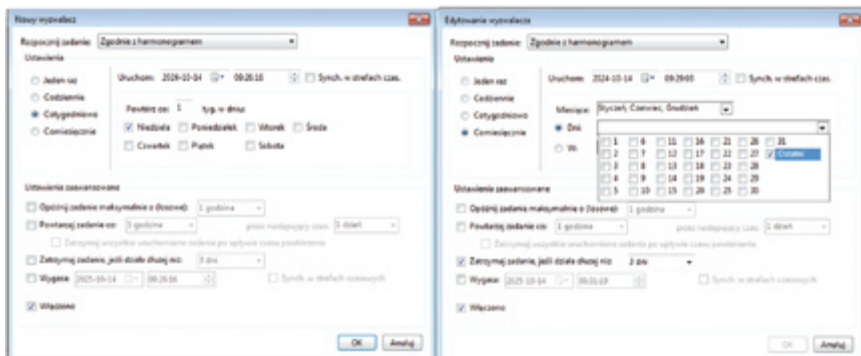
Nawet najlepszy nadrzędny system zarządzania budynkiem nie będzie mógł w sposób skuteczny i stabilny wykonywać archiwizacji, stopnia sterowania i monitorowania, jeśli inwestor lub wykonawca nie zadba o stabilne źródło zasilania. Konieczne jest zapewnienie zasilania



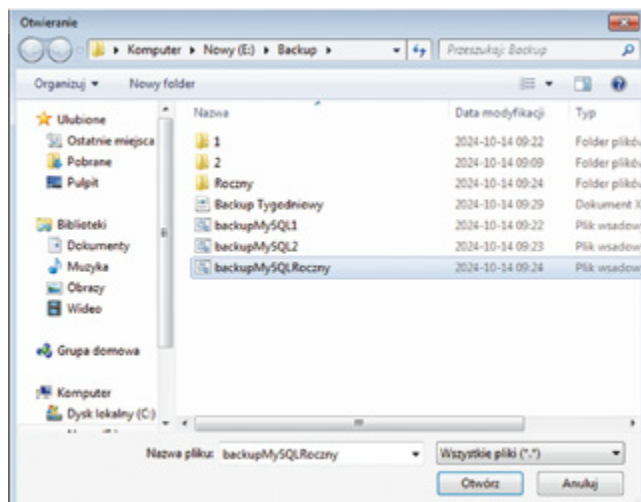
Rys. 2. Wizualizacja centrali klimatyzacyjno-wentylacyjnej NW1. Widoczny wymiennik krzyżowy, dwa filtry na wlotach powietrza, przepustnice, wentylatory nawiewu i wywiewu, nagrzewnica oraz chłodnica
Źródło: EL-PIAST



Rys. 3. Definiowanie cyklicznego zdarzenia w kalendarzu, które poza godzinami pracy szkoły uruchamia dla centrali nr 1 obniżenie temp. zadanej z 22°C na 20°C lub zatrzymanie pracy
Źródło: EL-PIAST



Rys. 4. Przykładowe definicje zdarzeń wyzwalanych cyklicznie, umożliwiających wykonanie kopii zapasowych zarchiwizowanych danych i analizę porównawczą działania systemów technicznych budynków lub kontrolę sprawności urządzeń wentylacyjno-klimatyzacyjnych, także kiedy sam system BMS podpisuje dane po okresie przechowywania (FIFO – First-In, First-Out). Właściwe opomiarowanie umożliwia kontrolę sprawności na podstawie danych oraz obserwację efektywności energetycznej budynku w pełnym cyklu pracy (także z wykorzystaniem zewnętrznych narzędzi analitycznych).
Źródło: EL-PIAST

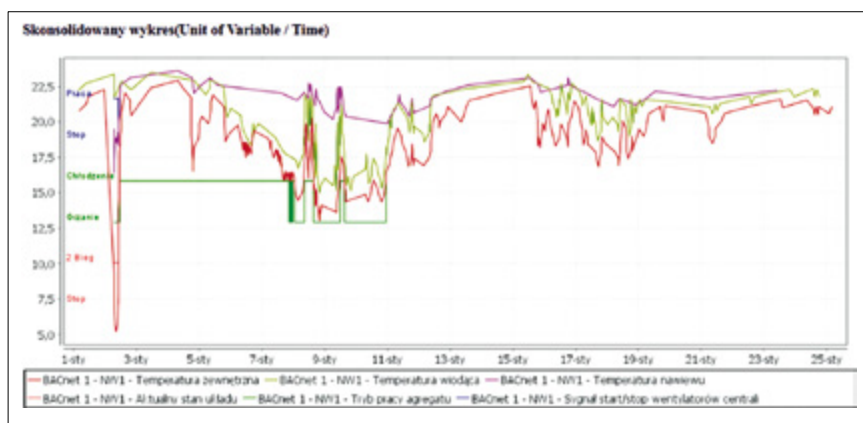


Rys. 5. Skrypty .bat wykonujące eksport bazy. Dane powinny być dostępne w formatach .sql, .xls, .csv, co umożliwia ich odczytanie ze pomocą ogólnie dostępnych narzędzi, w celu swobodnej i bezpłatnej analizy poza systemem BMS
Źródło: EL-PIAST

lania podstawowego oraz zastępczego lub podtrzymującego. Oprócz wykorzystania UPS konieczne jest również zastosowanie dodatkowych dysków fizycznych, które będą służyły wyłącznie do wykonywania backupów.

Wykresy i wizualizacje

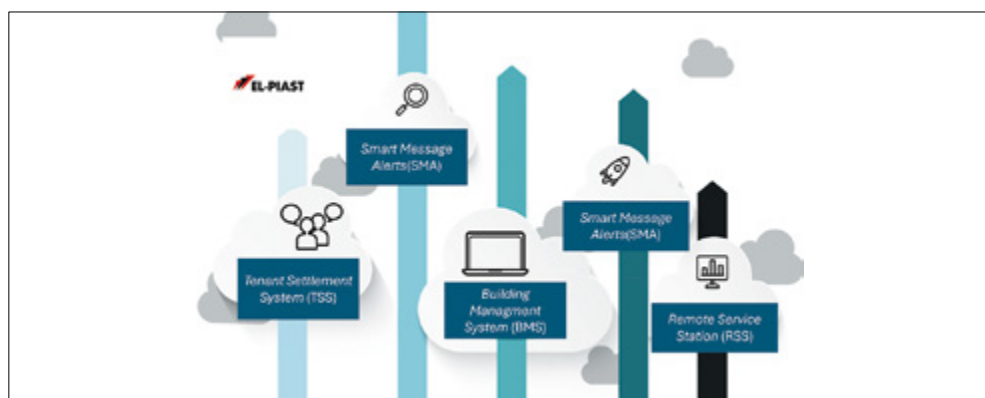
Pomimo stosunkowo niewielkiej liczby urządzeń, które znajdują się w systemie BMS analizowanej szkoły podstawowej, okresowe ograniczanie ich pracy (popołudniowe, weekendowe) pozwala na minimalizację zużycia energii elektrycznej i urządzeń wykonawczych (nagrzewnica, agregat, chłodnica) poprzez obniżanie temperatury zadanej układów po godzinach funkcjonowania – poza okresami największego obciążenia obiektu (rys. 6 i 7).



Rys. 6. Na początku stycznia analiza pracy układu wskazuje na rosnącą temperaturę nawiewu, związaną z powrotem użytkowników do budynku po przerwie świąteczno-noworocznej
 Źródło: EL-PIAST



Rys. 7. Układ dostał informację o pracy 3 stycznia, wcześniej temperatura nawiewu wynosiła 15,5°C, co świadczy o jego wyłączeniu w celu minimalizacji zużycia energii elektrycznej
 Źródło: EL-PIAST



Rys. 8. Schemat ideowy kompatybilnych, ale autonomicznych systemów nadrzędnych, które wspomagają jednostki samorządów terytorialnych w procesach administracyjnych i zarządczych oraz w poprawie efektywności energetycznej budynków
 Źródło: EL-PIAST

Możliwości rozbudowy

Ze względu na szeroki zakres odpowiedzialności społecznej jednostek samorządu terytorialnego powinny one posiadać narzędzia, które pozwolą zwiększać efektywność energetyczną budynków oraz etapowo serwisować systemy techniczne. Najlepszym narzędziem, o dużych możliwościach rozbudowy przy zachowaniu istniejącej infrastruktury oraz automatyki budynkowej, jest nadrzędny system zarządzania budynkiem – klasyczny jednobudynkowy lub rozproszony dla wielu budynków jednocześnie, taki jak ELP CLOUD.

Systemy te w dłuższej perspektywie umożliwiają również wdrożenie systemu zarządzania energią EMSA (Energy Management System Assistant) oraz systemu rozliczania najemców TSS (Tenant Settlement System). Mają dodatkowo możliwość implementacji zdalnego pogotowia serwisowego RSS (Remote Service Station), systemu powiadomień SMA (Smart Message Alerts), a w przyszłości także klasyfikacji SRI (Smart Readiness Indicator).

Każdy z powyższych modułów może być wdrożony osobno – nadrzędny system BMS odpowiada przede wszystkim za sterowanie, ale dopiero implementacja wszystkich funkcjonalności pozwala wykorzystać pełnię możliwości operacyjnych i finansowych, jakie dają systemy zarządzania budynkiem typu ELP CLOUD (rys. 8).

EI-Piast – systemy zarządzania budynkiem i energią | poprawa efektywności energetycznej | oszczędności dla szkół i JST!

Literatura

1. Kluczbeg Beata, Szymański Krzysztof, Żurawski Jerzy, *Zarządzanie energią w budynkach – obowiązek czy konieczność? Cz. 1*, „Rynek Instalacyjny” 2023, 1–2, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/instalacje-c-o-grzejniki/154850,zarzadzanie-energia-w-budynkach-obowiazek-czy-koniecznosc-cz>
2. Kluczbeg Beata, Szymański Krzysztof, Żurawski Jerzy, *Zarządzanie energią w budynkach – obowiązek czy konieczność? Cz. 2*, „Rynek Instalacyjny” 2023, 3, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/projektowanie-c-o/155996,zarzadzanie-energia-w-budynkach-obowiazek-czy-koniecznosc-cz>
3. Kluczbeg Beata, Kluczbeg Igor, Żurawski Jerzy, *Integracja automatyki budynkowej a efektywność energetyczna*, „Rynek Instalacyjny” 2023, 4, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/projektowanie-c-o/157164,integracja-automatyki-budynkowej-a-efektywnosc-energetyczna>
4. Kluczbeg Beata, Żurawski Jerzy, Fedorcak-Cisak Małgorzata, *Zarządzanie energią w zabudowie rozproszonej*, „Rynek Instalacyjny” 2023, 7–8, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/instalacje-c-o-grzejniki/159747,zarzadzanie-energia-w-zabudowie-rozproszonej>
5. Kluczbeg Beata, Żurawski Jerzy, *Czynne zarządzanie energią i budynkiem w biurach i centrach handlowych – możliwości operacyjne*, „Rynek Instalacyjny” 2024, 7–8, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/projektowanie-c-o/168806,czynne-zarzadzanie-energia-i-budynkiem-w-biurowcach-i-centrach-handlowych>
6. Kluczbeg Beata, Żurawski Jerzy, *Czynne zarządzanie energią i budynkiem w biurach i centrach handlowych – korzyści finansowe*, „Rynek Instalacyjny” 2024, 9, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/zarzadzanie-budynkami-bms/170281,czynne-zarzadzanie-energia-i-budynkiem-w-biurowcach-i-centrach-handlowych>

Czym oddychają uczniowie

Jakim powietrzem oddychają dzieci i młodzież w placówkach edukacyjnych po powrocie do pomieszczeń szkolnych? Pytanie o właściwe warunki nauki i pracy w budynkach szkolnych wydaje się szczególnie istotne po wielomiesięcznym nauczaniu zdalnym i uświadomieniu sobie roli, jaką świeże i czyste powietrze odgrywa w zapewnieniu dzieciom zdrowia i komfortu w pomieszczeniach.

W placówkach edukacyjnych na stosunkowo małych przestrzeniach przebywają po kilka–kilkanaście godzin dziennie grupy liczące ok. 25–35 osób szczególnie wrażliwych – dzieci i młodzież – oraz zapewniający im naukę i opiekę nauczyciele. Wszystkie te osoby są narażone na negatywny wpływ powietrza wewnętrznego o nieodpowiednich parametrach ciepłno-wilgotnościowych, fizykochemicznych i mikrobiologicznych.

Jakość powietrza i wentylacja a funkcjonowanie uczniów w szkołach

Na komfort cieplny i jakość powietrza w szkole i przedszkolu składają się głównie:

- **Temperatura.** Podstawowy wskaźnik komfortu cieplnego. Jeśli dyrektor szkoły nie może zapewnić w pomieszczeniach temperatury co najmniej 18°C, zobowiązany jest odwołać zajęcia [1]. W szkołach częściej występuje problem temperatury zbyt wysokiej, która sprawia, że uczniowie są przegrzani (i bardziej podatni na infekcje i choroby), szybciej się męczą i trudniej im się skoncentrować.
- **Wilgotność.** Zbyt wysoka powoduje uczucie duszności, a także przyczynia się do rozwoju grzybów i pleśni. Za niska wywołuje dolegliwości nosa, gardła i oczu, ponieważ obniża funkcjonalność błon śluzowych jako bariery ochronnej organizmu.
- **Prędkość powietrza.** Zbyt duża powoduje przeciągi, a za mała – odczucie stojącego powietrza (szczególnie przy wysokiej temperaturze).
- **Pył zawieszony.** Wywołuje choroby układu oddechowego, oddziałuje na serce i układ nerwowy oraz skutkuje większą podatnością na choroby i nasileniem dolegliwości w chorobach przewlekłych (w przypadku dzieci chodzi zwłaszcza o astmę). Może być dodatkowym czynnikiem narażenia na zakażenie wirusem SARS-CoV-2, stanowi bowiem jego fizyczny nośnik i ułatwia przenikanie drobnoustrojów do dróg oddechowych [2]. Pył zawieszony PM10, **jako nośnik organicznego węglowodoru lotnego, benzo(a)pirenu**, może mieć działanie rakotwórcze.
- **Lotne substancje organiczne** pochodzące m.in. z emisji z elementów wyposażenia (meble, wykładziny) czy środków czystości. Powodują problemy z drogami oddechowymi, podrażnienia oczu, bóle głowy i gorsze samopoczucie.
- **Zawartość bioaerozolu**, który tworzą nie tylko zarodniki grzybów i pleśni, bakterie oraz wirusy, ale także takie cząstki, jak pyłki roślin, odchody roztoczy, złuszczone naskórek czy włosy. Może ona powodować zarówno rozprzestrzenianie się chorób wśród dzieci, młodzieży i pracowników, jak i narażenie na alergie czy nasilenie ich symptomów, a także objawów chorób przewlekłych (astmy).

- **Zawartość CO₂.** Zalecane maksymalne stężenie w powietrzu wewnętrznym wynosi 1000 ppm (jest to tzw. liczba Pettenkofera, od nazwiska badacza, który ponad 100 lat temu zalecał uznawanie stężenia CO₂ za wskaźnik jakości powietrza w pomieszczeniach), a według niemieckiej normy DIN 1946-Teil 2 – 1500 ppm (maksymalna wartość chwilowa w aspekcie higienicznym). Przy zbyt wysokim stężeniu pogarsza się samopoczucie i obniża zdolność koncentracji czy produktywność, a pojawia wrażenie zaduchu i nieprzyjemnej atmosfery oraz zmęczenie.

Stężenie dwutlenku węgla w powietrzu wewnętrznym stanowi także dobry wskaźnik obecności i aktywności osób przebywających w pomieszczeniu (człowiek emituje ok. 23 l CO₂/h) oraz powszechnie stosowany wskaźnik jakości powietrza. Maksymalny poziom CO₂ w pomieszczeniach (powyżej stężenia na zewnątrz) jest też jednym ze wskaźników jakości powietrza zawartych w normie PN-EN 16798:1-2019 [3]. Dla szkół powinien on wynosić:

- 550 ppm – wysoki poziom oczekiwań (dla przestrzeni zajmowanych przez użytkowników bardzo wrażliwych pod względem środowiskowym – osoby z niepełnosprawnościami, chore, bardzo młode lub w podeszłym wieku);
- 800 ppm – normalny poziom oczekiwań (dla budynków nowych i modernizowanych);
- 1350 ppm – umiarkowany poziom oczekiwań (można go stosować w odniesieniu do istniejących budynków).

Co ważne, tzw. poziom tła CO₂ w atmosferze (mierzony w obserwatorium Mauna Loa na środku oceanu, bez wpływu czynników antropogenicznych) wciąż rośnie. W styczniu 2026 r. wyniósł 428 ppm, podczas gdy 5 lat temu było to 418 ppm [4]. W miastach i na terenach przemysłowych jego stężenie jest jeszcze wyższe. Jako maksymalne stężenie CO₂ w powietrzu wewnętrznym dobrze jest zatem przyjmować nie wartości wynikające z normy, ale wspomnianą wcześniej liczbę Pettenkofera (1000 ppm).

Za prawidłową jakość powietrza w pomieszczeniach odpowiada wentylacja. Zgodnie z § 147 rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie „wentylacja i klimatyzacja powinny **zapewniać odpowiednią jakość środowiska wewnętrznego** [podkreślenie autora], w tym wielkość wymiany powietrza, jego czystość, temperaturę, wilgotność względną, prędkość ruchu w pomieszczeniu [...] [5]. Z kolei rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej i Sportu w sprawie bezpieczeństwa i higieny w publicznych i niepublicznych szkołach i placówkach [1] stanowi, że w pomieszczeniach szkoły należy zapewnić **właściwą** [podkreślenie autorów] wentylację.

Stan jakości powietrza wewnętrznego w polskich szkołach

W 2008 r. Centralny Instytut Ochrony Pracy badał jakość powietrza w szkołach i stwierdził, że w ponad połowie badanych szkół przekroczona została zalecana maksymalna wartość stężenia CO₂, czyli 1000 ppm (maksymalne stężenia sięgały nawet 4000 ppm). Stwierdzono także przekroczenie stężeń lotnych związków organicznych, szczególnie w szkołach, które niedawno przeszły remont. 60% ankietowanych uczniów i nauczycieli uznało, że klimat w pomieszczeniach jest niezadowalający [6].

Według wyników badań przeprowadzonych w ramach projektu InAirQ (w Polsce w 12 łódzkich szkołach, z udziałem Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi i Urzędu Marszałkowskiego Województwa Łódzkiego) [7] w klasach szkolnych panuje zbyt wysokie stężenie niektórych lotnych związków organicznych (toluen, etylobenzen, ksyleny, monoterpeny – α -pinen z produktów drewnianych lub aromatyzowanych, limonen ze środków do czyszczenia podłóg). Stężenie pyłów PM_{2,5} było w salach lekcyjnych wyższe niż na zewnątrz i przekraczało zwykle 25 mg/m³ – czyli wartość dopuszczalną w Polsce dla powietrza zewnętrznego [8].

Sytuacja jest nie najlepsza nie tylko w Polsce. W latach 2012–2013 w ramach dużego ogólnoeuropejskiego projektu SINPHONIE pod auspicjami Komisji Europejskiej przeprowadzono kompleksowe badania placówek edukacyjnych w 25 krajach (w tym w Polsce) [9]. Jednocześnie stwierdzono, że jakość powietrza wewnętrznego wpływa na zdrowie, samopoczucie oraz efektywność pracy dzieci (tę ostatnią mierzy się np. wynikami testów matematycznych i logicznych).

Badania SINPHONIE [9] wykazały także związek między skutecznością wentylacji – mierzoną poprzez krotność wymian powietrza i wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego – a funkcjonowaniem dzieci w placówkach.

Ze złą wentylacją, niestety powszechną w szkołach europejskich (krotność wymian $\leq 0,68 \text{ h}^{-1}$, strumień powietrza wentylacyjnego $\leq 6,48 \text{ m}^3/\text{h}/\text{osobę}$), powiązano m.in. następujące symptomy i problemy: nasilenie objawów astmy, podrażnienie błon śluzowych, obniżona zdolność koncentracji, bóle i zawroty głowy, przesuszenie lub podrażnienie skóry dłoni i twarzy, przesuszenie i podrażnienie oczu i gardła, problemy z nosem (zatkanie, suchość, podrażnienie). Wskazano także, że w szkołach o niższej wartości strumienia wentylacyjnego wyższe były stężenia lotnych związków organicznych, pleśni i bakterii. Należy zaznaczyć, że 89% badanych szkół korzystało z wentylacji naturalnej [3].

Porównano także stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniach szkolnych z wentylacją mechaniczną (ok. 11% badanych szkół) i w szkołach, które takiej wentylacji nie mają. W klasach z wentylacją mechaniczną średnie stężenie dwutlenku węgla wynosiło 1087 ppm, a w klasach bez takiej wentylacji 1510 ppm [9]. Powstało również studium przypadku, w ramach którego porównano trzy klasy belgijskiej szkoły, w tym jedną salę wyposażoną w system wentylacji mechanicznej. W klasie z wentylacją mechaniczną stwierdzono najniższy poziom CO_2 , $\text{PM}_{2,5}$ i związków lotnych. Najbardziej widoczne były różnice w stężeniu dwutlenku węgla zimą, co wiązało się z niechęcią uczniów i nauczycieli do otwierania okien przy niższej temperaturze zewnętrznej. W klasach bez wentylacji mechanicznej poziom CO_2 wynosił średnio 2000 ppm, natomiast w klasie z wentylacją mechaniczną 870 (± 240) ppm [9].

Zbadano także związek między rodzajem wentylacji a wynikami testów logicznych rozwiązywanych przez uczniów rano i po południu, co uwzględnia zmianę jakości powietrza wewnętrznego w trakcie dnia pracy szkolnej – patrz **tabela**.

Tabela. Wyniki testów logicznych a rodzaj wentylacji [9]

| Rodzaj wentylacji | Wyniki testów logicznych |
|---|--|
| Okna otwierane 2–3 razy dziennie lub rzadziej | gorsze wyniki testów logicznych, szczególnie po południu, wyraźnie większe różnice między testami prowadzonymi rano i po południu niż w przypadku innych systemów wentylacyjnych |
| Klimatyzacja (chłodzenie) | lepsze wyniki testów matematycznych rano, po południu wyniki bardzo słabe |
| Wentylacja mechaniczna | widoczny związek z dobrymi wynikami testów logicznych zarówno rano, jak i po południu |

Badacze odnotowali także korzystny wpływ przejścia z wentylacji naturalnej na mechaniczną – zmiana ta oddziałuje pozytywnie na zdrowie dzieci, np. łagodzi objawy astmy [10]. Pod koniec lat 90. w Szwecji stwierdzono, że objawy związane ze złą jakością powietrza wewnętrznego wyraźnie osłabły po zapewnieniu strumienia powietrza wentylacyjnego ok. $32 \text{ m}^3/\text{h}/\text{osobę}$ ($9 \text{ l/s}/\text{osobę}$). Ta wartość pozwala utrzymać stężenie dwutlenku węgla poniżej 1000 ppm [9]. W tym kontekście wymaganie normy PN-B-03430 [11], tj.:

- 20 m³/h dla każdej osoby – w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi;
- 15 m³/h dla każdego dziecka – w żłobkach i przedszkolach;
- 30 m³/h dla każdej osoby – w pomieszczeniach klimatyzowanych oraz wentylowanych, o nieotwieranych oknach, wydają się absolutnym minimum.

Planując wentylację mechaniczną dla szkoły (nowej lub remontowanej), należy wziąć pod uwagę także elastyczność i ergooszczędność systemu. Powinna to być zatem wentylacja z odzyskiem ciepła (zapewniająca oszczędności na ogrzewaniu), realizowana „na żądanie” (DCV – *demand controlled ventilation*) [12]. Strumień powietrza wentylacyjnego powinien być regulowany automatycznie, np. na podstawie stężenia dwutlenku węgla.

Sterowanie wentylacją mechaniczną poprzez stężenie dwutlenku węgla polega na zastosowaniu selektywnych czujników, które w sposób ciągły lub w określonych interwałach monitorują zawartość CO₂ w powietrzu. Na tej podstawie następuje automatyczne ustawienie strumienia powietrza wentylacyjnego odpowiedniego do aktualnych potrzeb. Pozwala to zachować równowagę między komfortem dzieci, młodzieży i pracowników a ekonomiczną pracą instalacji.

Wentylacja a zdrowie – konieczna zmiana podejścia

Sterowanie wentylacją mechaniczną odpowiednio do potrzeb (np. poprzez stężenie CO₂) zaleca także tzw. Grupa Trzydziestu Sześciu. Ten zespół 36 naukowców z całego świata (w tym trzech Polaków) w artykułach naukowych [12] oraz dialogu ze Światową Organizacją Zdrowia i rządami apeluje o zmianę paradygmatu projektowania wentylacji budynków.

Zdaniem naukowców to nowe podejście stanowiłoby zmianę na skalę powszechnej sanitacji miast poprzez wprowadzenie systemów wodociągowo-kanalizacyjnych w połowie XIX w. Właściwie działające systemy wentylacji pomogłyby kontrolować rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych przenoszonych drogą powietrzną. Dotyczy to nie tylko profilaktyki zakażeń wirusem SARS-CoV-2, ale także infekcji sezonowych (np. grypy).

W przedszkolach i szkołach ten problem powraca powszechnie w okresach przejściowych, skutkując wysoką absencją wśród uczniów i nauczycieli. Dlatego systemy wentylacyjne powinny zapewniać nie tylko komfort i zdrowie na co dzień, ale także skuteczną pracę w „trybie pandemicznym”. Należy też uwzględnić fakt, że samo zwiększenie strumienia powietrza wentylacyjnego (nawet adekwatne do parametrów rozprzestrzeniania się chorób) w niektórych sytuacjach nie zmniejszy ryzyka zakażeń do akceptowalnego poziomu, np. przy dużym zagęszczeniu osób i ich bliskim kontakcie, o co nietrudno w przedszkolu czy szkole. Konieczne jest więc zastosowanie środków do oczyszczania powietrza – filtracji i dezynfekcji (filtrów o odpowiedniej skuteczności, oczyszczaczy powietrza czy lamp UV) [12].

Jak podają naukowcy z Grupy Trzydziestu Sześciu, koszt realizacji nowego budynku z wentylacją zapobiegającą rozprzestrzenianiu się infekcji byłby o 1% wyższy niż koszt budynku typowego [12]. Podobna analiza w przypadku remontu budynku istniejącego jest nieco bardziej skomplikowana, a wydatki mogą być dla dyrektorów placówek zasadniczą barierą. Jednak rzeczywiste straty związane z infekcjami są wyższe niż nakłady inwestycyjne i eksploatacyjne poniesione na profilaktykę. W przypadku szkół koszty te wiążą się przede wszystkim z nieobecnościami dzieci, młodzieży i pedagogów, ale nie zawsze ponoszą je bezpośrednio placówki edukacyjne (chodzi np. o zwolnienia opiekuńcze rodziców czy proces leczenia i rekonwalescencji). Świadomi dyrektorzy placówek dostrzegają więc, że inwestycja w komfort, zdrowie, wydajność i wyniki społeczności szkolnej czy przedszkolnej to konieczność – i że warto zapewnić jej finansowanie.

EI-Piast – systemy zarządzania

budynkiem i energią | poprawa efektywności energetycznej | oszczędności dla szkół i JST!

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny w publicznych i niepublicznych szkołach i placówkach (t.j. Dz.U. 2020 poz. 1604).
2. Mikołajska Monika, „*Od marca żyliśmy w jednej zaradzie. Teraz grożą nam trzy*”. *Pulmonolog tłumaczy, jak smog wpływa na ryzyko zachorowania COVID-19*, Medonet [online], 15 listopada 2020, <https://www.medonet.pl/koronawirus/koronawirus-w-polsce,od-marca-zyliśmy-w-jednej-zaradzie--od-pazdziernika-groza-nam-trzy--pulmonolog-tumaczy--jak-smog-wplywa-na-ryzyko-zachorowania-covid-19,artykul,06639751.html> (dostęp: 01.02.2026)
3. PN-EN 16798-1:2019-06 *Charakterystyka energetyczna budynków – Wentylacja budynków – Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki – Moduł M1-6*
4. *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*, Global Monitoring Laboratory. Earth System Research Laboratories, <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/> (dostęp: 15 lipca 2021)
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. Dz.U. 2022, poz. 1225, z późn. zm.)
6. Pośniak Małgorzata et al., *Kształtowanie jakości powietrza w pomieszczeniach szkolnych*, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2010
7. Newsletter nr 4 InAirQ – Projektu Ponadnarodowe Planowanie Działań dla Zintegrowanego Zarządzania Jakością Powietrza, Łódź, wrzesień 2018
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (t.j. Dz.U. 2021 poz. 845)
9. *Schools Indoor Pollution and Health Observatory Network in Europe – Final Report*, European Union, 2014
10. Smedje Greta, Norbäck Dan, *New Ventilation Systems at Select Schools in Sweden – Effects on Asthma and Exposure*, „Archives of Environmental Health” 5591, pp. 18–25
11. PN-B-03430 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania*
12. Morawska Lidia et al., *A paradigm shift to combat indoor respiratory infection. Building ventilation systems must get much better*, „Science” Vol. 372, Iss. 6543, May 14, 2021, pp. 689–691
13. ODDECH DLA SZKÓŁ – ogólnopolski program poprawy jakości powietrza wewnętrznego i efektywności energetycznej, www.oddechdlaszkol.pl

Bezpieczeństwo wewnętrznych instalacji wodociągowych w szkołach

Szkoła to miejsce, w którym uczniowie, nauczyciele i inni pracownicy oświaty spędzają wiele czasu. Utrzymanie odpowiedniej jakości wody, zwłaszcza po długich miesiącach zamknięcia placówek spowodowanego pandemią i wakacjami, a co za tym idzie braku jej obiegu w instalacji, to kolejne wyzwanie, z którym musimy się zmierzyć. Przestoje w obiegu wody stwarzają korzystne warunki do rozwoju zagrożeń mikrobiologicznych, chemicznych i fizycznych. Ryzyko to można jednak skutecznie zredukować, identyfikując je i stosując środki zapobiegawcze.

Doświadczenie pokazuje, że niewłaściwe projektowanie i zarządzanie instalacjami wodociągowymi w budynkach może stać się przyczyną występowania chorób. Zagrożeń dla zdrowia można uniknąć i w prosty sposób je kontrolować. Działania mające na celu zminimalizowanie, a nawet wyeliminowanie ryzyka występowania chorób powinny stanowić priorytet w zapewnieniu zdrowia publicznego. W naszym kraju zarządzanie instalacjami wodociągowymi w szkołach jest bardzo często bagatelizowane i nie jest objęte zakresem odpowiedzialności dostawcy wody. Dostawca odpowiada za jej jakość w ograniczonym stopniu, jedynie do punktu poboru – jest nim zazwyczaj pierwszy zawór za wodomierzem głównym. **Dbałość o instalację wewnętrzną spoczywa zatem na administratorze, zarządcy lub właścicielu budynku**, którego znajomość i przestrzeganie wytycznych dotyczących wody pitnej są często ograniczone [1].

W Polsce wymagania dotyczące wody pitnej określa rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [3] wraz z załącznikami. Woda jest zdatna do użycia, jeżeli jest wolna od mikroorganizmów chorobotwórczych i pasożytów w liczbie stanowiącej potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego oraz wszelkich substancji w stężeniach stanowiących potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego, nie wykazuje agresywnych właściwości korozyjnych i spełnia wymagania mikrobiologiczne i chemiczne. Graniczne wartości powyższych parametrów i bakterii występujących w zimnej wodzie ujęte zostały w załączniku nr 1 do rozporządzenia. Dodatkowo ciepła woda użytkowa powinna spełniać wymagania określone w załączniku nr 5, który skupia się głównie na zawartości mikroorganizmów *Legionella sp.* Powyższe rozporządzenie uwzględnia zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia, ale przede wszystkim jest zgodne z dyrektywą Rady Unii Europejskiej (Ramową Dyrektywą Wodną), która określa parametry dopuszczalnego stężenia substancji szkodliwych dla zdrowia, barwę, mętność, ogólną liczbę bakterii, zawartość ogólnego węgla organicznego, smak i zapach.

Dostawcy wody są zobowiązani przepisami prawa (ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków [4]) do zapewnienia dostaw wody o wymaganej jakości w sposób ciągły oraz do prowadzenia systematycznej kontroli jakości wody, która obejmuje analizę parametrów fizyko-chemicznych, bakteriologicznych i organoleptycznych zarówno na wyjściu z zakładu wodociągowego, jak i w sieci rozdzielczej, a także bezpośrednio u odbiorców. Nadzór nad jakością wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi sprawowany jest w Polsce przez organy Państwowej Inspekcji Sanitarnej [2, 3].

Jakość wody po drodze do konsumenta

O ile możemy być spokojni, że jakość wody dostarczanej przez przedsiębiorstwa wodociągowe spełnia obowiązujące normy w punkcie poboru, o tyle rodzi się pytanie o jej jakość w punktach czerpalnych na instalacjach wewnętrznych. W świetle zapisów dyrektywy w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [5] wartości parametryczne do celów oceny jakości wody pitnej mają być przestrzegane w punkcie, w którym woda wypływa z kranów używanych zwykle do poboru wody do spożycia. Na powyższe mogą mieć wpływ nie tylko zewnętrzne systemy wodociągowe, ale przede wszystkim wewnętrzne, co sprawia, że nawet jeśli jakość wody doprowadzanej do budynku nie budzi zastrzeżeń, może ona ulec znacznemu pogorszeniu w wyniku oddziaływania wewnętrznej instalacji wodociągowej w samym obiekcie [5, 6].

Duża grupa chorób przenoszonych przez wodę związana jest ze skażeniem mikrobiologicznym, jak i chemicznym wody w instalacjach wewnętrznych. WHO odnotowała, że w Unii Europejskiej największe obciążenie dla zdrowia spośród wszystkich patogenów przenoszonych przez wodę powoduje bakteria *Legionella*. Atakuje drogi oddechowe i powoduje ostre zapalenie płuc. Infekcja objawia się: gorączką, kaszlem, bólami głowy, bólami brzucha, nudnościami, biegunką i niewydolnością oddechową; w skrajnych przypadkach może powodować śmierć. Przenoszona jest poprzez systemy dystrybucji ciepłej wody użytkowej drogą inhalacyjną, np. podczas korzystania z prysznica. Ma to więc wyraźny związek z wewnętrznymi systemami wodociągowymi [1, 5].

Z kolei objawy zatrucia metalami ciężkimi, np. ołowiem, miedzią, kadmem, niklem, w zależności od substancji i jej stężenia mogą powodować zaburzenia żołądkowo-jelitowe, negatywne skutki neurologiczne, a nawet uszkodzenia nerek i choroby nowotworowe. Zatrucie może nastąpić na skutek spożycia wody zawierającej nadmierne stężenia spowodowane wymywaniem substancji związanych z korozją lub stojącą wodą [1].

Przeniesienie chorób przez wodę i zatrucia mogą być spowodowane nieodpowiednim stanem technicznym instalacji, korozją, nieprawidłowym połączeniem przewodów, brakiem zabezpieczeń przed przepływem wstecznym, bezpośrednim skażeniem na skutek błędów w wykonaniu instalacji wodnych, uwalnianiem substancji niebezpiecznych z nieodpowiednich materiałów, pośrednim skażeniem przez połączenia pomiędzy instalacjami wody pitnej oraz wody zanieczyszczonej lub magazynami substancji chemicznych, miejscowym rozwojem mikroorganizmów (np. *Pseudomonas aeruginosa*, niegruźliczych prątków *Mycobacteria* oraz *Legionella*) [1, 6].

Pogorszeniu jakości wody może sprzyjać wieloletni czas eksploatacji systemu, niski rozbiór wody i związany z nim długotrwały zastój wody w instalacji, wyższa temperatura wody w budynku oraz niekorzystny stosunek powierzchni elementów konstrukcyjnych instalacji do objętości kontaktującej się z nią wody, sprzyjający zjawisku migracji.

Nieodpowiedni stan wewnętrznej instalacji wodociągowej w budynku może powodować pogorszenie jakości wody – głównie wskaźników decydujących o ocenie sensorycznej i akceptowalności, ale także bezpieczeństwie dla zdrowia (skażenie mikrobiologiczne, ołów) [6].

Dostęp dzieci do wody pitnej

Świadomość powyższych zagrożeń jest istotna m.in. ze względu na fakt, że od 2015 roku **w wszystkich szkołach wprowadzony został zakaz sprzedaży „śmiecioviej” żywności dla dzieci, m.in. przetworzonych, zawierających substancje mogące szkodzić zdrowiu, dosładzanych napojów. Tym samym szkoły i przedszkola winny zapewnić dzieciom czystą wodę do picia, za którą użytkownicy nie będą musieli płacić.**

W świetle krajowych przepisów [7, 8] oraz wspólnego stanowiska Ministra Edukacji Narodowej, Ministra Zdrowia oraz Ministra Sportu i Turystyki w sprawie działań podejmowanych przez szkoły i przedszkola w zakresie zdrowego żywienia uczniów i dzieci, obowiązkiem szkół i przedszkoli jest „Umożliwienie uczniom/dzieciom dostępu do produktów i napojów (...) zapewnienie

uczniom/dzieciom dostępu do wody pitnej”, co wynika także z zaleceń Inspekcji Sanitarnej opracowanej na podstawie materiałów WHO, Panelu ds. Produktów Dietetycznych, Żywienia i Alergii Europejskiego Urzędu Bezpieczeństwa Żywności (EFSA 2010) oraz raportu „Wise up on water” Water UK 2006, jak również ww. dyrektywy.

Umożliwienie dzieciom i młodzieży bezpośredniego korzystania z wody wodociągowej do picia podczas pobytu w placówkach szkolno-wychowawczych zaczyna być obecnie szeroko promowane w Polsce, nie tylko dzięki powyższemu zapisom prawnym, ale również na skutek wzrastającej świadomości dotyczącej konieczności kształtowania zdrowych nawyków żywieniowych i zdrowego trybu życia od najmłodszych lat. Mówi o tym nowa piramida żywienia, kładąc mocny nacisk na uświadamianie niebagatelnego wpływu odpowiedniego nawodnienia organizmu na zdrowie. W powyższy trend wpisuje się również wzrastająca świadomość ekologiczna społeczeństwa i dążenie do ograniczenia ilości odpadów, a przede wszystkim plastiku używanego zazwyczaj przy sprzedaży butelkowanych napojów. Tym samym coraz większą popularność zyskują pitniki instalowane w szkołach. Rozwiązanie to zapewnia stały dostęp do czystej wody, jednak zachęcanie dzieci do bezpośredniego spożycia wody wodociągowej wymaga zapewnienia jej odpowiedniej jakości.

Dlatego też w świetle nowej dyrektywy w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [5] otwiera się furta dla wprowadzenia narzędzia umożliwiającego zarządzanie jakością wody w instalacjach wewnętrznych w sposób efektywny. Stanowi ona odpowiedź na inicjatywę obywatelską „Right2Water” na rzecz poprawy dostępu wszystkich Europejczyków do bezpiecznej i wysokiej jakości wody z kranu. Jej celami są ochrona zdrowia ludzkiego przed niepożądanymi skutkami wszelkiego zanieczyszczenia wody poprzez zapewnienie, by była ona zdrowa i czysta, a także powszechnie dostępna. Dyrektywa ta uaktualnia normy jakości wody z kranu, ustalając maksymalne limity dla niektórych substancji zanieczyszczających, tj. ołów i szkodliwe bakterie. Nakłania do wprowadzania programów monitorowania w celu sprawdzenia, czy woda przeznaczona do spożycia przez ludzi spełnia wymogi. Może to być rozwiązane poprzez wdrażanie oceny ryzyka w budynkach prywatnych i użyteczności publicznej oraz regulacje dotyczące kontroli jakości materiałów budowlanych i instalacyjnych w tzw. budynkach priorytetowych, a więc m.in. w szkołach i przedszkolach [5].

Plany Bezpieczeństwa Wody

Przeprowadzanie efektywnej kontroli jakości wody wspomaga tworzenie Planów Bezpieczeństwa Wody, które powinny zawierać identyfikację potencjalnych zdarzeń niebezpiecznych prowadzących do występowania zagrożeń, ocenę ryzyka i zarządzanie nim, co w obiektach priorytetowych przeprowadzane będzie obowiązkowo. Powinny one obejmować cały system zaopatrzenia, od źródła wody, jego zlewnię, poprzez ujęcie, uzdatnianie, sieci wodociągowe oraz wewnętrzne instalacje, aż do kranu konsumenta. W Polsce wdrażanie Planów Bezpieczeństwa Wody jest w początkowej fazie, a wielu dostawców wody ogranicza tworzenie PBW jedynie do systemów uzdatniania wody i dystrybucji w zewnętrznych systemach wodociągowych, pomijając instalacje wewnętrzne z przyczyn technicznych i prawnych.



Fot. Elkey

Jednak państwa członkowskie UE będą zobowiązane do zajęcia się wszystkimi instalacjami wewnętrznymi pod kątem jakości wody oraz kontroli stosowanych materiałów mających kontakt z wodą pitną w aspekcie ustalonych minimalnych wymogów higienicznych. Według Izby Gospodarczej Wodociągi Polskie wdrożenie dyrektywy wymagać będzie nowelizacji ustawy o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę oraz rozporządzenia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

W celu zmniejszenia ryzyka związanego z dystrybucją wody w instalacjach wewnętrznych konieczne będzie rozważenie wszystkich zalecanych w dyrektywie środków i zastosowanie tych, które zostaną uznane za istotne. W odniesieniu do bakterii *Legionella* należy zapewnić skuteczne i proporcjonalne do ryzyka środki kontroli i zarządzania w celu zapobiegania występowaniu ognisk choroby lub wyeliminowania ewentualnych ognisk, jak np. regularne płukanie, czyszczenie i konserwacja instalacji, odłączanie odgałęzień nieprzelotowych, monitorowanie temperatury, izolowanie rur, zapewnienie odpowiedniej cyrkulacji wody, aby zapobiegać jej stagnacji i zbyt niskim prędkościom przepływu, stosowanie odpowiednich materiałów do budowy instalacji. Należy też dążyć, o ile będzie to opłacalne ekonomicznie i technicznie, do wymiany elementów zawierających ołów w instalacjach wewnętrznych [1, 5].

Jednym z narzędzi, które może zapewnić kontrolę jakości wody w instalacji wodociągowej w szkołach jest **tworzenie Planów Bezpieczeństwa Wody. Ich wprowadzenie powinno stanowić priorytet dla każdego dyrektora placówki oświatowej**, zwłaszcza że jest to narzędzie uważane za najefektywniejsze w kontekście zapewnienia dostaw bezpiecznej wody ze względu na kompleksowe podejście do zarządzania ryzykiem, obejmujące wszelkie etapy, od źródła, poprzez uzdatnianie i dystrybucję do odbiorców.

Plany Bezpieczeństwa Wody oparte są na identyfikacji wszelkich istotnych zagrożeń dla zdrowia oraz zapewniają stosowanie skutecznej kontroli i czynników ograniczających ryzyko do dopuszczalnych poziomów. Ponadto zapewniają monitorowanie działania elementów kontroli i czynników gwarantujących utrzymanie bezpieczeństwa [1]. Systematyzują funkcjonujące od dawna zasady i dobre praktyki w dziedzinie dostarczania wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, odnoszące się zarówno do kwestii jakościowego, jak i ilościowego zarządzania wodą. Z założenia tworzenie PBW powinno być łatwe i są to dokumenty robocze, aktualizowane na bieżąco i okresowo sprawdzane w celu potwierdzenia ich zasadności. Zespół powołany do tworzenia PBW powinien w pierwszej kolejności sporządzić opis istniejącej instalacji wodociągowej, który uwzględnił będzie sposób zasilania w wodę, jej jakość w punkcie poboru wody w budynku oraz inne zastosowane rozwiązania techniczne, np. instalacje wody ciepłej i zimnej, urządzenia wykorzystujące wodę oraz lokalizacje punktów czerpalnych. Dokładny opis instalacji wodociągowej jest istotny ze względu na rozpoznanie zagrożeń, odpowiednią ocenę ryzyka oraz określenie właściwych środków kontroli. Następnie konieczne jest rozróżnienie funkcji i przeznaczenia poszczególnych instalacji wodociągowych oraz przeprowadzenie szczegółowego opisu ich zastosowań w budynku. Należy rozróżnić instalację wody zimnej i wody ciepłej ze względu na występowanie innych rodzajów zagrożeń [1] – o czym mówi także rozporządzenie. [3]. Ponadto w budynku zazwyczaj znajduje się instalacja kanalizacji sanitarnej i mogą występować inne instalacje z różnymi rodzajami wód – np. wody destylowanej do laboratorium chemicznego, deszczowej, przeciwpożarowej, szarej i wody z recyklingu. Instalacje z wodą inną niż przeznaczona do spożycia muszą być odizolowane.

Na etapie rozpoznawania zagrożeń zespół ds. PBW powinien przeanalizować i wytypować miejsca, gdzie mogą wystąpić ewentualne zagrożenia i zdarzenia niebezpieczne. Pod uwagę należy wziąć zagrożenia mikrobiologiczne i chemiczne. Należy podkreślić, że prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych jest proporcjonalne do wielkości i złożoności budynku może się zwiększyć przez wdrożenie nieprawidłowego projektu, wykonania, obsługi lub konserwacji, zwłaszcza że zdarzenia niebezpieczne obejmują szereg czynników.

Przykładowa ocena ryzyka

Zespół ds. Planu Bezpieczeństwa Wodnego (PBW) zbadał instalację wodną w szkole dla 600 uczniów. W budynku znajdowało się gimnazjum z dwoma pomieszczeniami i łącznie 40 natryskami. Zespół ds. PBW wykrył następujące problemy:

- Jedna rura doprowadzająca wodę w budynku była wykonana z ołowiu. Dostarczała ona wodę do trzech łazienek i jednej małej kuchni.
- Znalaziono jedną małą nieszczelność w rurze w piwnicy.

Ciepła woda była przygotowywana w centralnej instalacji w głównym budynku i miała temperaturę 60°C. Nie było żadnej pętli cyrkulacyjnej. Rury doprowadzające ciepłą wodę do natrysków w gimnazjum nie były prawidłowo izolowane. Rury zimnej wody znajdowały się blisko rur z ciepłą wodą.

Zespół ds. PBW przygotował poniższą tabelę do oceny ryzyka i zdecydowania o wyborze dodatkowych środków kontroli.

Ocena ryzyka i dodatkowe środki kontroli w przypadku przykładowej instalacji wodnej

| | Zagrożenie 1 | Zagrożenie 2 | Zagrożenie 3 |
|---|---|--|--|
| Zagrożenie lub zdarzenie niebezpieczne | Rura z ołowiu | Nieszczelna rura | Spadek temperatury między podgrzewaczem a natryskiem; maksymalna temperatura wody w natrysku 48°C |
| Rodzaj zagrożenia | Skażenie chemiczne ołowiem | Skażenie chemiczne i mikrobiologiczne | Rozwój mikroorganizmów (<i>Legionella</i>) |
| Aktualnie stosowane środki kontroli | Brak | Brak | Podgrzewanie wody regulowane przez termostat |
| Podstawa do oceny ryzyka | Prawdopodobne jest codzienne spożycie przez dzieci wody zanieczyszczonej ołowiem z kranów w łazienkach i małej kuchni | Uważa się, że w najbliższej przyszłości awaria sieci wodociągowej nie jest prawdopodobna | Bardzo prawdopodobne są długie okresy zastoju ciepłej wody doprowadzanej do natrysków. Będą występować temperatury poniżej 60°C i bardzo możliwy jest rozwój bakterii <i>Legionella</i> . Ponadto prawdopodobne są podwyższone temperatury w rurach z zimną wodą. Mogą one sprzyjać rozwojowi bakterii <i>Legionella</i> |
| Ryzyko | Poważne | Małe | Poważne |
| Dalsze badania | Analiza wody pod kątem ołowiu | Sprawdzenie integralności instalacji wodnej. Sprawdzenie zgodności materiałów. Sprawdzenie pod kątem korozji | Wyznaczenie profilu temperatury instalacji. Sprawdzenie podgrzewaczy wody. Sprawdzenie wykorzystania instalacji wodnej. Analiza wody pod kątem bakterii <i>Legionella</i> |
| Nowe lub zmodyfikowane środki kontroli | Krótkoterminowe: – poinformowanie nauczycieli i uczniów, że wodę można pić tylko z określonych kranów – oznakowanie kranów z wodą zanieczyszczoną ołowiem Długoterminowe: – wymiana wszystkich rur ołowianych | Zastąpienie odpowiednim materiałem | Krótkoterminowe: – zamknięcie natrysków Długoterminowe: – montaż instalacji cyrkulacyjnej ciepłej wody, założenie odpowiedniej izolacji termicznej na rurach z ciepłą i zimną wodą |

Podczas sporządzania oceny i analizy ryzyka należy wziąć pod uwagę nie tylko zdarzenia mogące mieć miejsce w instalacji wewnętrznej, ale również związane z odpowiedzialnością dostawcy wody. Przykładami mogą być: dostarczenie skażonej wody lub brak ciągłości jej dostaw, wnikanie zanieczyszczeń do zewnętrznych lub specyficznych dla budynku źródeł wody. Zdarzenia niebezpieczne związane z instalacją wewnętrzną mogą być spowodowane: nieprawidłowym przepływem i zastojem wody w zbyt długich i nieprzelotowych odgałęzieniach, nieciągłą eksploatacją lub długimi okresami bez eksploatacji (np. szkoły podczas wakacji), wnikaniem zanieczyszczeń do wody w wyniku awarii wewnętrznej instalacji wodociągowej np. na skutek zakłócenia jej integralności (ryzyko to wzrasta, zwłaszcza gdy instalacje kanalizacji sanitarnej lub inne instalacje wodociągowe położone są blisko siebie), nieprawidłowym kontrolowaniem uzdatniania, rozwojem mikroorganizmów i biofilmów (na skutek np. przerw w dostawie wody, niskiego natężenia przepływu, nieodpowiedniej regulacji temperatury, tworzenia się kamienia, korozji, nieodpowiednich materiałów zastosowanych do budowy instalacji, niewłaściwej konserwacji), uwalnianiem zagrożeń z materiałów i wyposażenia, wymieszaniem się wód szczególnego przeznaczenia, niedostatecznym zarządzaniem, np. brakiem ciągłości eksploatacji, robotami budowlanymi, remontami, sytuacjami wyjątkowymi, jak np. powódzie.

Następnie zespół powinien przystąpić do przeprowadzenia oceny ryzyka, która jest procesem polegającym na ocenie rozpoznanych zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych w celu ustalenia, czy stanowią one znaczące ryzyko, które musi być kontrolowane. Konieczne jest rozeznanie niedopuszczalnych rodzajów ryzyka. Ocena ryzyka powinna uwzględniać skuteczność istniejących środków kontroli, a w przypadku gdy ryzyko pozostaje na niedopuszczalnie wysokim poziomie, wymagane są alternatywne lub dodatkowe środki.

Środki kontroli, czyli bariery dla ryzyka, należy określić i wdrożyć tylko dla zdarzeń ocenionych jako istotne. Mogą one obejmować różne czynności i procesy, jak np. środki zapobiegawcze, dodatkowe uzdatnianie wody, środki techniczne oraz środki dotyczące zachowania, np. sposób użytkowania wody. Wszystkie podjęte środki kontroli powinny być zweryfikowane pod kątem skuteczności [1]. W ramce – przykładowa ocena ryzyka w szkole opracowana przez WHO [1].

Na jakość wody w instalacji wodociągowej ma zatem wpływ szereg czynników, przy czym rodzaj i charakter narażenia jest zmienny. Szkoły zapewniają wodę pitną nie tylko do standardowych zastosowań, ale również specjalnych, np. w laboratoriach naukowych i badawczych oraz obiektach szkoleń technicznych. Mimo że spożycie wody pitnej, czy to bezpośrednio, czy też w postaci posiłków lub napojów, wiąże się z największym narażeniem, konieczne jest również rozeznanie innych dróg przenoszenia chorób. Spożycie wody i kontakt z nią – fizyczny czy np. wdychanie aerozoli – może wystąpić również poprzez kąpiel, korzystanie z basenów, obiektów do hydroterapii czy basenów z ciepłą wodą.

Źródło zagrożenia może stanowić wyposażenie techniczne wykorzystujące wodę oraz jej zbiorniki magazynowe. W laboratoriach mogą być dostępne stanowiska do przemywania oczu i natryski bezpieczeństwa, które bez regularnego przepłukiwania, podobnie jak systemy ochrony przeciwpożarowej, są narażone na zastój wody i rozwój biofilmu. Wykorzystanie wody w obiektach edukacyjnych może nie zachowywać ciągłości przepływu i charakteryzować się długimi okresami zastoju, w szczególności w okresie wakacji [1]. Placówki opieki nad małymi dziećmi powinny podchodzić do powyższych kwestii ze szczególną uwagą, ponieważ dzieci te mogą być bardziej podatne na choroby i działanie substancji skażających, takich jak ołów. Ołów i inne metale ciężkie mogą zostać uwalniane na skutek przerw w obiegu wody w instalacji np. w trakcie weekendów czy wakacji [1].

W celu wyeliminowania lub ograniczenia zagrożeń mikrobiologicznych, a zwłaszcza bakterii *Legionella*, należy wdrożyć procedury i programy regularnego płukania, czyszczenia i konserwacji instalacji, odłączania odgałęzień nieprzelotowych, monitorowania temperatury, izolowania rur, za-

pewnienia odpowiedniej cyrkulacji wody, aby zapobiegać jej stagnacji i zbyt niskim prędkościom przepływu, oraz stosować odpowiednie materiały do budowy instalacji [1]. Aby uchronić się przed wystąpieniem zagrożeń chemicznych, należy unikać połączeń z innymi instalacjami niż przeznaczone do wody pitnej, zadbać o montaż zaworów antyskażeniowych i filtrów oraz dobrać materiały przeznaczone do kontaktu z wodą pitną. Wszelkie prace budowlane związane z montażem, remontami, kontrolami winny być przeprowadzane przez wykwalifikowaną kadrę [1].

Stałe zaopatrywanie szkół w bezpieczną wodę wymaga efektywnego funkcjonowania całego systemu zasilania w wodę i zarządzania nim od ujęcia, a nawet całej zlewni, po punkty czerpalne u odbiorców. Zgodnie z wytycznymi dotyczącymi jakości wody do spożycia (GDWQ) (WHO, 2008) najskuteczniej osiąga się to przez Ramowy Program Zarządzania Jakością Wody do Spożycia, obejmujący takie elementy, jak wytyczenie celów zdrowotnych jako poziomów odniesienia dla zdefiniowania bezpieczeństwa wody pitnej, zapewnienie bezpieczeństwa przez opracowanie i wdrożenie PBW w celu trwałej oceny rodzajów ryzyka i zarządzania nimi, wprowadzenie systemu niezależnego nadzoru dla zweryfikowania, czy PBW są efektywne i są w stanie zapewnić ciągłe zaopatrzenie w wodę spełniającą cele zdrowotne. Cechą PBW jest zarządzanie ryzykiem ukierunkowane na zapobieganie [1]. Istotnym zagadnieniem jest w nich ciągłe monitorowanie systemu przez kompetentne, niezależne instytucje.

Zazwyczaj PBW są opracowywane po zaprojektowaniu i zbudowaniu instalacji wodociągowej, jednakże należy dążyć w miarę możliwości do takiego stanu, aby nowe lub modernizowane instalacje były projektowane i budowane w sposób sprzyjający wdrożeniu PBW. Ważne jest, aby już na etapie projektu uwzględnić nie tylko mogące się pojawić zagrożenia, ale również aspekty praktyczne, jak np. łatwość dostępu w celach konserwacji, kontroli i monitorowania [1].

Literatura

1. Cunliffe David et al, *Water safety in buildings*, WHO, 2011, http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/76145/9789241548106_eng.pdf (dostęp: 10.02.26)
2. Radzka Elżbieta, Jankowska Jolanta, *System zarządzania jakością wody pitnej w Polsce*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, nr 107/2015, https://repozytorium.uph.edu.pl/bitstream/handle/11331/628/Radzka_Jankowska_System_zarzadzania_jakoscia_wody (dostęp: 10.02.2026)
3. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 11 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (DzU 2017, poz. 2294).
4. Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (DzU 2017, poz. 328, 1566 i 2180)
5. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (wersja przekształcona) (Dz.Urz. UE L 435/1)
6. *Zasady udostępniania wody wodociągowej dzieciom w placówkach szkolno-wychowawczych – bezpieczne formy i zalecenia higieniczno-sanitarne*, opracowanie metodyczne, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny, wrzesień 2015
7. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 26 lipca 2016 r. w sprawie grup środków spożywczych przeznaczonych do sprzedaży dzieciom i młodzieży w jednostkach systemu oświaty oraz wymagań, jakie muszą spełniać środki spożywcze stosowane w ramach żywienia zbiorowego dzieci i młodzieży w tych jednostkach (DzU 2016, poz. 1154)
8. Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia (DzU 2006, nr 171, poz. 1225, z późn. zm.)

Czystość powietrza w placówkach edukacyjnych – rozwiązania uzupełniające

Choć najlepszym sposobem na zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniach przedszkolnych czy szkolnych jest odpowiednio zorganizowana wentylacja, w niektórych sytuacjach konieczne jest zastosowanie rozwiązań wspomagających jej pracę. Chodzi przede wszystkim o rozwiązania doraźne (kiedy w budynku nie ma wentylacji mechanicznej) oraz o oczyszczenie powietrza w sytuacjach szczególnego ryzyka.

W budynkach edukacyjnych, w których z natury rzeczy przebywa duża grupa osób o szczególnych potrzebach, występuje aerozol biologiczny składający się m.in. ze szkodliwych mikroorganizmów. Częściowo pochodzi on z zewnątrz, ale najważniejsze są jego źródła wewnętrzne, wśród których zasadniczym są po prostu użytkownicy pomieszczeń. Wnoszą oni na ubraniach i butach zanieczyszczenia zewnętrzne (np. pył bakteryjny i zarodniki grzybów, głównie z rodzaju *Cladosporium*) oraz emitują z górnych dróg oddechowych bakterie i wirusy, które następnie rozprzestrzeniają się drogą kropelkową [1]. Wśród licznych składników bioaerozolu największą szkodliwość dla człowieka wykazują: grzyby i ich zarodniki (1–100 μm), bakterie (0,1–2 μm) oraz wirusy (0,01–1 μm) [1].

Cząstki o rozmiarach mniejszych niż 5–7 μm zazwyczaj pozostają zawieszone w powietrzu, stanowiąc frakcję tzw. respirabilną, czyli dostającą się do górnych i dolnych dróg oddechowych wraz z wdychanym powietrzem. Największe zagrożenie wśród tej frakcji stanowią cząstki mniejsze niż 2,5 μm , ze względu na penetrację oskrzeli i płuc [1]. Cząstki biologiczne frakcji respirabilnej mogą bezpośrednio powodować astmę i alergię, stanowią także źródło chorób przenoszonych drogą powietrzną, np. grypa, ospa wietrzna, różyczka czy COVID-19 (choroby wirusowe), zapalenie płuc i oskrzeli, gruźlica, zapalenie opon mózgowych (bakteryjne) czy grzybicze choroby oskrzeli i płuc [1].

Przedszkola i szkoły, jako miejsca o dużym obłożeniu pomieszczeń, w niektórych sytuacjach, np. w tzw. sezonie grypowym czy w stanie epidemii danej choroby (np. COVID-19), są dużo bardziej narażone na ryzyko rozprzestrzeniania się bioaerozolu i związanej z nim zwiększoną zachorowalność. Zastosowanie znajdują wówczas odpowiednie rozwiązania techniczne, które wspomogą eliminację zanieczyszczeń mikrobiologicznych z powietrza w pomieszczeniu.

Oczyszczacze mobilne

Do oczyszczania powietrza wewnętrznego z mikroorganizmów, szczególnie w budynkach i pomieszczeniach niewyposażonych w wentylację mechaniczną, zastosowanie znajdują oczyszczacze powietrza.

Żeby rozwiązanie było skuteczne w walce z mikroorganizmami, oczyszczacz musi być wyposażony w filtr HEPA (High Efficiency Particulate Air), którego skuteczność norma PN-EN 1822:2009 [2] określa na 99,95% dla cząstek o średnicy 0,3 μm . Filtr HEPA skutecznie usuwa zarodniki pleśni, większość bakterii oraz wirusy o wielkości cząstki <0,1–0,3 μm . Amerykańska agencja NASA, która wynalazła filtry HEPA, dolną granicę średnicy zatrzymywanych cząstek określiła na 0,01 μm [3]. Wirus SARS-CoV-2 ma wielkość od 0,06 do 0,14 μm [4, 5, 6]. Dla porównania, przenoszony podobną drogą wirus grypy A ma średnicę 0,08–0,12 μm [6]. Amerykańska organizacja inżynier-

ska ASHRAE zwraca jednocześnie uwagę, że wirus nie unosi się w powietrzu samodzielnie. Do powietrza trafia z dróg oddechowych człowieka, wraz z wydychanym aerozolem – w powietrzu unosi się więc w kropkach lub tzw. jądrach kondensacji (wyschniętych kropkach aerozolu oddechowego). Najczęściej mają one średnicę ok. $1\ \mu\text{m}$ lub więcej [6, 7, 8, 9]. Z kolei w 2021 r. naukowcy zwrócili uwagę, że uwalniane mikrokropelki są wystarczająco małe, aby utrzymać się w powietrzu i stwarzać ryzyko narażenia na zarażenie w odległości większej niż 1–2 m od zakażonej osoby. Zauważono, że przy typowych prędkościach powietrza w pomieszczeniach kropła o wielkości $5\ \mu\text{m}$, zanim opadnie na podłogę z wysokości 1,5 m, unosi się na odległość kilkudziesięciu metrów! [9].

O przydatności oczyszczacza jako środka technicznego do usuwania mikroorganizmów z pomieszczenia decyduje **odpowiednia wydajność**, zapewniająca uzdatnienie całego powietrza znajdującego się w pomieszczeniu. O tej własności mówi parametr **CADR** (*Clean Air Delivery Rate*), czyli ilość czystego powietrza dostarczanego na godzinę [m^3/h] dla określonej wielkości usuwanych cząstek (najczęściej od $0,3$ do $0,5\ \mu\text{m}$). W warunkach „normalnych” CADR powinien odpowiadać jedno- lub dwukrotności kubatury obsługiwanego pomieszczenia [10]. W zaleceniach związanych z zapobieganiem rozprzestrzeniania się wirusa SARS-CoV-2 podano, że wskaźnik CADR powinien odpowiadać wartości między dwu- a pięciokrotnością kubatury pomieszczenia [11].

Przykład 1:

Dla pomieszczenia o powierzchni $60\ \text{m}^2$ i wysokości $3\ \text{m}$ CADR powinien wynosić $(2-5) \cdot 60 \cdot 3 = 360-900\ \text{m}^3/\text{h} = 100-500\ \text{l/s}$.

Natomiast europejska organizacja REHVA wskazuje, że CADR powinien być **2×większy** niż dopływ powietrza świeżego zapewniany przez system wentylacji dla pomieszczeń, w których zapewniona jest co najmniej 1 wymiana powietrza na godzinę [12], a dla pomieszczeń o mniejszej intensywności wentylacji – mieć wartość odpowiadającą min. **2 wymianom na godzinę** [13].

Przykłady 2 i 3:

Jeśli kubatura pomieszczenia wynosi $200\ \text{m}^3$, a intensywność wentylacji 3 wymiany na godzinę, efektywna wartość CADR wynosi $2 \cdot 3 \cdot 200\ \text{m}^3/\text{h} = 1200\ \text{m}^3/\text{h} = 333\ \text{l/s}$ lub więcej.

Dla tej samej kubatury, ale przy braku zorganizowanej wentylacji, efektywna wartość CADR wynosi $2 \cdot 200\ \text{m}^3/\text{h} = 400\ \text{m}^3/\text{h} = 111\ \text{l/s}$ lub więcej.

Do zastosowań **w budynkach mieszkalnych** Szwedzkie Towarzystwo Astmy i Alergii zaleca $\text{CADR} = 4 \times (\text{intensywność wentylacji})$ [13].

Przykład 4:

Dla pomieszczenia o powierzchni $60\ \text{m}^2$ i wysokości $3\ \text{m}$ oraz projektowanej intensywności wentylacji $0,5$ wymiany na godzinę CADR powinien wynosić $4 \cdot 0,5 \cdot 60 \cdot 3 = 360\ \text{m}^3/\text{h} = 100\ \text{l/s}$.

Co bardzo ważne, wartość CADR efektywnego podawana jest dla oczyszczacza pracującego **z maksymalną wydajnością, a więc przy najwyższym poziomie hałasu**, wraz ze wszystkimi filtrami. Hałas, opisywany przez moc akustyczną wytwarzaną przez urządzenie, nie powinien przekraczać $35\ \text{dB(A)}$ [13]. Wartość ta podawana jest w normie PN-EN 16798-1 [15] jako odpowiednia dla klas szkolnych o kategorii II (czyli o średnim poziomie oczekiwań użytkowników).

W wielu pomieszczeniach szkolnych (klasy, świetlice, stołówka, pokój nauczycielski, biblioteka, pomieszczenia administracyjne, sala gimnastyczna) kubatura pomieszczenia jest zbyt duża, by sprawdziły się w nich oczyszczacze do zastosowań tzw. konsumenckich (domowe). Sosowane powinny być specjalne oczyszczacze profesjonalne, które wyróżniają się przede wszystkim następującymi cechami:

- znaczne przepływy powietrza, co umożliwia nie tylko skuteczne usuwanie zanieczyszczeń z dużej kubatury, ale też kompromis między wydajnością urządzenia a poziomem hałasu;
- rozbudowana komora filtracyjna z zastosowaniem kilkustopniowej filtracji – filtr wstępny usuwa większe cząstki, aby chronić znajdujące się za nim filtry o wysokiej skuteczności (HEPA) przed przedwczesnym zatykaniem. Dalsze etapy filtracji mogą obejmować filtr HEPA klasy H13 oraz filtr węglowy eliminujący np. zapachy i gazowe związki organiczne na drodze absorpcji lub filtr HEPA o klasie H14;
- bardziej złożona i zaawansowana automatyka i regulacja, możliwości programowania;
- funkcje dekontaminacji – dezaktywacja (unieszkodliwienie) zatrzymanych mikroorganizmów i wirusów poprzez dodatkowe procesy fizykochemiczne. Jest to związane m.in. z faktem, że w obsługiwanych pomieszczeniach oczekuje się bezobsługowej pracy filtrów – nie zawsze możliwa jest ich regularna wymiana. Materiał biologiczny zebrany na filtrach trzeba skutecznie (i automatycznie) nieszkodliwić. Producenci oferują do tego dezynfekcję termiczną, promieniowanie UV oraz zastosowanie powłok miedzianych i fotokatalitycznych [16, 17].

Skuteczność pracy oczyszczaczy zależy nie tylko od prawidłowego doboru ich wydajności przepływu do kubatury chronionego pomieszczenia. Istotne jest także prawidłowe ulokowanie urządzenia, zapewniające właściwe przepływy powietrza – najlepiej centralnie, a przede wszystkim w odpowiednich (wskazanych przez producenta) odległościach od ścian i innych przeszkód. Należy szczególnie starannie przemyśleć ulokowanie takiego oczyszczacza w klasach – jest to urządzenie dość duże i przy niefrasobliwości dzieci lub młodzieży może stanowić dodatkowy element ryzyka (np. uderzenia o urządzenie).

Przy doborze oczyszczacza należy zwrócić uwagę także na następujące kryteria [14]:

- oczyszczacz musi być dopuszczony do użytku pod kątem bezpieczeństwa elektrycznego przez UE lub władze krajowe;
- efektywność energetyczna oczyszczacza powinna być możliwie wysoka;
- tworzenie zanieczyszczeń (produkt uboczny pracy oczyszczacza). Jeśli do procesów oczyszczania wykorzystywane jest pole elektryczne – np. fotokataliza, oczyszczanie na filtrze elektrostatycznym, działanie lamp UV-A lub UV-C, generowanie plazmy/ionizacja – producent powinien zapewnić wyniki badań dotyczących stężenia ozonu wytwarzanego przez oczyszczacz. Nie powinno ono być wyższe niż 100–150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [18, 19]. Więcej o problemach z ozonem piszemy w dalszej części artykułu.

Zastosowanie promieniowania UV-C

Wśród istniejących strategii usuwania SARS-CoV-2 z powietrza organizacja ASHRAE wymienia m.in. odkażanie powietrza promieniami UV-C (oznaczane jako UVGI – *UltraViolet Germicidal Irradiation*) z ewentualnym wspomaganie nawiewu powietrza oczyszczonego przez wentylatory [20].

Promienie UV są niewidzialnymi promieniami elektromagnetycznymi z zakresu od 100 do 400 nm, w którym można wyróżnić kolejne rodzaje zależne od długości fali – wśród nich promieniowanie UV-C (długość fali 200–280 nm) [21]. Promienie UV-C zabijają grzyby i bakterie oraz dezaktywują wirusy. Właściwości dezynfekcyjne i odkażające promieni UV-C są znane od ponad 100 lat – pierwsze wyniki takich badań opublikowano w 1879 r. [22]. Od tamtego czasu prowadzi się badania dotyczące skuteczności UV-C w aspekcie dezynfekcji i odkażania powietrza [23]. Usuwanie patogenów z wykorzystaniem promieniowania UV-C zostało zatwierdzone jako technika uzupełniająca filtrację w zwalczaniu ryzyka gruźlicy przez amerykańskie Centers for Disease Control and Prevention [24].

Dawka promieniowania skuteczna w usuwaniu danego patogenu zależy od długości fali UV-C i rodzaju patogenu, ale także od otoczenia – w przypadku wirusów duże znaczenie ma wielkość kropli aerozolu wodnego, w których są zamknięte [9, 23]. Jak wynika zarówno z doświadczeń pro-

ducentów, jak i badań naukowych, najskuteczniejsze w aspekcie dezynfekcji powietrza jest promieniowanie o długości fal w zakresie 250–280 nm, z optimum przy długości ok. 265 nm. W istniejących lampach UV najczęściej wykorzystywane jest światło o długości fali 254 nm [23].

Pod względem technicznym dostępnych jest kilka rozwiązań, m.in. lampy do montażu w kanale nawiewnym lub przed centralą wentylacyjną; urządzenia do montażu w pomieszczeniu, ale poza strefą przebywania ludzi oraz urządzenia mobilne.

Lampy UV-C przeznaczone do ciągłej dezynfekcji strumienia powietrza wentylacyjnego należy montować w kanale nawiewnym lub w centrali wentylacyjnej – można zaplanować je zarówno w instalacji projektowanej, jak i dodać do systemu istniejącego. Zamontowanie lampy w pobliżu wymienników ciepła powoduje odkażenie ich powierzchni i zatrzymanie wzrostu grzybów (np. pleśni) i bakterii (np. z rodzaju *Legionella*). Uzyskanie skutecznej dawki (gęstości) promieniowania UV-C wymaga zachowania odpowiednio niskiej prędkości powietrza i dostosowania mocy lamp do wielkości strumienia powietrza. Stosowanie lamp wewnątrz instalacji zapewnia bezpieczeństwo – promieniowanie nie oddziałuje bezpośrednio na ludzi, a dezynfekcja powietrza nie wpływa na inne jego własności (powietrze nawiewane nie zawiera żadnych produktów ubocznych). Prędkość powietrza w kanale lub sekcji centrali nie powinna być wyższa niż 3,5 m/s [23]. Liczba lamp (modułów) musi być dostosowana do wielkości strumienia przepływającego powietrza tak, aby zachować właściwą gęstość promieniowania UV-C.

Promieniowanie UV-C szkodzi błonie śluzowej oka i skórze człowieka, dlatego osoby przebywające w pomieszczeniu nie powinny być na te promienie bezpośrednio ekspozycjonowane [21]. To m.in. dlatego dla pomieszczeń, w których przebywa jednocześnie duża liczba osób – np. klasy szkolne – proponuje się promieniowanie strefowe. Jest to rozwiązanie montowane bezpośrednio w pomieszczeniu, ale powyżej strefy przebywania ludzi (między sufitem a wysokością 2 m od podłogi). Ich paraboliczny kształt i specjalne nieodbijające lamele są dodatkowym środkiem bezpieczeństwa zapewniającym, że ludzie nie są narażeni na bezpośrednie oddziaływanie promieni. Odpowiedni kierunek przepływu powietrza (zanieczyszczone do strefy promieniowania, oczyszczone do strefy przebywania ludzi) zapewniają miejscowe wentylatory [25].

Urządzenia mobilne (wolnostojące) obejmują szeroką gamę produktów, np. do zapewniania czystości mikrobiologicznej w przedszkolach. W tej grupie rozwiązań szczególnie ważna jest odpowiednia konstrukcja osłon, które ochronią użytkowników pomieszczeń zarówno przed bezpośrednim oddziaływaniem promieni UV-C, jak i wytwarzaniem ozonu. Lampy UV-C mogą pracować z pełną skutecznością przez ok. 9–10 tys. godzin. Oznacza to, że w obiekcie szkolnym lub przedszkolnym (przy założeniu 200–250 dni w roku pracy po 8–12 h na dobę) lampy mogą pracować 3–4 lata.

Dezynfekcja pomieszczeń w sytuacjach szczególnego ryzyka

Niekiedy w budynkach edukacyjnych konieczne jest zastosowanie bardziej radykalnych metod dezynfekcji powietrza. Są to np. sytuacje, w których w danym obiekcie stwierdzono przypadki zachorowań na COVID-19 i dla których konieczna jest skuteczna dezynfekcja pomieszczeń i przestrzeni wspólnych przed powrotem dzieci, młodzieży i kadry do ich ponownego użytkowania.

Środkiem znanym z własności biobójczych i utleniających jest tzw. tlen aktywny – ozon (O_3), z powodzeniem stosowany do dezynfekcji wody pitnej i wody w basenach pływackich czy instalacji klimatyzacyjnych w samochodach, a ostatnio zyskujący na popularności przy dezynfekcji pomieszczeń. Jako gaz ozon skutecznie dezynfekuje nie tylko powietrze, ale też powierzchnie, w tym porowate i trudno dostępne. Dlatego przy odpowiednim czasie oddziaływania i stężeniu – które według dostawców usług ozonowania i producentów urządzeń wynosi ok. 4–10 mg/m³ (4000–10 000 µg/m³) – może służyć jako uzupełniająca technologia walki z rozprzestrzenianiem się wirusa SARS-CoV-2 [18]. Ocenia się, że koronawirusy (w tym SARS-CoV-2) są podatne na działania ozonu, szczególnie przy wyższej wilgotności względnej powietrza. Jednak stężenie

skuteczne w walce z zanieczyszczeniami biologicznymi znacznie przekracza poziom ozonu bezpieczny dla ludzi – $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ według wytycznych PZH [18] i $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ według rozporządzenia dotyczącego czynników szkodliwych w miejscach pracy [19]. Ozon od stężenia $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) działa wybitnie drażniąco na błony śluzowe i spojówki oraz układ oddechowy – powoduje ból i łzawienie oczu, kaszel, kichanie, trudności w oddychaniu i pogorszenie funkcji płuc (widoczne w badaniu spirograficznym), nasila dolegliwości u osób chorujących na astmę (napady są częstsze i cięższe) oraz inne współistniejące choroby układu krążenia i oddechowego. W większych stężeniach może powodować duszność, zaburzenia neurologiczne czy spadek ciśnienia tętniczego krwi i zwolnienie czynności serca [26]. Dlatego stosowanie ozonowania w budynku edukacyjnym musi przebiegać z zachowaniem daleko idących środków ostrożności.

Do dezynfekcji stosuje się przenośne ozonatory (generatory ozonu), które wstawia się do pustego pomieszczenia. Nie powinno być w nim ludzi, zwierząt i roślin, należy także usunąć elementy wyposażenia podatne na uszkodzenia przez ozon (np. z gumy naturalnej). Pomieszczenie ozonowane należy dodatkowo uszczelnić, np. zabezpieczając wyloty kanałów wentylacyjnych. Puste powinny być także pomieszczenia sąsiadujące, ponieważ ozon może do nich przenikać.

Po zakończeniu dezynfekcji ozon w naturalny sposób rozpada się do „neutralnego” tlenu. Czas takiego rozpadu wynosi ok. pół godziny. Niemniej producenci, dostawcy usług i organizacje branżowe zalecają, by po ozonowaniu pomieszczenie przewietrzyć, ale także odczekać od 2 do 4 godzin przed ponownym wejściem do niego. Jak wskazuje PZH, ozonatory powinny być też wyposażone w tzw. deozonatory, które przyspieszają rozpad cząsteczek ozonu do cząsteczek tlenu [18]. Przed wejściem ludzi do ozonowanego pomieszczenia powinny być wykonane pomiary stężenia ozonu za pomocą odpowiedniego miernika. PZH wskazuje, że zawartość ozonu powinna spaść do $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, zgodnie z rozporządzeniem dotyczącym czynników szkodliwych w miejscach pracy [19]. Podczas ozonowania w pomieszczeniu nie powinien przebywać także personel prowadzący ozonowanie – ozonatory wyposażone są w funkcję opóźnionego startu, dzięki którym można opuścić pomieszczenie przed rozpoczęciem ozonowania. Osoby takie powinny być jednak wyposażone w środki ochrony osobistej (maski, ochrona oczu, rękawiczki) i przenośny miernik stężenia ozonu.

Literatura

1. Chmiel Marta i in.: *Problemy monitoringu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza*, „Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie” tom 15, nr 1 (4), s. 17–27, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, 2015
2. PN-EN 1822-1:2019-05 *Wysokoskuteczne filtry powietrza (EPA, HEPA i ULPA). Część 1: Klasyfikacja, badania właściwości użytkowych, znakowanie*
3. 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
4. Bar-On Yinon, Flamholz Avi, Phillips Rob, Milo Ron, *Science Forum: SARS-CoV-2 (COVID-19) by the numbers*, „eLife” No. 9/2020 DOI: 10.7554/eLife.57309
5. 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, DOI: 10.1038/s41598-021-82852-7
6. Scherzer Uwe, Brown Caroline, *Does a High Efficiency Particulate Air (HEPA) filter offer full protection against viral cross-contamination?* Hamilton Medical, 2020
7. ASHRAE *FAQ on filtration and disinfection*
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

9. Morawska Lidia, Milton Donald et al., *It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*, „Clinical Infectious Diseases”, 2020, 71(9), p. 2311–3, DOI: 10.1093/cid/ciaa939
10. Dyda Magdalena, *Zagrożenia mikrobiologiczne zbiorów muzealnych*, Szkolenia Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów 13/2020, Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów, Warszawa 2020
11. 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 sierpnia 2020
12. *Technical certification rules for the mark Afnor*, Certification identification No. NF 536, approved 5th of August, 2020
13. *Criteria for room air cleaners for particulate matter. Recommendation from the Nordic Ventilation Group*, REHVA, 2021, https://www.rehva.eu/fileadmin/content/documents/Downloadable_documents/REHVA_COVID-19_Recommendation_Criteria_for_room_air_cleaners_for_particulate_matter.pdf
14. *Criteria for recommendation of Air Purifier, Astma and Allergy Förbundet*, Sweden, 2020
15. PN-EN 16798-1:2019-06 (wersja angielska) *Charakterystyka energetyczna budynków. Wentylacja budynków. Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki. Moduł M1-6*
16. Lewis Al, Keevil William, *Przeciwbakteryjne właściwości miedzi i jej stopów w systemach HVAC&R*, Copper Development Association Inc., International Copper Association, 2004, <https://www.akademiamiedzi.pl/wordpress/wp-content/uploads/2019/07/przeciwbakteryjne-wlasnosci-miedzi-i-jej-stopow-w-systemach-HVAC-R.pdf>
17. Le Than Son et al., *Air purification equipment combining a filter coated by silver nanoparticles with a nano-TiO₂ photocatalyst for use in hospitals*, „Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology”, Vol. 6, No. 1, 2015
18. Juszczyk Grzegorz, *Opinia NIZP-PZH z dn. 2.04.2020 r. dotycząca dezynfekcji pomieszczeń biurowych poprzez ozonowanie i skuteczności powyższej metody w zwalczaniu SARS-CoV-2 oraz kwestii związanych z bezpieczeństwem jej stosowania*, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny, Warszawa, 17.04.2020
19. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2018, poz. 1286, ze zmianami w DzU 2020, poz. 61)
20. *ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols* (zatwierdzony przez Radę Nadzorczą ASHRAE), Atlanta, 14 kwietnia 2020.
21. *About UV-C*, http://en.gla-uvc.nl/pagina/about_uvc
22. Downes A., Blunt T.P., *On the Influence of Light upon Protoplasm*, Proceedings of the Royal Society of London, Vol. 28, No. 190–195, p. 199–212, Royal Society of London, Londyn 1879, DOI:10.1098/rsp.1878.0109
23. Karlicek Robert Jr., *Germicidal UVC radiation: Fact and fiction about killing pathogens*, webinarium (szkolenie online) przygotowane przez Center Lighting Enabled Systems & Applications (LESA), Rensselaer Polytechnic Institute, 18 czerwca 2020
24. *Environmental Control for Tuberculosis: Basic Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation Guidelines for Healthcare Settings*, Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta 2009, www.cdc.gov/niosh/docs/2009-105/pdfs/2009-105.pdf
25. Ryan Kevin et al., *Inactivation of Airborne Microorganisms Using Novel Ultraviolet Radiation Sources in Reflective Flow-Through Control Devices*, „Aerosol Science and Technology” 2010, Vol. 44, No. 7, p. 541–550, Taylor and Francis Group, London 2010, DOI:10.1080/02786821003762411
26. CIOP-PIB: *Komunikat nr 4. Ozonowanie jako metoda przeciwdziałająca skażeniu wirusem SARS-CoV-2*, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 27 marca 2020

ALNOR

Al. Krakowska 10, 05-552 Wola Mrokowska
tel. +48 22 715 80 39
rekuperacja@alnor.com.pl
www.alnor.com.pl



„GALMET SP.Z O.O.” SP. K.

ul. Raciborska 36, 48-100 Głubczyce
tel. +48 77 403 45 00, 48 77 403 45 99
www.galmet.com.pl



FLOWAIR SP. Z O.O.

ul. Chwaszczyńska 135, 81-571 Gdynia
www.flowair.pl



LINDAB SP. Z O.O.

Wieruchów, ul. Sochaczewska 144,
05-850 Ożarów Mazowiecki
tel. +48 22 250 50 50,
e-mail: kontakt.handlowy.wentylacja@lindab.com
<https://www.lindab-polska.pl>



ROSENBERG POLSKA SP. Z O.O.

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



RUG RIELLO URZĄDZENIA GRZEWCZE S.A.

tel. +48 56 657 16 58–59, +48 56 657 16 18
tel. +48 71 326 53 86–87 (oferty na kotły)
<https://www.riello.com/poland>



VAILLANT SAUNIER DUVAL SP. Z O.O.

ul. 1 Sierpnia 6A, bud. C, 02-134 Warszawa
infolinia: +48 801 804 444 (stacjonarny),
+48 22 323 01 50 (komórka)
biuro: vaillant@vaillant.pl, +48 22 323 01 00



Tu może znaleźć się Twój wpis w Katalogu firm