

Redukcja zanieczyszczenia mikrobiologicznego w pomieszczeniach z zastosowaniem lampy przepływowej z promieniowaniem UV-C

Reduction of microbial contamination in rooms with the use of a flow lamp with UV-C radiation

AGNIESZKA TRUSZ

DOI 10.36119/15.2021.12.5

W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań mikrobiologicznych powietrza przeprowadzanych w warunkach rzeczywistych w celu określenia skuteczności działania przenośnego urządzenia służącego do dezynfekcji powietrza, wykorzystującego promieniowanie UV-C o ponadnormatywnej mocy 330 W i możliwości zastosowania go w pomieszczeniach budynków użyteczności publicznej.

Słowa kluczowe: bakterie, grzyby, wirusy, przenośne urządzenia dezynfekcyjne

The article presents the results of preliminary microbiological air tests carried out in real conditions in order to determine the effectiveness of a portable device for air disinfection, using UV-C radiation with an excess power of 330 W and the possibility of using it in public buildings.

Keywords: bacteria, fungi, viruses, portable disinfecting devices

Wstęp

Ostatni czas pod znakiem pandemii koronawirusa wywołanego przez SARS-CoV-2 zwrócił naszą uwagę na aspekt jakości powietrza w pomieszczeniach. Głównie jakości mikrobiologicznej powietrza nie tylko w szpitalach czy ogólnie jednostkach związanych ze służbą zdrowia, ale również jakości mikrobiologicznej powietrza pomieszczeń użyteczności publicznej, jak również pomieszczeń domowych. Czas, który spędzamy zarówno w pracy jak i poza nią nierozdzielnie związany jest z pomieszczeniami, stąd też aspekt jakości powietrza, szczególnie jakości mikrobiologicznej, jest bardzo ważny. Wśród czynników mających bezpośredni wpływ na jakość powietrza wewnętrznego należy wymienić: materiały wykorzystane do budowy i izolacji budynków, wyposażenie wnętrz, systemy wentylacyjne i klimatyzacyjne, powietrze zewnętrzne, człowiek itd. Wiele z tych czynników może negatywnie oddziaływać na jakość powietrza w pomieszczeniach i może być źródłem zanieczyszczeń chemicznych, jak również i mikrobiologicznych.

Środowisko wewnętrzne zawiera szeroką gamę mikroorganizmów, w tym bak-

terii, grzybów oraz wirusów. Różnorodność rodzajowa bakterii i wirusów w pomieszczeniach, w przeciwieństwie do grzybów, kształtowana jest głównie przez przebywających tam ludzi [1]. Do najczęściej występujących w pomieszczeniach wewnętrznych bakterii należą: *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Mycobacteria*, *Arthrobacter* [2-5].

Niezależnie od pandemii, z grupy zanieczyszczeń biologicznych, to właśnie grzyby, a głównie zarodniki pleśni można uznać, szczególnie w ostatnich latach, za główną przyczynę złego samopoczucia i chorób występujących u ludzi [6-13]. W otoczeniu człowieka występuje szereg grzybów nie tylko pleśniowych wywołujących liczne choroby, począwszy od infekcji układu oddechowego, alergii (skutkujących nieżytem błon śluzowych, astmą oskrzelową bądź zapaleniem pęcherzyków płucnych), poprzez różnego typu dermatozy, czy obniżenie odporności (czego skutkiem może być m. in. aspergiloza płuc), ale również swędzenie oczu, zatkały nos, ból głowy i ogólne złe samopoczucie. Dodatkowo znaczna część grzybów, a w szczególności ich zarodniki, wykazuje charakter cytotoksyczny, neurogeny a nawet rakotwórczy. Nie można rów-

nież zapomnieć o negatywnym oddziaływaniu tej grupy mikroorganizmów na organizm człowieka w aspekcie tzw. zespołu chorego budynku (ang. sick building syndrome, SBS) [6-9]. Występujące w pomieszczeniach grzyby mogą wytwarzać również lotne związki organiczne, alergizujące białka i mikotoksyny (mykotoksyny), a każdy z tych czynników może stwarzać zagrożenie dla zdrowia ludzi [7-10]. W literaturze tematu podawane jest, że najczęściej występującymi w powietrzu pomieszczeń zamkniętych są grzyby z rodzaju: *Cladosporium*, *Penicillium*, *Alternaria* i *Aspergillus*. Jak również izolowane są gatunki z rodzaju: *Fusarium*, *Acremonium*, *Trichoderma*, *Botrytis*, *Mucor*, *Scopulariopsis* i *Trichotecium* oraz *Stachybotrys chartarum* gatunek dominujący w zawilgoconych pomieszczeniach [7, 9-13].

Sterylizacja a dezynfekcja

Bardzo często mylnie określa się „dezynfekcję” jako „sterylizację”, a przedmioty, miejsca czy powietrze poddane działaniu czynników chemicznych bądź fizycznych mających za zadanie zniszczenie mikroorganizmów i wirusów, jako „częściowo sterylne”. Kiedy środki chemiczne bądź

czynniki fizyczne są zastosowane do niszczenia wszelkich form życia mikrobiologicznego jak również wirusów, można je nazywać środkami sterylizującymi. Te same środki stosowane przy krótszych okresach narażenia również mogą być częścią procesu, ale procesu dezynfekcji (tj. dezynfekcji wysokiego poziomu). Dezynfekcja to proces, który eliminuje wiele lub wszystkie drobnoustroje chorobotwórcze oraz wirusy, z wyjątkiem przetrwalników bakteryjnych, na obiektach nieożywionych, zarówno z powietrza jak i z powierzchni (rys.1) [14]. Z fizycznego punktu widzenia nieszkodliwienie wirusów czy bakterii zawieszonych w wodzie lub w aerozolu (w powietrzu) jest tym samym zjawiskiem. W aerozolu jednak są one bardziej podatne na działanie UV-C (krótsza droga fotonu). Proces nieszkodliwienia jest zatem bardziej wydajny w przypadku aerozolu niż wody. Należy zaznaczyć, że w przypadku powierzchni patogeny również znajdują się w kropelkach, podobnie jak w powietrzu. W powietrzu jednak ich swobodny ruch umożliwia nasświetlenie z każdej strony.

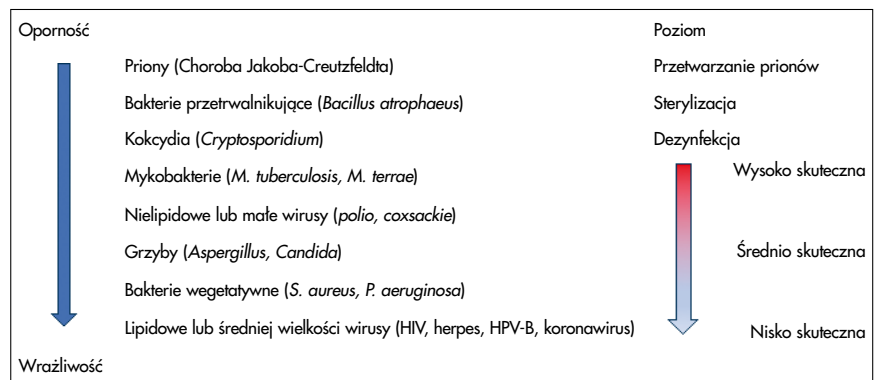
Według definicji FDA (ang. Food and Drug Administration) o dezynfekcji wysokiego poziomu mówimy, gdy użyty środek stosowany przez krótszy czas kontaktu powoduje zabicie 6-log_{10} odpowiedniego gatunku *Mycobacterium*. Oczyszczanie powietrza na filtrach a następnie dezynfekcja wysokiego poziomu powinny wyeliminować wystarczającą liczbę patogenów, aby zapobiec przenoszeniu infekcji [14].

Dezynfekcja powietrza – UVC

Do dezynfekcji powietrza stosowana może być np.: filtracja, promieniowanie ultrafioletowe, fotokataliza czy zamglawianie z wykorzystaniem ditlenku chloru mające na celu zmniejszenie zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza. Mikroorganizmy (bakterie, grzyby) czy wirusy różnią się znacznie pod względem oporności na chemiczne środki i procesy sterylizacji (rys. 1). Coraz bardziej wrażliwe są, idąc w kolejności wzrastającej wrażliwości: kokcydia (np. *Cryptosporidium*), prątki (np. *M. tuberculosis*), nielipidowe lub małe wirusy (np. polio i Coxsackie), grzyby (np. *Aspergillus* i *Candida*), bakterie vegetatywne (np. *Staphylococcus* i *Pseudomonas*) oraz wirusy lipidowe lub średniej wielkości (np. opryszczka, HIV czy koronawirus). *Rickettsiae*, *Chlamydiae* i mykoplazma nie mogą być umieszczone na tej skali względnej oporności czy wrażliwości, ponieważ informacje o skuteczności środków biobójczych przeciwko tym drobnoustrojom są

ograniczone. Z uwagi na to, że mikroorganizmy zawierają lipidy i są podobne pod względem struktury i składu do innych bakterii, można przewidywać, że zostaną unieszkodliwione przez te same środki biobójcze, które niszczą wirusy lipidowe i bakterie vegetatywne. Znanym wyjątkiem od tego przypuszczenia jest *Coxiella burnetii*, która wykazała odporność na środki dezynfekujące [14]. Długość fali promieniowania UV-C waha się od 328 nm do 210 nm (3280 Å do 2100 Å). Jego maksymalne działanie biobójcze występuje przy 240–280 nm. Niskociśnieniowe lampy parowe rtęciowe emitują ponad 90% swojego promieniowania przy długości fali 253,7 nm, co jest bliskie maksymalnej aktywności biobójczej. Inaktywacja mikroorganizmów wynika z destrukcji kwasu nukleinowego (RNA, DNA) poprzez indukcję dimerów tyminy. Stąd też promieniowa-

wywołującego chorobę Covid-19 [15-18]. Oprócz aspektu dezynfekcyjnego promieniowania UV-C jest bardzo istotny aspekt bezpieczeństwa wobec ludzi zastosowania tego promieniowania. Według informacji od producenta konstrukcja Urzędu do Recykulacyjnej Dezynfekcji Powietrza (URDP_AM) firmy Aparatura Medyczna sp. z o. o. wyklucza emisję promieniowania UV-C poza obudowę URDP_AM [19-21]. Oznacza to, że URDP_AM nie ma negatywnego oddziaływania na organizm ludzki, co pozwala stosować to urządzenie w miejscach użyteczności publicznej, jak również w domach. Zastosowanie URDP_AM w pomieszczeniach jest dzięki temu możliwe także w trakcie przebywania ludzi. Urządzenie wyposażone jest w sterownik, który umożliwia pełne nim sterowanie zarówno w odniesieniu do czasu pracy jak i jego wydajności.



Rysunek 1.

Malejąca kolejność oporności prionów, mikroorganizmów oraz wirusów na sterylizację i dezynfekcję (przy określonych poziomach dezynfekcji) [14] – modyfikacja własna

nie UV-C jest wykorzystywane do dezynfekcji wody do picia, implantów tytanowych, soczewek kontaktowych oraz powietrza. Bakterie nie tworzące przetrwalników i wirusy są łatwiej zabijane przez światło UV-C niż grzyby, a przede wszystkim przetrwalniki bakterii [14].

Promieniowanie UV-C ma kilka potencjalnych zastosowań, ale na jego skuteczność i wykorzystanie ma wpływ m.in. materia organiczna, długość fali, warunki emisji, jak zastosowanie odpowiednich reflektorów, temperatura, rodzaj mikroorganizmu czy wirusa i natężenie promieniowania UV-C.

Stosowanie promieniowania UV-C w pomieszczeniach związane jest z niszczeniem mikroorganizmów i wirusów unoszących się w powietrzu lub inaktywacją drobnoustrojów na powierzchniach. Skuteczność promieniowania UV-C została wielokrotnie potwierdzona w zwalczaniu bakterii, grzybów i wirusów. Również potwierdzona została skuteczność tego promieniowania na wirusa SARS-CoV-2

Warunki i metody badań

Warunki badań

Badania wykonywane były w pomieszczeniu biurowym, użytkowanym w sposób zmienny, nieciągły przez zmienną liczbę osób (1-3). Pomieszczenie zlokalizowane jest w starej kamienicy na zerowej kondygnacji od strony południowej. Pomieszczenie o powierzchni 12 m² wyposażone jest w dwa okna oraz wentylację grawitacyjną i w zależności od potrzeb może być przewietrzane w sposób niekontrolowany poprzez otwarcie okien. Powietrze zewnętrzne dostarczane jest do pomieszczenia również w sposób niekontrolowany przez instalację wentylacji grawitacyjnej.

W trakcie wykonywania badań jak również na 24 h przed, pomieszczenie nie było przewietrzane, jak również nie przebywały w nim żadne osoby. Jedynie działała wentylacja grawitacyjna. Wentylacja grawitacyjna działała również w trakcie realizowanych badań.

W pomieszczeniu umieszczono Urządzenie do Recyrkulacyjnej Dezynfekcji Powietrza (URDP_AM) firmy Aparatura Medyczna Sp. z o.o. (rys. 2-4).



Rysunek 2.
Zdjęcie fragmentu stanowiska pomiarowego



Rysunek 3.
Zdjęcie obrazujące ustawienie próbnika SAS Super 180™

W Urządzeniu powietrze z jednej strony jest pobierane i wewnątrz obudowy wprowadzane w ruch obrotowy oraz poddawane działaniu intensywnego promieniowania UV-C (moc promienników 330 W) o długości fali 254 nm. Prędkość przepływu powietrza w trakcie badań wynosiła 200 m³/h. 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, grzyby, a do pomieszczenia z urządzenia wprowadzane jest powietrze czyste i wolne od szkodliwego dla ludzi ozonu [19-22].



Rysunek 4 a, b.
Zdjęcie Urządzenia do Recyrkulacyjnej Dezynfekcji Powietrza (URDP_AM) firmy Aparatura Medyczna Sp. z o.o.

Odległość ustawienia próbnika SAS Super 180™ od Urządzenia wynosiła 1,5 m.

Metody badań

Badania mające na celu określenie wpływu przenośnego urządzenia z promieniowaniem UV-C na poprawę jakości mikrobiologicznej powietrza w pomieszczeniu wykonano 4-5.10.2021 r. (w czasie 676 min., od godz. 13.00 pierwszego dnia pomiarów do godziny 18.00 dnia kolejnego).

Badania podzielono na dwa etapy (na dwie serie pomiarowe). W pierwszym – dokonano poboru 7 prób (n=1...7) w odstępach co 12 minut, traktując pierwsze – w czasie 0, jako tło do wszystkich badań. Po tym czasie (czyli po czasie 0) włączono urządzenie (lampę i wentylator). Po zakończeniu pierwszego etapu badań wylączono urządzenie i opuszczono pomieszczenie. Na 10,5 godzin przed drugim etapem badań włączono ponownie urządzenie, wcześniej wykonując pomiar

(w czasie t=630 min., n=8). Drugi etap badań obejmował 5 pomiarów (oznaczonych jako n=8...12), również wykonywanych w odstępach 12 minutowych. W trakcie I i II serii pomiarowej w pomieszczeniu w sposób ciągły przebywały 2 osoby.

Badania mikrobiologiczne powietrza przeprowadzono metodą zderzeniową (impakcja bezwładnościowa). Ocenę jakości mikrobiologicznej powietrza oparto na ogólnej liczbie bakterii mezofilnych na agarze odżywczym AO firmy BTL (o składzie: wyciąg mięsny-2g/l, pepton-8g/l, chlorek sodu-5g/l, agar 15g/l; pH 7,4) oraz ogólnej liczbie grzybów wyhodowanych na podłożu z ekstraktem słodowym Malt Extract (ME) firmy LAB-AGAR TM (o składzie: malt extract 30g/l; peptone z mączki sojowej 3g/l, agar 15g/l; pH 5,6±0,2).

Próbki powietrza o określonej objętości pobrano przy użyciu skalibrowanego próbnika SAS Super 180™ ustawionego na pobór stałej objętości powietrza 0,1 m³. Pomiary wykonano w trzech powtórzeniach. Przedstawione wyniki są wartościami średnimi.

Po poborze prób, płytki zostały przetransportowane do laboratorium Biotechnologii Środowiska w Katedrze Inżynierii Ochrony Środowiska P.Wr. w celu inkubacji w warunkach optymalnych dla rozwoju bakterii mezofilnych tj. 37°C przez 48 h oraz grzybów – 26°C przez 5 dni i zliczenia wyrosłych na podłożach kolonii bakterieryjnych i grzybiczych.

W celu obliczenia ogólnej liczby mikroorganizmów obecnej w 1 m³ powietrza (jtk/m³) w metodzie zderzeniowej do korekcji wyniku, zaniżonego w związku z trafieniem dwóch lub więcej mikroorganizmów w jeden punkt, wprowadzono poprawkę według wzoru Feller'a [22-24].

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

$$R = 100 \cdot (1 - P2/P1), \%$$

gdzie:

P1, P2(n) – ilość mikroorganizmów przedstawiona w jtk/m³ na początku badań (t₀, n=1) i po każdych 12 min. działania urządzenia (n=2-12).

W czasie badań określono również parametry mikroklimatu powietrza w pomieszczeniu. Pomiaru temperatury oraz wilgotności względnej powietrza a także stężenia dwutlenku węgla wykonano z wykorzystaniem miernika TESTO 400 z dedykowanymi do niego sondami pomiarowymi. Prędkość strumienia powietrza przepływającego przez urządzenie zweryfikowano z użyciem testera Testo 400.

Wyniki

Wyniki analizy mikrobiologicznej obejmujące średnią ogólną liczbę bakterii mezofilnych i grzybów oraz procentową redukcję ogólnej liczby bakterii mezofilnych i grzybów przeprowadzone w ramach badań wstępnych zamieszczono na rysunkach 5-8.

W I etapie badań w próbce powietrza pobranej w czasie zero (stanowiącej tło, n=1), czyli przed włączeniem Urządzenia, w badanym pomieszczeniu uzyskano ogólną

liczbę bakterii – 3870 jtk/m³, natomiast ogólna liczba grzybów była prawie 26 razy niższa i wynosiła 150 jtk/m³.

Włączenie jednocześnie w Urządzeniu promiennika i wentylatora już po 12 minutach spowodowało obniżenie ogólnej liczby bakterii trzykrotnie do wartości 1240 jtk/m³, czyli nastąpiła redukcja tej grupy mikroorganizmów o prawie 70%. Natomiast ogólna liczba grzybów zmniejszyła się prawie dwukrotnie do wartości 70 jtk/m³, czyli nastąpiła redukcja o 53%.

Kolejne 12 minut pracy Urządzenia spowodowało obniżenie o 50% ogólnej liczby bakterii (z 1240 na 600 jtk/m³), dając redukcję o 84 % w porównaniu do stanu wyjściowego. Następne 4 analizy wykonane również w odstępach 12 minutowych wykazały w ostatnim pomiarze 18-krotny spadek ogólnej liczby bakterii do 210 jtk/m³. Oznacza to, że w ciągu 72 minut działania Urządzenia nastąpiła redukcja ogólnej liczby bakterii o 95%.

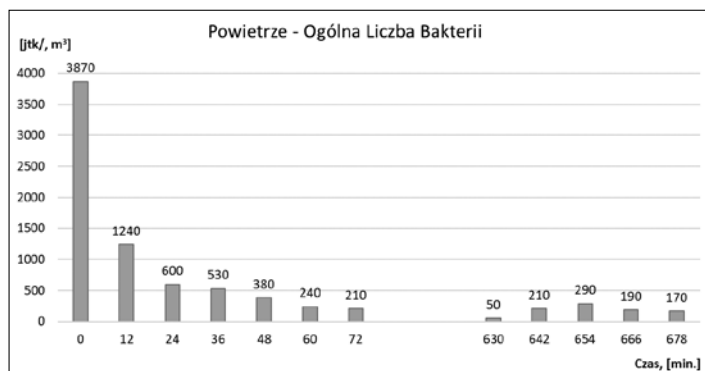
W przypadku grzybów oprócz początkowej redukcji o 50% pozostałe analizy nie wykazały takiego trendu spadkowego jak w przypadku bakterii. Nastąpił spadek redukcji do 43 i 40%, a w kolejnych dwóch pomiarach wzrost redukcji z 67 na 80%, aby w ostateczności po 72 minutach dać redukcję ogólnej liczby grzybów o 67%.

Po I serii pomiarowej miała miejsce przerwa w działaniu Urządzenia, która trwała od godz. 16.00 do 6.00 (w tym czasie w pomieszczeniu nie przebywali ludzie). II etap badań rozpoczęto w 630 minucie, po 10,5 h działania urządzenia. W tym pomiarze uzyskano ogólną ilość bakterii równą 50 jtk/m³, czyli redukcję o 99%. Z uwagi na brak możliwości wykonania poboru próbki mikrobiologicznej metodą zderzeniową w sposób bezobstygowy w pomieszczeniu w trakcie tej analizy obecna była 1 osoba, co skutkowało (brak specjalistycznej odzieży ochronnej, mimo maseczki, otwarcie drzwi w momencie wejścia do pomieszczenia), nie uzyskaniem wyniku (prawdopodobnego wyniku 100 % redukcji), czyli obecnością w pomieszczeniu bakterii.

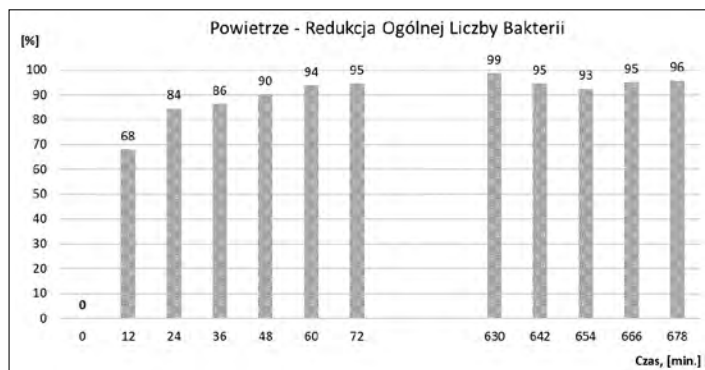
Jak podano wcześniej we wstępie bioróżnorodność i ilość bakterii związana jest z obecnością w pomieszczeniach ludzi inaczej niż w przypadku grzybów, które do pomieszczenia głównie dostają się wraz z powietrzem zewnętrznym lub obecne są w np. nieprawidłowo eksploatowanych pomieszczeniach (przy zbyt wysokiej temperaturze i wilgotności względnej oraz nieprawidłowej wentylacji).

Stąd też w przypadku ogólnej liczby grzybów w trakcie tej analizy wykazano obecność 30 jtk/m³, czyli redukcję do 80% w porównaniu do czasu 0. Po poborze pierwszej próbki po przerwie do pomieszczenia weszła druga osoba co podwyższyło ogólną liczbę bakterii do 210 i 290 jtk/m³ w kolejnych dwóch pomiarach, aby ponownie zmniejszyć ją do 190 i 170 jtk/m³.

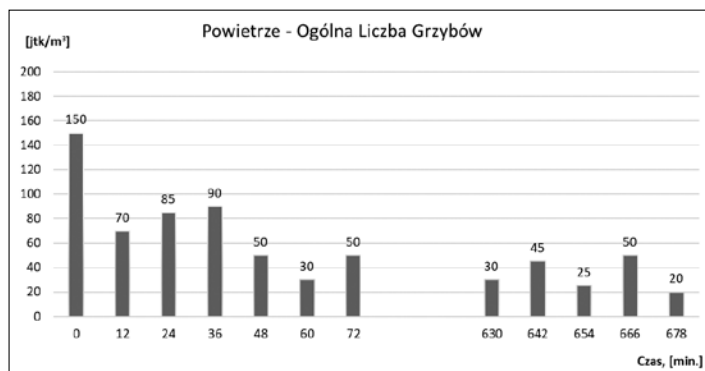
Ostatecznie poziom redukcji przy przedostatnim pomiarze i ostatnim był taki jak ostatni przed przerwą pomiędzy seriami, czyli 95-96%. W przypadku ogólnej liczby grzybów redukcja ich oscylowała



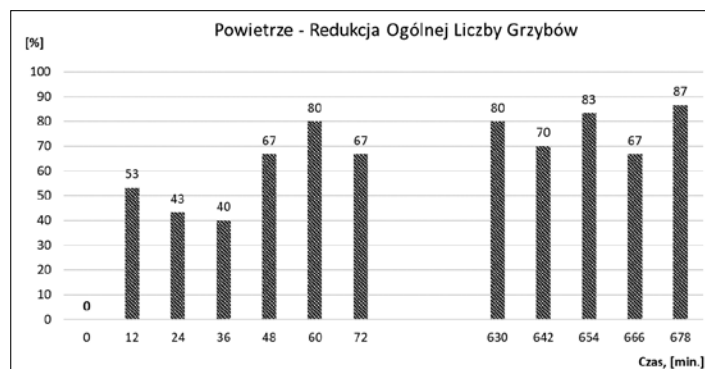
Rysunek 5. Ogólna liczba bakterii, jtk/m³



Rysunek 6. Redukcja procentowa ogólnej liczby bakterii



Rysunek 7. Ogólna liczba grzybów, jtk/m³



Rysunek 8. Redukcja procentowa ogólnej liczby grzybów

między 67 a 83 % ostatecznie dając w ostatnim pomiarze redukcję 87 % ogólnej liczby grzybów jak również najniższą uzyskaną w trakcie badań wartość wynoszącą 20 jtk/m³.

W czasie badań określono również parametry mikroklimatu powietrza w pomieszczeniu. Średnie wartości temperatury oraz wilgotności względnej powietrza a także stężenia dwutlenku węgla wynosiły odpowiednio: 21,8°C; 25,6% i 623 ppm.

Podsumowanie

Pandemia koronawirusa zwróciła naszą uwagę na powietrze wewnątrz pomieszczeń użyteczności publicznej. Jego jakość mikrobiologiczna determinowana jest przez powietrze zewnętrzne, ale również przez obecność ludzi, zwierząt czy roślin znajdujących się wewnątrz pomieszczeń. Nie tylko wirusy, a przede wszystkim koronawirus SARS-CoV-2, ale również bakterie lub grzyby (głównie pleśniowe) stanowią potencjalne niebezpieczeństwo dla zdrowia przebywających w danych pomieszczeniach użytkowników. Jednym ze skutecznych sposobów walki z mikroorganizmami znajdującymi się w powietrzu w pomieszczeniach jest znana od lat dezynfekcja promieniowaniem UV-C.

Stosowanie nowoczesnych promienników o długości fali 254 nm nie powoduje wytwarzania ozonu lub powstający w czasie procesu ozon jest śladowy. Natomiast dopiero zastosowanie urządzenia odpowiedniej konstrukcji z zamontowanym wewnątrz promiennikiem o długości fali 254 nm eliminuje całkowicie zagrożenie dla użytkowników. Tego typu rozwiązanie zastosowane zostało w Urzędzeniu do Recykulacyjnej Dezynfekcji Powietrza (URDP_AM) firmy Aparatura Medyczna sp. z o. o. oraz w szeregu innych lampach przepływowo-ych. W czasie badań nie określono działania lamy w kierunku wirusów, ale należy zwrócić uwagę, że skuteczność dezynfekcji promieniami UV-C potwierdzona została również w stosunku do wirusa SARS-CoV-2. Według literatury [14] ze względu na budowę wystarczy dezynfekcja nisko skuteczna, aby wyeliminować tego wirusa z powietrza w pomieszczeniu. Bardziej skomplikowana budowa grzybów (organizmów eukariotycznych) jak również wytwarzane przez część bakterii przetrwalniki wymagają dezynfekcji średnio skutecznej w celu ich zniszczenia. Grzyby w przeciwieństwie do bakterii i wirusów mają jako organizmy eukariotyczne jądro komórkowe (wraz z zawartym w nim DNA) otoczone podwójną błoną jądrową. Stąd też jakiegokolwiek oddziaływanie negatywne (zewnętrzne) na DNA np. promieniowania UV jest utrudnione. Inaktywacja mikroorganizmów polega na destrukcji

kwasy nukleinowego (RNA, DNA) poprzez indukcję dimerów tyminy. Natomiast czas, to kolejny ważny element procesu dezynfekcji – im dłuższe działania promiennika UV-C tym skuteczniejsza jego praca.

Badania skuteczności działania Urządzenia przeprowadzone w warunkach rzeczywistych w obecności 2 osób wykazały w ciągu 11,5 godziny (z przerwą 16 godzinną w działaniu Urządzenia) redukcję ogólnej liczby bakterii o 96 %, a ogólnej liczby grzybów o 87 %, co wskazuje na wysoką skuteczność działania badanego Urządzenia. Przeprowadzone badania mają charakter wstępny i wymagają potwierdzeń. Badania potwierdzające w warunkach rzeczywistych, jak również badania nad skutecznością Urządzenia na wybrane grupy mikroorganizmów są w trakcie realizacji.

Wnioski

Dezynfekcja powietrza przy zastosowaniu Urządzenia URDP_AM wykazała w ramach badań wstępnych wysoką skuteczność. Po czasie 11,5 godziny w obecności 2 osób (z przerwą 16 godzinną w działaniu Urządzenia) uzyskano redukcję ogólnej liczby bakterii o 96 % a ogólnej liczby grzybów o 87 %. Wskazuje to na możliwość stosowania tego urządzenia w miejscach użyteczności publicznej w celu poprawy jakości mikrobiologicznej powietrza i uzyskania bezpieczeństwa sanitarnego na wysokim poziomie.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Adams, R.I., Miletto, M., Lindow, S.E., Taylor, J.W., Bruns, T.D., 2014. Airborne bacterial communities in residences: Similarities and differences with fungi. *PLoS One* 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091283>.
- [2] Blais-Lecours, P., Perrott, P., Duchaine, C., 2015. Non-culturable bioaerosols in indoor settings: Impact on health and molecular approaches for detection. *Atmos. Environ.* 110, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.03.039>.
- [3] Schmidt, M.G., Attaway, H.H., Terzieva, S., Marshall, A., Steed, L.L., Salzberg, D., Hamodi, H.A., Khan, J.A., Feigley, C.E., Michels, H.T., 2012. Characterization and control of the microbial community affiliated with copper or aluminum heat exchangers of HVAC systems. *Curr. Microbiol.* 65, 141–149. <https://doi.org/10.1007/s00284-012-0137-0>.
- [4] Buczyńska E., Rutkowska K., 2003., Występowanie i metody zwalczania bakterii Legionella w instalacjach wentylacji i klimatyzacji, Instal, Tom nr 7/8, 32–36.
- [5] Gołofit-Szymczak, M., Górny, R.L., 2010. Bacterial and Fungal Aerosols in Air-Conditioned Office Buildings in Warsaw, Poland—The Winter Season. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 16, 465–476. <https://doi.org/10.1080/10803548.2010.11076861>.
- [6] Marie-Jeanne Biyeyeme Bi Mve & Yves Cloutier & Nancy Lacombe & Jacques Lavoie & Maximilien Debria & Geneviève Marchand. Comparison of methods to evaluate the fungal biomass in heating, ventilation, and air-conditioning

- (HVAC) dust, *Environ Monit Assess* (2017) 189:8, DOI 10.1007/s10661-016-5682-8.
- [7] Zhijian Liu,, Hang Yinb, Shengyuan Maa, Bing Weia, Benjamin Jensenb, Guoqing Caoc, , Effect of environmental parameters on culturability and viability of dust accumulated fungi in different HVAC segments, *Sustainable Cities and Society* 48 (2019) 101538.
- [8] Jonathan Black, Timothy Dean, Grace Byfield, Karin Foarde, and Marc Menetrez, Determining Fungi rRNA Copy Number by PCR. *J Biomol Tech.* 2013 Apr; 24(1): 32–38
- [9] Anna Chróst, Grzyby pleśniowe w środowisku człowieka – zagrożenie i skutki zdrowotne. *MED. DOŚW. MIKROBIOL.*, 2016, 68: 135 – 150.
- [10] Richard A. Haugland, Manju Varma, Larry J. Wymer, and Stephen J. Vesper Quantitative PCR Analysis of Selected *Aspergillus*, *Penicillium* and *Paecilomyces* Species, *System. Appl. Microbiol.* 27, 198–210 (2004).
- [11] A. Li, Z. Liu, Y. Liu, X. Xu i Y. Pu, „Experimental study on microorganism ecological distribution and contamination mechanism in supply air ducts,” *Energy and Buildings*, pp. 497 – 505, 2012. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.12.025.
- [12] A. Li, J. Xiong, L. Yao, L. Gou i W. Zhang, „Determination of dust and microorganism accumulation in different design of AHU system in Shaanxi History Museum,” *Building and Environment*, pp. 232-242, 2016. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.05.01.
- [13] Z. Lu a, W.Z. Lu b,* , J.L. Zhang a, D.X. Sun a, Microorganisms and particles in AHU systems: Measurement and analysis, *Building and Environment* 44 (2009) 694–698.
- [14] William A. Rutala, Ph.D., M.P.H.1,2, David J. Weber, M.D., M.P.H., and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC), 2008 (update 2019), Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities. <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/>
- [15] Eickmann M, Gravemann U, Handke W, Talksdorf F, Reichenberg S, Müller TH, Seltmann A. (2020). 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* 115:146-151.
- [16] Bianco A, M Biasin, G Pareschi et al. (2020). UV-C irradiation is highly effective in inactivating and inhibiting SARS-CoV-2 replication. *medRxiv*.
- [17] Inagaki H, A Saito, H Sugiyama, T Okabayashi, S Fujimoto. (2020). Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with Deep-UV LED irradiation. *bioRxiv*.
- [18] Walker CM, Ko G. (2007). Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols. *Environ Sci Technol* 41,5460-5465.
- [19] Ulotka informacyjna firmy Aparatura Medyczna sp. z o. o. – Recykulacyjna dezynfekcja powietrza – instrukcja użytkownika.
- [20] <https://aparaturamedyczna.net/o-nas/>
- [21] <https://medycznadezynfekcja.pl/>
- [22] Szczęśniak S., Trusz A. Stan higieniczny powietrza w pomieszczeniu obsługiwanym przez instalację wentylacyjną, w której gniazdowały ptaki – studium przypadku, 10/2021, Instal.
- [23] Piekarska K., Trusz A. Szczęśniak S., Bacteria and fungi in two air handling units with air recirculating module,” *Energy and Buildings*, nr 178, pp. 154-164, 2018.
- [24] Szczęśniak S., Trusz A., Piekarska K., 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.