

# Stan higieniczny powietrza w pomieszczeniu obsługiwany przez instalację wentylacyjną, w której gniazdowały ptaki – studium przypadku

Air hygienic condition in a room served by a ventilation system, in which birds were nested - a case study

SYLWIA SZCZĘŚNIAK, AGNIESZKA TRUSZ

DOI 10.36119/15.2021.10.6

W artykule przedstawiono wyniki badań mikrobiologicznych przeprowadzanych w przewodzie wywiewnym, w którym gniazdowały ptaki, w centrali wentylacyjnej oraz w pomieszczeniu, które ta centrala obsługuje. Badania przeprowadzono celem określenia stanu higienicznego powietrza w pomieszczeniu obsługiwany przez instalację wentylacyjną, w której gniazdowały ptaki oraz w samej instalacji wentylacyjnej. Sprawdzone także skuteczność działania przenośnego urządzenia służącego do dezynfekcji powietrza w pomieszczeniach. Urządzenie to wykorzystuje promieniowanie UV-C o ponadnormatywnej mocy 330 W.

*Słowa kluczowe: promieniowanie UV-C, sterylizacja powietrza, przenośne urządzenia dezynfekcyjne*

The article presents the results of microbiological tests carried out in the exhaust duct where the birds were nesting, in the air handling unit and in the room it serves. The research was carried out in order to determine the hygienic condition of the air in the room served by the ventilation system in which the birds nested. The effectiveness of a portable device for disinfecting air in rooms, which uses UV-C radiation of overstandard power 330 W, was also tested.

*Keywords: UV-C radiation, air sterilisation, portable disinfection units*

## Wstęp

W ostatnich dwóch latach społeczeństwa na całym świecie zmagają się z pandemią wywołaną przez koronawirusa SARS-CoV-2. Pandemia ta przyczyniła się do wzrostu świadomości przenoszenia drogą powietrzną - przez systemy wentylacyjne i klimatyzacyjne – zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Wcześniej temat ten był znany i wywoływany tylko w środowiskach akademickich i bardzo rzadko miał przełożenie w realnym świecie związanym z realizacjami oraz eksploatacją systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. W Polsce nadal brakuje ściśle określonych regulacji, które podawałyby dopuszczalną liczbę bakterii i grzybów w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych oraz biurowych. Już w 2004 roku pojawiły się zalecenia Zespołu Ekspertów ds. Czynniki Biologicznych Międzyresortowej Komisji Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynniki Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy (NDS i NDN), które określały wartości graniczne dla bakterii mezofilnych na poziomie do 5000 jtk/m<sup>3</sup>, dla bakterii Gram-ujemnych

oraz dla termofilnych promieniowców do 200 jtk/m<sup>3</sup>, a dla grzybów do 5000 jtk/m<sup>3</sup> [1]. Do dzisiaj nie ma jednak konkretnie określonych wartości dopuszczalnych. Nie są także nadal ściśle określone metody pomiarowe, jakie należy wykorzystywać do określania składu mikrobiologicznego powietrza w instalacjach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Świadomość konieczności poznania składu mikrobiologicznego powietrza zwiększył fakt epidemii oraz świadomość tego, że niemal 90% czasu spędzamy w pomieszczeniach zamkniętych [2], a 25% z tego czasu przebywamy w pracy [3]. Strach przed możliwością zarażenia się w czasie przebywania w pomieszczeniach klimatyzowanych lub wentylowanych mechanicznie spowodował, iż masowo zaczęły pojawiać się informacje i wytyczne związane z możliwościami zachowania czystości i sterylności w przewodach i instalacjach wentylacyjnych oraz klimatyzacyjnych [4, 5, 6, 7, 8]. Z uwagi na bezpieczeństwo osób przebywających w pomieszczeniach wentylowanych mechanicznie i klimatyzowanych, eksploatacja tych systemów powinna gwarantować jak największe bezpieczeństwo

i czystość powietrza zarówno fizyczną, chemiczną jak też mikrobiologiczną [9]. Niemal we wszystkich zaleceniach i wytycznych rekomenduje się wykorzystywanie znanych od wielu lat metod, które są skuteczne w zachowywaniu czystości zarówno powierzchni jak i powietrza.

Dla zachowania czystości w pomieszczeniach stosowane są powszechnie metody dotykowe oraz bezdotykowe. Jako pierwszą z metod wymienić należy oczyszczanie powietrza czyli pozbywanie się zanieczyszczeń stałych zawieszonych w powietrzu (pył, kurz, sierść, itp.). W instalacjach wentylacyjnych wykorzystuje się do tego różnego rodzaju filtry wylapujące cząsteczki stałe różnej wielkości (PM10, PM2,5, filtry HEPA, ULPA). Kolejną metodą wpływającą na zmniejszenie liczby zanieczyszczeń w pomieszczeniach jest sanizacja czyli pozbywanie się zanieczyszczeń stałych oraz drobnoustrojów z powierzchni stałych. Może ona być przeprowadzana np. poprzez oczyszczenie powierzchni z wykorzystaniem płynów z zawartością alkoholu w odpowiednim stężeniu. Bardziej zaawansowaną metodą jest dezynfekcja, która bardzo często

Dr inż. Sylwia Szczęśniak <https://orcid.org/0000-0003-4358-0263> – Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska; dr inż. Agnieszka Trusz <https://orcid.org/0000-0002-9864-5231> – Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska, Politechnika Wroclawska. Adres do korespondencji/Corresponding author: [sylwia.szczesniak@pwr.edu.pl](mailto:sylwia.szczesniak@pwr.edu.pl).

zamiennie nazywana jest sterylizacją. W tym przypadku wszystkie działania ukierunkowane są na zabijanie drobnoustrojów i patogenów chorobotwórczych znajdujących się zarówno na powierzchniach stałych jak i w powietrzu. Należy tutaj zwrócić uwagę na to, że sterylizacja ukierunkowana jest na zniszczenie wszystkich zarówno wegetatywnych jak i przetrwalnikowych form mikroorganizmów oraz wirusów i jest stosowana w medycynie, mikrobiologii, przemyśle kosmetycznym i produkcji żywności, ale także w procesach oczyszczania pomieszczeń. Do sterylizacji najczęściej stosuje się nadtlenek wodoru (plazma) oraz parę. Dezynfekcja jest procesem mniej śmiertelnością i wykorzystuje się tutaj np. promieniowanie UV-C. Kolejną znaną metodą ograniczania zanieczyszczenia powietrza lub pomieszczeń jest dekontaminacja, która polega na usunięciu i unieszkodliwieniu zarówno zanieczyszczeń biologicznych jak i chemicznych (niebezpiecznych i toksycznych). Jest to neutralizowanie promieniowania, unieszkodliwianie związków chemicznych, itp. Dekontaminacja dotyczy zarówno powierzchni jak i powietrza, ludzi czy zwierząt.

Z wymienionych wcześniej metod dezynfekcja i sterylizacja wydają się być metodami, które mają znaczący wpływ na ograniczenie zanieczyszczenia mikrobiologicznego w pomieszczeniach. W metodach tych wykorzystuje się:

- promieniowanie UV, które niszczy drobnoustroje jednak nie penetruje w głąb ciał stałych i cieczy. W określonych zakresach długości fal jest szkodliwe także dla organizmów ludzkich. Jego skuteczność zależy od wielu czynników tj.: dawki promieniowania, natężenia promieniowania, czasu ekspozycji itd.,
- promieniową jonizację katalityczną, która polega na jednoczesnym wykorzystaniu promieniowania UV oraz katalizatora, na którego specjalnej powierzchni dochodzi do procesu katalizy. W wyniku tego powstają jony wodorotlenowe i nadtlenkowe, które mają zdolności dezaktywacji wirusów i bakterii,
- jonizację plazmową, w której wytwarzane pole plazmowe rozdziela cząsteczki wody w wyniku czego powstają jony  $H^+$ , które reagują z jonami  $H^+$  na błonie komórkowej mikroorganizmów powodując ich zamieranie,
- ozonowanie, które wykorzystuje silne właściwości utleniające ozonu. Ozon z racji tego, że jest gazem, stosunkowo łatwo dociera do wszelkich szczelin,

co sprawia, że ta metoda dezynfekcji jest bardzo skuteczna. Skuteczne ozonowanie trwa od 2-4 godzin i powinno być realizowane w temperaturze 25-35°C. Należy pamiętać, że ozon jest szkodliwy zarówno dla organizmu ludzkiego jak i dla materiałów (np. lateks). W czasie ozonowania człowiek nie może przebywać w pomieszczeniu.

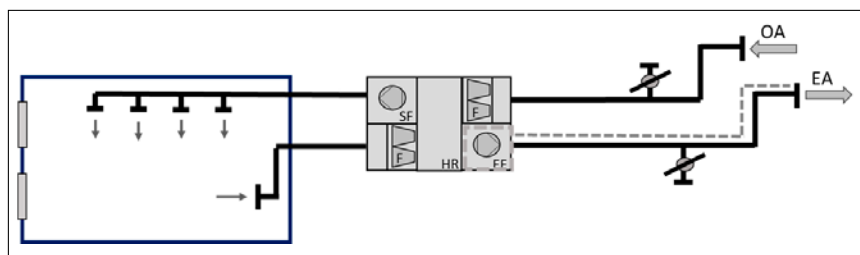
Wykorzystanie promieniowania ultrafioletowego w odróżnieniu od jonizacji plazmowej czy ozonowania może być realizowane także w pomieszczeniach, w których przebywa człowiek oraz w przewodach i centralach wentylacyjnych oraz klimatyzacyjnych. Bezpieczeństwo tego promieniowania dla człowieka oraz jego zdolność aktywna zależą m.in. od długości fali. W paśmie promieniowania UV wyróżnia się: promieniowanie UV-A o długości fali 320 (315)-400 nm, promieniowanie UV-B o długości fali 280-320 (315) nm, promieniowanie UV-C o długości fali 200-280 nm (najbardziej skuteczną jest fala o długości 253,7 nm), promieniowanie VUV o długości fali 100-200 nm [10]. Tylko promieniowanie UVA nie ma zdolności bakteriobójczych. We wszystkich zakresach promieniowania UVB, UVC i VUV potwierdzono zdolności bakteriobójcze oraz aktywności [10] przy czym promieniowanie próżniowe VUV wykazuje brak zdolności transmisji w powietrzu, przez co nie może być stosowane w systemach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych.

Pojawienie się pandemii koronawirusa SARS-CoV-2 i choroby COVID-19 uświadomiło wszystkim jak ważny jest stan mikrobiologiczny powietrza. Szczepienia oraz coraz lepsza znajomość wirusa, które w przyszłości przyczynią się do powstrzymania epidemii nie powinny jednak zmienić faktu konieczności określenia dopuszczalnych wartości (najwyższych dopuszczalnych „stężeń”) mikroorganizmów

w powietrzu w pomieszczeniu i instalacjach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Musimy pamiętać, że zanieczyszczenia te są ściśle związane z obecnością w pomieszczeniach człowieka i zwierząt [11]. Związane też są z jakością powietrza zewnętrznego, materiałami wyposażenia i wykończenia wnętrz itd. Z uwagi na zmienność warunków zanieczyszczeń biologicznych badania laboratoryjne powinny być uzupełniane badaniami na obiektach rzeczywistych [12] bo tylko wtedy mamy do czynienia z warunkami realnymi. Dlatego w artykule zwrócono uwagę na jakość mikrobiologiczną powietrza w sytuacji, która zdaje się być powszechną, a w której w przewodach wentylacyjnych pojawiają się zwierzęta, w tym ptaki. Wykazano stan zanieczyszczenia powietrza, uzyskany podczas uruchamiania instalacji wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła na wymienniku obrotowym, po dłuższym jej postoju oraz stan powietrza po wprowadzeniu do pomieszczenia przenośnego aparatu do dezynfekcji powietrza wykorzystującego promieniowanie UV-C.

## Opis instalacji wentylacyjnej

Badania wykonywane były w pomieszczeniu dydaktyczno-laboratoryjnym, które z powodu pandemii zostało wyłączone z użytkowania. W warunkach normalnej pracy pomieszczenie wykorzystywane jest jako laboratorium do pomiarów pracy wymiennika obrotowego oraz badania pracy różnego rodzaju elementów nawiewnych i wywiewnych oraz jako pomieszczenie dydaktyczno - seminaryjne. W zależności od potrzeb pomieszczenie może być przewietrzane lub wentylowane mechanicznie. Należy przyjąć, że jest to rodzaj pomieszczenia biurowego o zmiennej liczbie użytkowników oraz o zmiennym czasie użytkowania. Powietrze zewnętrzne dostarczane jest do pomieszczenia w sposób



Rys. 1.

Schemat układu wentylacyjnego obsługującego pomieszczenie laboratoryjno-seminaryjne. Strzałkami oznaczono kierunek przepływu powietrza. Linia przerywana zaznacza miejsca, w których przebywały ptaki. Oznaczenia: SF – wentylator nawiewny, EF – wentylator wywiewny, F – filtr, HR – wymiennik do odzysku ciepła, OA – powietrze zewnętrzne, EA – powietrze usuwane na zewnątrz budynku.

Fig. 1. Diagram of ventilation system serving both laboratory and conference room. The arrows indicate the air flow direction. The dashed line marks the places where the birds were. Abbreviations: SF – supply fan, EF – exhaust fan, F – filter, HR – heat recovery coil, OA – outside air, EA – exhaust fan.



Rys. 2.  
Zdjęcie obrazujące układ przewodów powietrza zewnętrznego (przewód izolowany) oraz usuwającego powietrze z pomieszczenia.  
Fig. 2. The layout of the outside air ducts (insulated duct) and the exhaust air.



Rys. 3.  
Zdjęcie obrazujące centralę wentylacyjną nawiewno-wywiewną obsługującą pomieszczenia laboratoryjno-seminaryjne.  
Fig. 3. Photo showing the supply and exhaust air handling unit for both laboratory and seminar room.



Rys. 4.  
Zdjęcie obrazujące centralę wentylacyjną z widocznymi odchodami ptaków, które zamieszkały w przewodzie wywiewnym.  
Fig. 4. Photo showing the air handling unit with visible droppings of birds living in the exhaust duct.

kontrolowany przez instalację wentylacji mechanicznej lub w sposób niekontrolowany poprzez otwarcie okien. Schemat układu wentylacyjnego obsługującego omawiane pomieszczenie przedstawiono na rysunku 1. Natomiast zdjęcia obrazujące układ wentylacyjny przedstawiono na rysunkach 2÷4.

Powietrze zewnętrzne pobierane jest czerpnię ściennej a usuwane jest na zewnątrz budynku wyrzutnią ścienną.



Rys. 5.  
Gniazdo w przewodzie wentylacyjnym wywiewnym od strony wyrzutni.  
Fig. 5. The nest in the exhaust air duct on the side of the extract air.



Rys. 6.  
Ptak w przewodzie wentylacyjnym wywiewnym od strony centrali.  
Fig. 6. The bird in the exhaust air duct on the side of the extract air.

Zarówno czerpnia jak i wyrzutnia zlokalizowane są na 3 kondygnacji elewacji zachodniej budynku. W czasie remontu obejmującego zmiany właściwości cieplnych budynku oraz zmiany elewacji zarówno na czerpni jak i wyrzutni, nie zamontowano siatek ochronnych zabezpieczających instalację przed ptakami. W warunkach normalnej pracy instalacji oraz pomieszczenia nigdy nie dochodziło do sytuacji gniazdowania ptaków w przewodach w pomieszczeniu. W czasie przerwy w pracy stacjonarnej na uczelni oraz w czasie długotrwałego braku eksploatacji urządzenia zauważono odchody ptaków w centrali wentylacyjnej. Zjawisko takie nie jest niczym niecodziennym w przypadku

systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. W sytuacjach niewłaściwego zabezpieczenia przed gryzoniami, ptakami i mniejszymi ssakami okresowo mogą one pojawiać się w przewodach i elementach instalacji wentylacyjnych. Niesie to ze sobą ryzyko występowania zanieczyszczeń mikrobiologicznych (bakterie, grzyby, wirusy), które w niesprzyjających warunkach mogą wytwarzać formy przetrwalnikowe, a w warunkach sprzyjających mogą się namnażać zwiększając ryzyko zachorowania lub alergii. W omawianej instalacji ptaki (wróble) założyły gniazdo w przewodzie wywiewnym. Teoretycznie ewentualne zagrożenie mikrobiologiczne powinno być usunięte z instalacji wraz z powietrzem wywiewnym i nie powinno się przedostać do centrali wentylacyjnej oraz do pomieszczenia. Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że w okresach, kiedy centrala nie pracuje, kierunek przepływu powietrza nie musi być zgodny z kierunkiem wymuszonym i zagrożenia mikrobiologiczne mogą zostać rozniesione w całej centrali wentylacyjnej. Lokalizację gniazda, trasę przemieszczania się ptaków oraz zdjęcia z obiektu badań zamieszczono na rysunku 7 oraz 5 i 6.

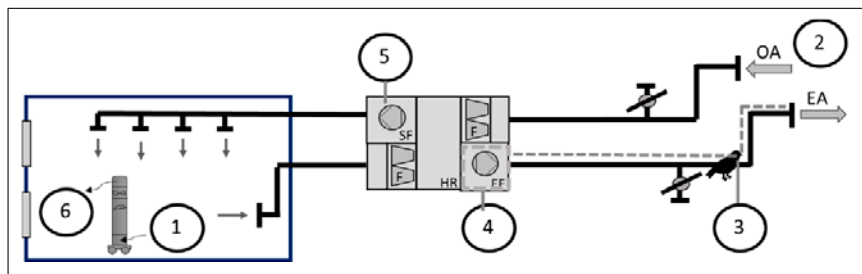
## Metodyka pomiarów

Badania mające na celu określenie ogólnej liczby bakterii (OLB) oraz ogólnej liczby grzybów (OLG) wykonano dwukrotnie dla różnych parametrów powietrza zewnętrznego oraz w pomieszczeniu. Pierwszą turę badań przeprowadzono po długotrwałym przestoju instalacji wentylacji mechanicznej. Badania te przeprowadzono 19.02.2021 roku. Łączny czas postoju instalacji wynosił 1 rok. Drugą turę badań przeprowadzono w dniu 1.03.2021 r. W trakcie badań wykonywanych w marcu sprawdzono skuteczność przenośnego urządzenia z promieniowaniem UV-C do dezynfekcji powietrza w pomieszczeniu.

Badania mikrobiologiczne przeprowadzono metodą sedymentacyjną (metoda Kocha) oraz zderzeniową (impakcja bezwładnościowa) z wykorzystaniem płytek Petriego z odpowiednio przygotowanymi podłożami. Ocenę jakości mikrobiologicznej powietrza oparto na ogólnej liczbie bakterii mezofilnych wyhodowanych na podłożach Tryptic Soy LAB-Agar TM (TSA) i Agar Odżywczy (AO) oraz ogólnej liczbie grzybów wyhodowanych na podłożach Sabouraud Dextrose LAB-AGAR TM (S) i Malt Extract LAB-AGAR TM (ME).

Metoda sedymentacyjna polega na osiadananiu drobnoustrojów na powierzchni podłoża stałego pod wpływem naturalnych





Rys. 7.  
Lokalizacja punktów pomiarowych, w których wykonywano badania.  
Fig. 7. Location of measurement points.

Tabela 1. Numeracja oraz nazwy miejsc pobierania próbek oraz daty i czas ich wykonania.

| Nr punktu pomiarowego | Nazwa punktu pomiarowego   | Data wykonywania pomiarów | Czas wykonywania pomiarów                            |
|-----------------------|--|---------------------------|--|
| 1                     | Powietrze w pomieszczeniu  | 19.02.2021; 1.03.2021     | t=0, t=15min; t=0, t=15min t=45min, t=60min, t=75min |
| 2                     | Powietrze zewnętrzne   | 19.02.2021; 1.03.2021     | t=0  |
| 3                     | Powietrze w kanale wywiewnym w miejscu lokalizacji gniazda   | 19.02.2021; 1.03.2021     | t=0, t=15min; t=0, t=15min t=45min                   |
| 4                     | Powietrze w sekcji wentylatora wywiewnego  | 19.02.2021; 1.03.2021     | t=0, t=15min; t=0, t=15min t=45min                   |
| 5                     | Powietrze w sekcji wentylatora nawiewnego  | 19.02.2021; 1.03.2021     | t=0, t=15min; t=0, t=15min t=45min                   |
| 6                     | Powietrze na wyjściu z przenośnej lampy UV-C o mocy promienników 330 W, długość fali promieniowania 254 nm | 1.03.2021                 | t=60min, t=75min                                     |

sił grawitacji. W badaniach szalki Petriego pozostawiano otwarte na 15 min.

Pobór mikroorganizmów metodą zderzeniową, polega na mechanicznym oddzieleniu zanieczyszczeń z próbek powietrza o określonej objętości. Poboru próbek tą metodą wykonano przy użyciu skalibrowanego próbnika SAS Super 180™ ustawionego na pobór stałej objętości powietrza 100 dm<sup>3</sup>.

Po poborze prób płytki zostały przetransportowane do laboratorium Biotechnologii Środowiska w Katedrze Inżynierii Ochrony Środowiska PWr. w celu inkubacji w warunkach optymalnych dla rozwoju bakterii mezofilnych tj. 37 °C przez 48 h oraz grzybów - 26°C przez 5 dni.

W celu obliczenia ogólnej liczby mikroorganizmów obecnej w 1 m<sup>3</sup> powietrza (jtk/ m<sup>3</sup>) w metodzie sedymentacyjnej wykorzystano wzór Omelińskiego (przy założeniu, że liczba sedymentujących drobnoustrojów na płytce 100 cm<sup>2</sup> w ciągu 5 min jest równa ilości drobnoustrojów w 10 dm<sup>3</sup> powietrza) a w metodzie zderzeniowej do korekty wyniku zanizonego w wyniku trafienia dwóch lub więcej mikroorganizmów w jeden punkt wprowadzono poprawkę według wzoru Fellera [11, 13]

Procentowy stopień redukcji mikroorganizmów po zastosowaniu lampy UV-C obliczono wg wzoru:

$$R = 100 \cdot (1 - P_2/P_1), \%$$

gdzie:

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> – liczba mikroorganizmów przed-

stawiona w jtk/m<sup>3</sup> przed i po zastosowaniu lamp UV-C.

Pomiary mikrobiologiczne wykonywano w punktach pomiarowych, które oznaczono na rysunku 7. W tabeli 1 natomiast podano szczegółowy opis punktów pomiarowych. W czasie badań wykonywano także pomiary temperatury oraz wilgotności względnej powietrza, a także stężenia dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>). Pomiary te wykonywano z wykorzystaniem miernika TESTO 400 z dedykowanymi do niego sondami pomiarowymi. Strumień powie-



Rys. 8.  
Urządzenie do Recyrkulacyjnej Dezynfekcji Powietrza (URDP\_AM) firmy Aparatura Medyczna Sp. z o.o.  
Fig. 8. Device for Air Recirculation Disinfection (URDP\_AM) by Aparatura Medyczna sp. z o.o.

Tabela 2. Parametry mikroklimatu powietrza w pomieszczeniu oraz parametry powietrza zewnętrznego odczytane w czasie wykonywania pomiarów zarówno w czasie pierwszej jak i drugiej serii pomiarowej.

| Nr punktu pomiarowego | Nazwa punktu pomiarowego | Temperatura [°C] | Wilgotność względna [%] | Stężenie CO <sub>2</sub> [ppm] |
|-----------------------|--------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 19.02.2021            |                          |                  |                         |                                |
| 1                     | Pomieszczenie            | 22,4             | 26,4                    | 580                            |
| 2                     | Powietrze zewnętrzne     | 14,4             | 38,7                    | 430                            |
| 1.03.2021             |                          |                  |                         |                                |
| 1                     | Pomieszczenie            | 21,8             | 27                      | 485                            |
| 2                     | Powietrze zewnętrzne     | 12,2             | 49,2                    | 390                            |

trza nawiewanego oraz wywiewanego określono z wykorzystaniem kryz pomiarowych zamontowanych na stanowisku oraz miernika różnicy ciśnienia TESTO 480. Strumień powietrza nawiewanego wynosił V<sub>N</sub> = 2030 m<sup>3</sup>/h a wywiewanego wynosił V<sub>W</sub> = 2150 m<sup>3</sup>/h.

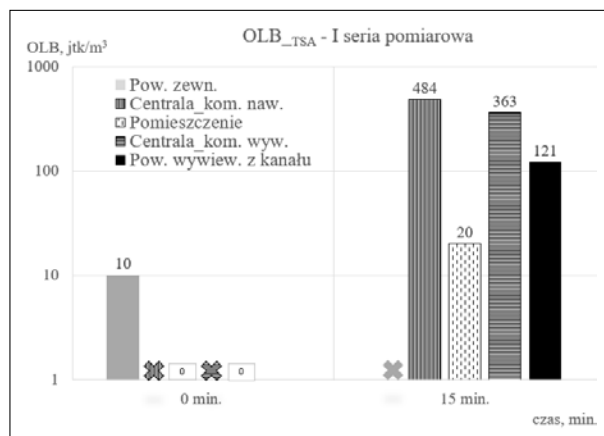
## Dezynfekcja powietrza

W trakcie drugiej serii pomiarowej po wykonaniu badań, po ok. 45 minutach po czasie uruchomienia centrali wentylacyjnej w pomieszczeniu uruchomiono także urządzenie do Recyrkulacyjnej Dezynfekcji Powietrza (URDP\_AM) firmy Aparatura Medyczna Sp. z o.o. – rys. 8 [14, 15].

W Urządzeniu do Recyrkulacyjnej Dezynfekcji Powietrza (URDP\_AM) powietrze z jednej strony urządzenia jest pobierane i wewnątrz obudowy wprowadzane w ruch obrotowy oraz poddawane działaniu intensywnego promieniowania UV-C (moc 330 W) o długości fali 254 nm. Zastosowana w URDP\_AM technologia oparta jest o niskociśnieniowe promienniki rtęciowe, które są zamontowane w zamkniętej komorze wyposażonej w filtry przeciwdziałające powstawaniu szkodliwego ozonu. Dzięki temu promieniowanie eliminuje wirusy, bakterie oraz grzyby i do pomieszczenia z urządzenia wprowadzane jest powietrze czyste i wolne od szkodliwego dla ludzi ozonu. Skuteczność promieniowania UV-C została wielokrotnie potwierdzona w zwalczaniu bakterii, grzybów i wirusów [16].

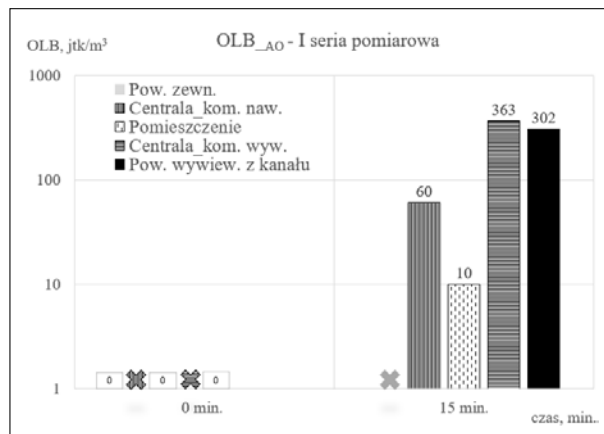
## Wyniki pomiarów mikrobiologicznych przeprowadzonych w przewodach, centrali wentylacyjnej oraz w pomieszczeniu

W czasie wykonywania badań mikrobiologicznych wykonano także badania temperatury i wilgotności powietrza oraz stężenia dwutlenku węgla. Temperaturę, wilgotność względną oraz stężenie dwutlenku węgla w powietrzu zewnętrznym oznaczano na początku cyklu pomiarowego. Temperaturę, wilgotność względną oraz stężenie dwutlenku węgla w powietrzu w pomieszczeniu odczytywano



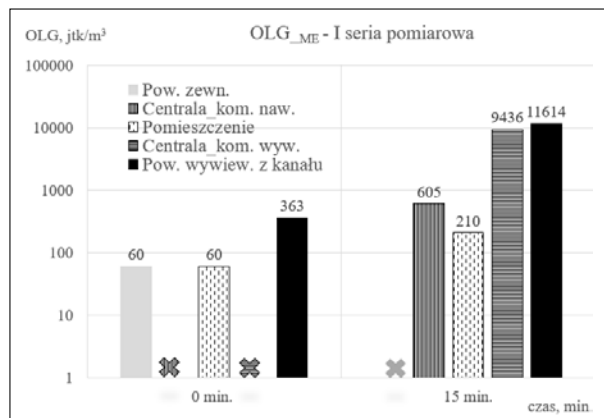
Rys. 9. Ogólna liczba bakterii uzyskanych na podłożu Tryptic Soy Agar (TSA) w czasie badań w dniu 19.02.2021.

Fig. 9. Total number of bacteria obtained on Tryptic Soy Agar (TSA) during the tests on 02/19/2021.



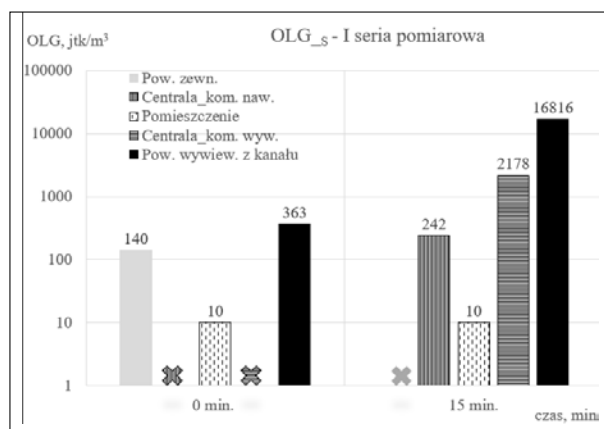
Rys. 10. Ogólna liczba bakterii uzyskanych na podłożu Agar Ogólny (AO) w czasie badań w dniu 19.02.2021.

Fig. 10. Total number of bacteria obtained on General Agar (AO) during the tests on 02/19/2021.



Rys. 11. Ogólna liczba grzybów uzyskanych na podłożu Malt Extract (ME) w czasie badań w dniu 19.02.2021.

Fig. 11. The total number of fungi obtained on the Malt Extract (ME) medium during the tests on February 19, 2021.



Rys. 12. Ogólna liczba grzybów uzyskanych na podłożu Sabourauda (S) w czasie badań w dniu 19.02.2021.

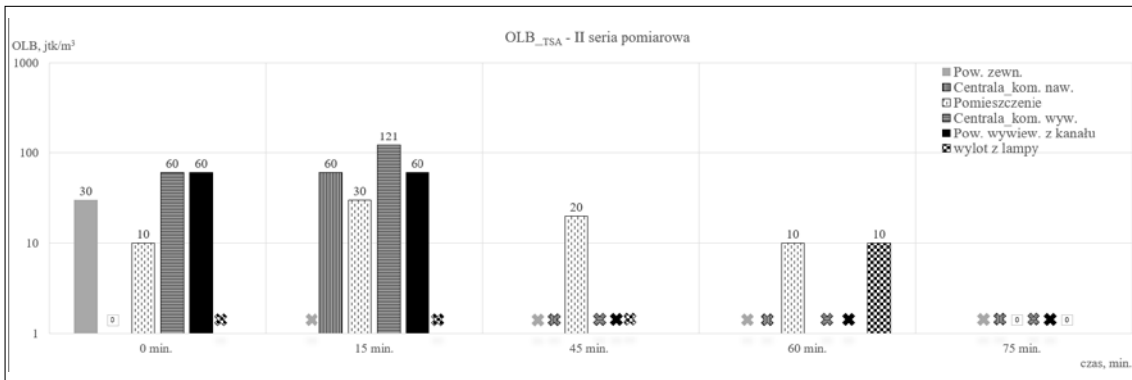
Fig. 12. The total number of mushrooms obtained on the Sabouraud (S) medium during the research on February 19, 2021.

w czasie wykonywania ostatniej serii pomiarów bakteriologicznych. Wyniki tych pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

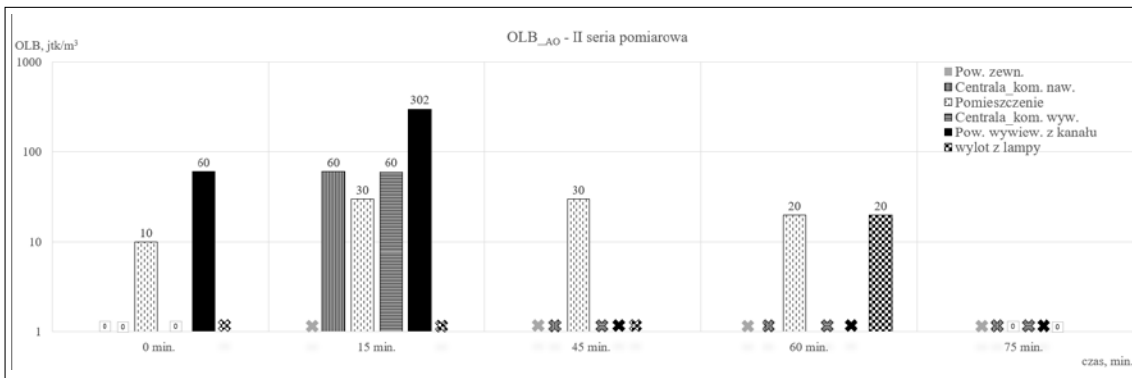
Wyniki pomiarów mikrobiologicznych wykonywanych w czasie pierwszej serii pomiarowej przedstawiono na

wykresach zamieszczonych na rysunkach 8÷12.

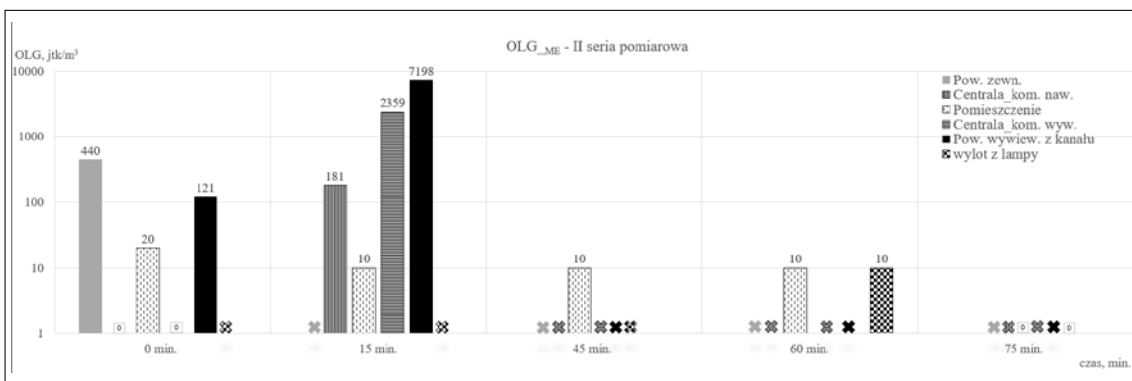
W dniu wykonywania poboru próbek serii pierwszej (II połowa lutego 2021 r.) wystąpiły opady deszczu, stąd też wyniki tła, czyli powietrza zewnętrznego dotyczące zarówno ogólnej liczby bakterii (OLB) jak również ogólnej liczby grzybów (OLG) nie wykazywały wysokich wartości. W przypadku OLB inkubowanych na agarze odżywczym (AO) w przypadku bakterii uzyskano wartość 0 jtk/m<sup>3</sup>, natomiast bakterii inkubowanych na Tryptic Soy Agar OLB\_TSA wynosiło zaledwie 10 jtk/m<sup>3</sup>. Ogólna liczba grzybów na podłożu Malt Extract (OLG\_ME) wynosiła 60 jtk/m<sup>3</sup> natomiast dla podłoża Sabourauda (OLG\_S) była 2,3 razy wyższa. W pierwszej serii pomiarowej dla czasu t=0 (przed włączeniem instalacji) nie wykonywano pomiarów zanieczyszczenia mikrobiologicznego w centrali wentylacyjnej natomiast OLB niezależnie od zastosowanego podłoża w pomieszczeniu i w przewodzie wywiewnym była równa 0. W tym czasie zaobserwowano jednak obecność grzybów strzępkowych zarówno w pomieszczeniu (OLG\_ME = 60 jtk/m<sup>3</sup> i OLG\_S = 10 jtk/m<sup>3</sup>) jak i w przewodzie wywiewnym, gdzie wartość ta wynosiła 363 jtk/m<sup>3</sup> dla OLG\_ME i OLG\_S. Po włączeniu centrali wentylacyjnej, po ok. 15 minutach jej działania uzyskano znaczący wzrost parametrów mikrobiologicznych w badanych punktach pomiarowych. Zaobserwowana ogólna liczba bakterii i grzybów pobranych z komory nawiewnej Centrali (484 i 60 jtk/m<sup>3</sup> dla OLB\_TSA i OLB\_AO oraz 605 i 242 jtk/m<sup>3</sup> dla OLG\_ME i OLG\_S) wynikała z przejścia powietrza przez pierwszy filtr, co przy długotrwałym nie użytkowaniu centrali spowodowało „wyrzucenie” zanieczyszczeń również i mikrobiologicznych z filtra do części nawiewnej centrali, a to z kolei spowodowało pojawienie się bakterii w pomieszczeniu (OLB\_TSA = 20 jtk/m<sup>3</sup> i OLB\_AO = 10 jtk/m<sup>3</sup>) i wzrost liczby grzybów (prawie czterokrotny) na podłożu Malt Extract (OLG\_ME = 210 jtk/m<sup>3</sup>). Jednocześnie przepływ powietrza spowodował również taki sam efekt w komorze wywiewnej Centrali (OLB\_TSA i OLB\_AO równe 363 jtk/m<sup>3</sup> i aż 9 436 i 2 178 jtk/m<sup>3</sup> dla OLG\_ME i OLG\_S). Jednakże był on wielokrotny poprzez przebywanie w tej części centrali ptaków, o czym świadczyły pozostawione odchody i pozostałości upierzenia. Obecność mikroorganizmów w komorze wywiewnej to efekt napływającego powietrza z części wywiewnej centrali, jak również obecność szczątków ptasich w przewodzie wywiewnym (121 i 302 jtk/m<sup>3</sup> dla



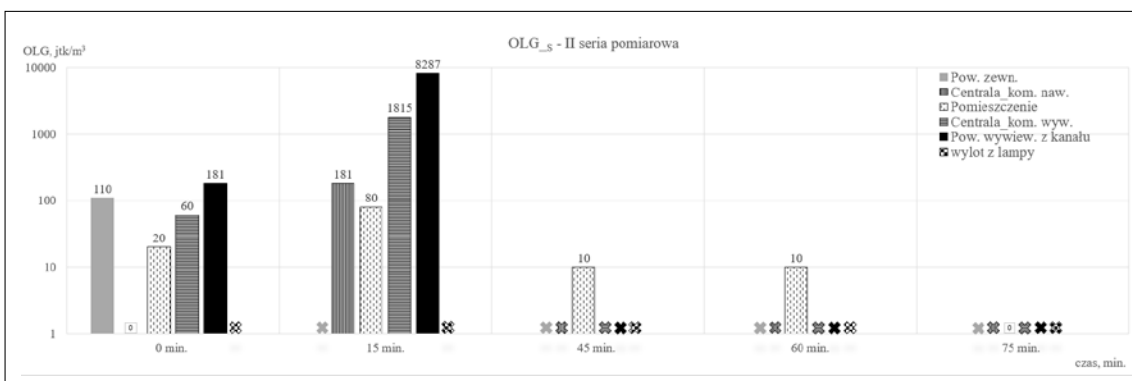
Rys. 13. Ogólna liczba bakterii uzyskanych na podłożu Tryptic Soy Agar (TSA) w czasie badań w dniu 1.03.2021



Rys. 14. Ogólna liczba bakterii uzyskanych na podłożu Agar Ogólny (AO) w czasie badań w dniu 1.03.2021. Fig. 14. Total number of bacteria obtained on General Agar (AO) during the tests on 01/03/2021.



Rys. 15. Ogólna liczba grzybów uzyskanych na podłożu Malt Extract (ME) w czasie badań w dniu 1.03.2021. Fig. 15. The total number of mushrooms obtained on Malt Extract (ME) during the research on 01/03/2021.



Rys. 16. Ogólna liczba grzybów uzyskanych na podłożu Sabouraud's (S) w czasie badań w dniu 1.03.2021. Fig. 16. The total number of mushrooms obtained on Sabouraud's (S) medium during the research on 01/03/2021.

OLB\_TSA i OLB\_AO oraz 11 614 i 16 816 jtk/m<sup>3</sup> dla OLG\_ME i OLG\_S). Obecność ptaków, przemieszczających się z kanału wywiewnego do części wywiewnej centrali, ich odchodów i upierzenia a następnie ich rozkład (czas pandemii wyłączył z użytkowania pomieszczenie z centralą modelową, stąd też niestety obecność ptaków nie została odpowiednio wcześniej zauważo-

na) spowodowała przede wszystkim wzrost ilości grzybów strzępkowych. Ich obecność zaobserwowano nawet przy pomiarach w czasie t=0, a ruch powietrza po włączeniu centrali z wielokrotni ich liczbę.

Druga seria pomiarowa została wykonana 1 marca 2021 r. w około 2 tygodnie po I serii. W dniu pomiaru nie zaobserwowano opadów. Mimo nieco innych warunków meteorologicznych powietrze zewnętrzne, tak jak przy I serii, charakteryzowało się taką samą ilością ogólnej liczby mikroorganizmów z wyjątkiem OLG na podłożu Malt Extract, gdzie zanotowano 4-krotny wzrost liczby grzybów strzępkowych. Niskie wartości zanieczyszczeń mikrobiologicznych wskazywały na znikomy, a nawet brak jego wpływu na stan jakości

Wentylacja, klimatyzacja, chłodzenie

powietrza w badanym pomieszczeniu jak również w centrali i przewodzie nawiewnym.

W II serii pomiarowej w czasie  $t=0$  uzyskano nieznaczne zanieczyszczenie powietrza wewnętrznego bakteriami (OLB na dwóch zastosowanych podłożach wynosiła 10 jtk/ m<sup>3</sup>. I podobną liczbę grzybów strzępkowych co w serii I (OLG\_ME i OLG\_S po 20 jtk/ m<sup>3</sup>). Nie zaobserwowano natomiast zanieczyszczeń mikrobiologicznych w komorze nawiewnej centrali (co potwierdza fakt iż zanieczyszczenie w serii I jak również w serii II w tej komorze pochodziło od filtra nr I i wymiennika do odzysku ciepła). Wprowadzenie powietrza w ruch po zatęczeniu centrali spowodowało wzrost w komorze nawiewnej ogólnej liczby mikroorganizmów z 0 do 60 i 181 jtk/m<sup>3</sup> odpowiednio dla OLB i OLG niezależnie od zastosowanych podłoży. Również wzrost ogólnej liczby mikroorganizmów w pomieszczeniu po czasie 15 min. działania centrali. Potwierdza ten fakt niemal 3-krotny wzrost OLB na podłożu TSA i AO oraz 4-krotny wzrost OLG na podłożu Sabourauda. W komorze wywiewu i w przewodzie wywiewnym w II serii pomiarowej również zaobserwowano tą samą zależność pomiędzy powietrzem w stanie stagnacji a powietrzem w ruchu po włączeniu centrali. Stąd też obecność znaczącej liczby mikroorganizmów szczególnie grzybów w obu seriach pomiarowych świadczą o obecności w początkowej fazie żywych ptaków a później już ich szczątków a przede wszystkim mikroorganizmów przeprowadzających procesy biochemiczne. Również w trakcie tej serii zaobserwowano znaczący wzrost OLB a szczególnie ogólnej liczby grzybów w komorze wywiewnej Centrali i przewodzie wywiewnym. Ogólna liczba bakterii w komorze wywiewnej centrali wynosiła 121 i 60 jtk/m<sup>3</sup> dla podłoża TSA i AO a dla grzybów 2359 i 1815 jtk/m<sup>3</sup> odpowiednio dla podłoża ME i S. Z kolei powietrze w komorze wywiewu charakteryzowało się od 3 (OLG\_ME) do 4,5 razy (OLG\_S) wyższą wartością ogólnej liczby grzybów i 5-krotnym wzrostem ogólnej liczby bakterii na podłożu AO. Wzrost ogólnej liczby mikroorganizmów pomiędzy powietrzem z komory wywiewnej centrali a przewodem wywiewnym ma związek z przemieszczaniem się mikroorganizmów wraz z kierunkiem przepływu powietrza. Natomiast nieznaczne obniżenie (choć nie w każdym przypadku) tych wartości w stosunku do Serii I to wynik cyrkulacji powietrza pomiędzy powietrzem zewnętrznym – pomieszczeniem i ponownie powietrzem zewnętrznym,

czyli oczyszczenie powietrza w komorze wywiewnej centrali i przewodzie wywiewnym poprzez odprowadzenie zanieczyszczeń w tym głównie zanieczyszczeń mikrobiologicznych pochodzących od ptaków na zewnątrz.

Wyniki pomiarów mikrobiologicznych wykonywanych w czasie drugiej serii pomiarowej przedstawiono na wykresach zamieszczonych na rysunkach 12÷16.

Po wykonaniu badań związanych z liczbą bakterii i grzybów w powietrzu w pomieszczeniu i w centrali uruchomiono Urządzenie do Recyrkulacyjnej Dezynfekcji Powietrza (URDP\_AM) udostępnione do badań przez firmę Aparatura Medyczna Sp. z o. o.

Po 15 minutach działania URDP\_AM zaobserwowano redukcję ogólnej liczby bakterii w powietrzu w pomieszczeniu o 33,3-50% dla podłoża AO i TSA. Podobny poziom redukcji OLB zaobserwowano dla powietrza przepływającego przez urządzenie. Kolejne 15 minut działania URDP\_AM dało 100% redukcję zarówno ogólnej liczby bakterii jak również i grzybów w badanym pomieszczeniu niezależnie od zastosowanych podłoży. Również powietrze przepływające bezpośrednio przez Urządzenie do Recyrkulacyjnej Dezynfekcji Powietrza (URDP\_AM) po tym czasie było powietrzem zdezynfekowanym (rysunki 12÷16).

## Podsumowanie

Czasy pandemii pokazały jak bardzo nasze funkcjonowanie w miejscach użyteczności publicznej uzależnione jest od jakości powietrza wewnętrznego szczególnie w aspekcie zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Brak unormowań prawnych spowodował brak zainteresowań tym aspektem. Natomiast zadbanie o czystość mikrobiologiczną i to nie tylko pod kątem wirusów, ale również a przede wszystkim bakterii i grzybów w pomieszczeniach wewnętrznych jest kluczową sprawą. Bardzo prostym i jednocześnie nie pochłaniającym zbyt dużych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych jest zastosowanie lamp UV-C, przenośnych albo w miejscach przebywania znaczącej liczby osób - stacjonarnych. Działanie promieniowania ultrafioletowego zostało niejednokrotnie przebadane i udowodnione. Wrażliwość wirusów, w tym wirusa SARS-CoV-2 również [17]. Wirusy ze względu na swoją budowę są najbardziej wrażliwe na działanie promieniowania UV-C, stąd też wykazując obniżenie, albo brak obecności bakterii i grzybów w badanym pomieszczeniu możemy stwierdzić również znisz-

czenie wirusów. Poza kwestią poprawy jakości mikrobiologicznej powietrza wewnątrz pomieszczeń pozostaje jeszcze jeden aspekt ważny z punktu widzenia bezpieczeństwa zdrowotnego osób przebywających w pomieszczeniach gdzie są umieszczane lampy UV-C o odpowiednio wysokiej mocy promienników – a mianowicie promieniowanie ultrafioletowe. Zastosowanie promienników o odpowiedniej długości fali 253,7 nm oraz mocy promieniowania 330 W, dobranych do przepływu powietrza przez komorę promienników skutkuje oddziaływaniem negatywnym na wirusy [18, 19, 20, 18], bakterie i grzyby [10], ale nie na organizm ludzki, ponieważ promieniowanie nie jest emitowane do pomieszczenia.

## Wnioski

1. Mimo lokalizacji źródła zanieczyszczeń w przewodzie wywiewnym, po uruchomieniu centrali wentylacyjnej zanieczyszczenia pochodzące od tego źródła zauważono także w strefie powietrza nawiewanego. Miejscem przenoszenia zanieczyszczeń pomiędzy strefami był obrotowy wymiennik ciepła pracujący w centrali wentylacyjnej. Na stan zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniu w omawianym przypadku bezpośredni wpływ miała wentylacja mechaniczna. Po jej uruchomieniu zarówno w czasie badań serii pierwszej jak i drugiej zauważono znaczący wzrost zanieczyszczeń w powietrzu w pomieszczeniu oraz w powietrzu w samej centrali wentylacyjnej. Spowodowane to było ruchem powietrza, które przepływając przez przewody wentylacyjne „porywało” ze sobą zanieczyszczenia zlokalizowane w przewodach oraz w filtrze i wymienniku obrotowym. Przed uruchomieniem instalacji, użytkowane filtry powietrza powinny być wymienione na nowe. Nie powinno to zależeć od ich widocznego stanu zabrudzenia.
2. Długotrwały postój urządzeń wentylacji mechanicznej wpływa na znaczny wzrost zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu z chwilą uruchomienia instalacji. Należy zwrócić uwagę iż stan zanieczyszczenia powietrza wiąże się z możliwością namnażania bakterii i grzybów w filtrach a także w przestrzeniach wymienników ciepła. Szczególnie podatnym miejscem na tego typu zjawisko będzie chłodnica, odkraplacz a także taca ociekowa.
3. Wykorzystanie Urządzenia do Recyrkulacyjnej Dezynfekcji Powietrza (URDP\_



AM) firmy Aparatura Medyczna sp. z o. o. - wpłynęło na znaczącą poprawę stanu mikrobiologicznego powietrza w pomieszczeniu.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Górny, „Biologiczne czynniki szkodliwe: normy, zalecenia i propozycje.” *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*, pp. 17-39, 2004.
- [2] N. E. Klepeis, W. C. Nelson, W. R. Ott, J. P. Robinson, A. M. Tsang, P. Switzer, J. V. Behar, S. C. Hern I W. H. Engelmann, „The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants,” *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, pp. 231-252, 2001.
- [3] M. Gołofit-Szymczak, A. Ławniczek-Wałczyk i R. Górny, „Bioaerozole w pomieszczeniach,” *Bezpieczeństwo Pracy*, pp. 9-11, 2013.
- [4] REHVA, „<https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance/rehva-covid-19-guidance>,” Kwiecień 2021. [Online].
- [5] „<https://www.ashrae.org/technical-resources/commercial#general>,” czerwiec 2021. [Online].
- [6] <https://www.gov.uk/government/publications/covid-19-ventilation-of-indoor-spaces-to-stop-the-spread-of-coronavirus/ventilation-of-indoor-spaces-to-stop-the-spread-of-coronavirus-covid-19>, 19 Lipiec 2021 [Online].
- [7] N. I. Z. Publicznego, Zalecenia dot. działań mających na celu ograniczenie ryzyka związanego z przenoszeniem się wirusa SARS-CoV-2 za pośrednictwem systemów, PZH, 2020.
- [8] P. Szałański, W. Capiński i J. Misiński, „Przeгляд zaleceń dla instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych w związku z zagrożeniem koronawirusem SARS-CoV-2 i chorobą COVID-19,” *Instal*, pp. 17-21, 5 2020; DOI 10.36119/15.2020.5.3
- [9] W. Capiński, P. Szałański i J. Misiński, „Redukcja rozprzestrzeniania koronawirusa SARS-CoV-2 i choroby COVID-19 poprzez instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne,” *Instal*, pp. 28-36, 6 2020; DOI 10.36119/15.2020.6.3
- [10] W. Kowalski, *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. UVGI for Air and Surface Disinfection*, Springer, 2009.
- [11] K. Piekarska, A. Trusz i S. Szcześniak, „Bacteria and fungi in two air handling units with air recirculating module,” *Energy and Buildings*, nr 178, pp. 154-164, 2018.
- [12] A. Różańska, A. Chmielarczyk, Z. Tokarz, M. Pomorska-Wesołowska, A. Gniadek, M. Włodarczyk, Ł. Kołaczewski i M. Kowacz, „badania skuteczności dezynfekcji powietrza metodą ozonowania oraz promieniowaniem uv-c, zastosowanych w urządzeniu sterylizacji,” *FORUM ZAKAŻEN*, tom 12, nr 1, pp. 1-10, 2021.
- [13] S. Szcześniak, A. Trusz i K. Piekarska, „Preliminary sanitary analysis of supply and exhaust air of ventilation units working at special rooms,” w *International Conference on Advances in Energy Systems and Environmental Engineering (ASEE17)*, Wrocław, 2017.
- [14] <https://aparaturamedyczna.net/o-nas/>, [Online].
- [15] <https://medycznadezynfekcja.pl/>, [Online].
- [16] „Ulotka informacyjna firmy Aparatura Medyczna sp. z o. o. – Recyrkulacja powietrza – instrukcja użytkownika”.
- [17] M. Eickmann, U. Grayemann, W. Handke, F. Talksdorf, S. Reichenberg, T. Meuller i A. Seltman, „Inactivation of three emerging viruses – severe acute respiratory syndrome coronavirus, Crimean-Congo haemorrhagic fever virus and Nipah virus – in platelet concentrates by ultraviolet C light and in plasma by methylene blue plus visible light,” *Vox Sanguinis*, nr 115, pp. 146-151, 2020.
- [18] C. Walker i G. Ko, „Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols,” *Environmental Science & Technology*, nr 41, pp. 5460-5465, 2007.
- [19] A. Bianco, M. Biasin, G. Paraschi i et al., „UV-C irradiation is highly effective in inactivating and inhibiting SARS-CoV-2 replication,” *Scientific Reports*, tom 11, 2020.
- [20] I. Hiroko, A. Saito, H. Sugiyam, T. Okabayashi i S. Fujimoto, „Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with Deep-UV LED irradiation,” *Emerging Microbes & Infection*, tom 9, 2020.
- [21] Kwok WaiTham, „Indoor air quality and its effects on humans—A review of challenges and developments in the last 30 years,” *Energy and Buildings*, pp. 637-650, 2016.
- [22] G. Ko i C. M. Walker, „Effect of Ultraviolet Germicidal Irradiation on Viral Aerosols,” *Environmental Science Technology*, tom 41, pp. 5460-5465, 2007.