



UNIWERSYTET  
MEDYCZNY  
W ŁODZI

Łódź, dnia 21.12.2020r

Katedra Biologii Medycznej  
Zakład Biologii Molekularnej  
ul. Żeligowskiego 7/9  
90-752 Łódź

# Skuteczność promieniowania z zakresu UV-C w inaktywacji wirusa-2 ostrej niewydolności oddechowej (SARS-CoV-2)

**Badanie wykonane na zlecenie:**

UV-C ENERGY S.C. JAROSŁAW BRUSSA IWONA BRUSSA SPÓŁKA CYWILNA.

NIP: 7842519048, Wełnica, Osiedle Słoneczne 20 Gniezno 62- 200

**Analizę wykonał:**

dr Tomasz Wasiak

Zakład Biologii Molekularnej

Katedra Biologii Medycznej

Oddział Nauk Biomedycznych Wydziału Lekarskiego

Uniwersytet Medyczny w Łodzi

CIITT

90-151 Łódź | J. Muszyńskiego 2  
e-mail: [ciitt@umed.lodz.pl](mailto:ciitt@umed.lodz.pl)  
[www.umed.pl](http://www.umed.pl) | [www.ciitt.umed.pl](http://www.ciitt.umed.pl)



Centrum Innowacji  
i Transferu Technologii  
UNIWERSYTETU MEDYCZNEGO W ŁODZI

## Wstęp

SARS-CoV-2 (ang. *severe acute respiratory syndrome coronavirus-2*) [1] wywołał globalny kryzys społeczny, ekonomiczny oraz medyczny, który niejako wymusił stworzenie nowych metod ograniczania aktywności tego wirusa w środowisku. W chwili pisania tej pracy (7.12.2020r.) w Polsce zanotowano ponad 1 mln przypadków zakażenia SARS-CoV-2, z czego ponad 20 tys. chorych zmarło [2]. Rzeczywista liczba osób zakażonych SARS-CoV-2 jest najprawdopodobniej znacznie wyższa, ponieważ liczne infekcje, zwłaszcza u osób młodszych, przebiegają bezobjawowo i często nie są wychwytywane rutynowymi metodami diagnostycznymi [3]. SARS-CoV-2 wywołuje chorobę COVID-19, której typowymi objawami są gorączka, suchy kaszel, zmęczenie i spłycenie oddechu [4]. Większość chorujących na COVID-19 (81%) to pacjenci bezobjawowi lub skąpoobjawowi, gdzie obraz kliniczny przypomina lekkie infekcje górnych dróg oddechowych. Pozostali pacjenci przechodzą postać ciężką (14%) lub krytyczną (5%) tej choroby. Zakażenie przenosi się drogą kropelkową w czasie kaszlu lub kichania, a przeciętny czas wylegania choroby wynosi do 2 do 14 dni, średnio 5 dni [5,6]. Kluczowe znaczenie w zapobieganiu rozprzestrzenianiu się SARS-CoV-2, zwłaszcza w instytucjach publicznych, ma dezynfekcja przestrzeni użytkowych. Najbardziej optymalną metodą dezynfekcji dużych przestrzeni użytkowych jest sterylizacja promieniowaniem UV-C, która od wielu lat znalazła zastosowanie w placówkach ochrony zdrowia i jednostkach naukowych. Sterylizacja przy użyciu promieniowania ultrafioletowego jest metodą nieobciążającą środowiska naturalnego, która skutecznie niszczy wirusy, bakterie i grzyby bez konieczności wykorzystywania środków chemicznych, promieniowania jonizującego, czy wysokiej temperatury [7]. Promieniowanie UV można podzielić na 4 zakresy. Promieniowanie o zakresie długości fali światła pomiędzy 100 a 200 nm nosi nazwę ultrafioletu próżniowego. Zastosowanie tego zakresu fali w sterylizacji jest ograniczone, gdyż jest silnie pochłaniane przez powietrze. Bliżej znane zakresy promieniowania ultrafioletowego to UV-A, UV-B i UV-C o zakresach widm odpowiednio 315-380 nm, 280-315 nm i 200-280 nm. Wśród trzech wymienionych zakresów to właśnie UV-C ma najsilniejsze właściwości przeciwwirusowe i przeciwbakteryjne [8,9]. Promieniowanie UV-C jest absorbowane przez wirusowe RNA, co prowadzi do powstawania dimerów pirymidynowych np. uracylu i zatrzymanie procesu replikacji wirusa [10].

### Wirus-2 ostrej niewydolności oddechowej

Pierwsze wzmianki o ciężkim zapaleniu płuc o nieznannej etiologii pojawiły się w listopadzie 2019 w Chińskiej prowincji Hubei. Zachorowania te powiązane zostały z targiem rybnym w mieście Wuhan [11]. Chińscy naukowcy wykazali, że nowy wirus jest pochodzenia odzwierzęcego i należy do grupy koronawirusów [12,13]. SARS-CoV-2 jest wirusem osłonkowym zaliczanym do rodziny *Coronaviridae*.

Wielkość cząsteczki wirusa waha się od 50 do 200 nm, przybierając kształt kulisty lub geoidalny [4]. SARS-CoV-2 jak i inne koronawirusy charakteryzują 4 białka strukturalne. Białko S będące glikoproteiną powierzchniową, odpowiada za oddziaływanie cząsteczki wirusa z receptorem ACE-2 na powierzchni pneumocytów, tworzy też charakterystyczną koronę na powierzchni kapsydu. Białko E tworzące płaszcz wirusa, pomaga też w morfogenezie wirionów. Białko M – to białko dominujące w macierzy wirusa. Białko N odpowiedzialne jest za tworzenie nukleokapsydu i ochronę materiału genetycznego wirusa przed degradacją. Kapsyd wirusa tworzony jest przez białka S, M i E, natomiast białko N utrzymuje strukturę genomu [14,15]. Genom SARS-CoV-2 stanowi jednoniciowa cząsteczka RNA o dodatniej polaryzacji, który rozpoznawany jest przez komórki gospodarza jako własny mRNA, co z kolei skutkuje bezpośrednią translacją białek wirusa [16]. Genom wirusa składa się z około 29 900 nukleotydów i koduje 4 białka strukturalne oraz 25 białek niestrukturalnych, które odpowiadają za gaszenie odpowiedzi immunologicznej gospodarza, oraz aktywność proteazy, endonukleazy i polimerazy RNA [17].

#### Żywotność SARS-CoV-2

W sześciu recenzowanych i jednej nierecenzowanej publikacji (na dzień 7.12.2020) zbadano żywotność SARS-CoV-2 w różnych warunkach inkubacji i na różnych materiałach (Tabela 1). Żywotność zbadano na następujących materiałach: szkło [18-20], stal nierdzewna [18,19,21-24], plastik [11,16,21,22], papier [19], karton [22], guma [21,24], drewno i ubrania [19]. Badania zespołu Chin i wsp. [19] wskazują redukcję miana SARS-CoV-2 o około  $3,6 \log_{10}$  na bibule w ciągu zaledwie 3 godzin, ale redukcja rzędu  $3,8 \log_{10}$  na szkle zajęła aż 4 dni. Dodatkowo dwie publikacje wskazują [18,19], iż niższe temperatury są bardziej korzystne dla żywotności SARS-CoV-2, z niewielkim spadkiem miana wirusa po 2 tygodniach w  $4^{\circ}\text{C}$ . Jednak nawet w temperaturze pokojowej osiągnięcie redukcji miana wirusa (płynna zawiesina wirusa) o  $4,5-5,0 \log_{10}$  może zająć nawet 14 dni.

Tabela 1. Wykaz badań przedstawiających żywotność SARS-CoV-2

| Badanie                   | Próbka mikrobiologiczna<br>i warunki eksperymentu  | Materiał i czas do inaktywacji  |
|---------------------------|--|---|
| Behzadinasab<br>2020 [20] | ~5,8-6,1 log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL,<br>5 μL zawiesiny wirusa, 60-<br>70% RH   | Szkło – redukcja do 2,6 log <sub>10</sub> po 24 godz. (brak danych z kolejnych punktów czasowych).<br>Stal nierdzewna – redukcja do 1,8 log <sub>10</sub> po 24 godz. (brak danych z kolejnych punktów czasowych).  |
| Biryukow 2020<br>[21]     | ~2 log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL,<br>5 μL zawiesiny wirusa,<br>inaktywacja = redukcja do 1,8<br>log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL,<br>LOD = 0,2 log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL | Stal nierdzewna – inaktywacja po 24 godz. w 35°C 20%, 40% i 60% RH; po 48 godz. w 24°C i 40% i 60% RH (ale nie dla wilgotności 20%!).<br>Podobne wyniki uzyskano dla tworzywa ABS i kauczuku nitrilowego.   |
| Chan 2020 [18]            | 6,5 log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL,<br>10 μL zawiesiny wirusa na<br>szkiełku mikroskopowym,<br>inaktywacja = redukcja do 1,5<br>log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL                         | 4°C – redukcja tylko o 2 log <sub>10</sub> po 14 dniach zarówno w hodowli płynnej jak i wysuszonej (brak danych z kolejnych punktów czasowych).<br>20-25°C (65% RH) – 5 dni w formie suchej, 14 dni w formie płynnej.<br>33°C – 3 dni w obu formach<br>35°C – 24 godz. w formie suchej i 3 dni w formie płynnej |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>Chin 2020 [19]</p>  | <p>Zmiany temperatury:<br/>6,5 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>/m<br/>inaktywacja = redukcja do<br/>2 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>/mL,<br/>LOD = 2 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>/mL</p> <p>Zmiany materiały dla warunków pokojowych (22°C, 65% RH):<br/>4,8-6,1 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>/mL,<br/>inaktywacja = redukcja do<br/>2 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>/mL,<br/>LOD = 2 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>/mL</p> | <p>Zmiany temperatury:<br/>4°C – redukcja tylko o 0,7 log<sub>10</sub> po 14 dniach<br/>22 – redukcja o ≥ 4,5 log<sub>10</sub> po 14 dniach<br/>37°C – redukcja o ≥ 4,5 log<sub>10</sub> po 2 dniach</p> <p>Zmiany materiały dla warunków pokojowych:<br/>Papier ksero – redukcja o ≥ 2,8 log<sub>10</sub> po 3 godz.<br/>Bibuła – redukcja o ≥ 3,5 log<sub>10</sub> po 3 godz.<br/>Ubrania – redukcja o ≥ 2,8 log<sub>10</sub> po 2 dniach.<br/>Drewno – redukcja o ≥ 3,7 log<sub>10</sub> po 2 dniach.<br/>Szkło – redukcja o ≥ 3,8 log<sub>10</sub> po 4 dniach.<br/>Banknot – redukcja o ≥ 4,0 log<sub>10</sub> po 4 dniach.<br/>Plastyk – redukcja o ≥ 4,8 log<sub>10</sub> po 7 dniach.<br/>Stal nierdzewna – redukcja o ≥ 4,8 log<sub>10</sub> po 7 dniach.<br/>Wewnętrzna powierzchnia maski chirurgicznej – redukcja o ≥ 4,8 log<sub>10</sub> po 7 dniach<br/>Zewnętrzna powierzchni maski chirurgicznej – redukcja o 3,0 log<sub>10</sub> po 7 dniach, przy czym nadal obserwowano resztkową zdolność do wirulencji (brak danych z kolejnych punktów czasowych).</p> |
| <p>Fisher 2020 [23]</p>  | <p>4,5 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>/mL,<br/>50 µL zawiesiny wirusa,<br/>inaktywacja = redukcja do 1,5 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>/mL,<br/>21-23°C, 40% RH,<br/>LOD = 0,5 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>/mL</p>  | <p>Maska N95 – redukcja o ≥ 4 log<sub>10</sub> po 24 godz.<br/>Stal nierdzewna – redukcja o ≥ 4 log<sub>10</sub> po 48 godz.</p>   |
| <p>Kasloff 2020 [24] badanie nierecenzowane w dniu pisania opracowania</p> | <p>Materiał o powierzchni 1-14 cm<sup>2</sup>, 10 µL zawiesiny wirusa, ~5,8 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>/mL (inokulum:</p>   | <p>Koszulka 100% bawełny – 24 godz.<br/>Rękawice nitrylowe odporne na chemikalia – 7 dni.<br/>Rękawice nitrylowe – 14 dni.</p>   |

|                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
|                       | glebą+mucyna+BSA+trypton),<br>20°C, 35-40% RH,<br>LOD = 0,8 log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL,<br>inaktywacja = redukcja do 5,0<br>log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL, | Stal nierdzewna, plastikowa osłona twarzy,<br>półmaska N100 i polietylenowy kombinezon<br>barierowy – 21 dni.<br>Maski N95 – redukcja o ~4,9 log <sub>10</sub> 21 dni (brak<br>danych z kolejnych punktów czasowych). |
| van Doremalen<br>[22] | ~3,2-3,7 log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL, 21-<br>23°C, 35-40% RH,<br>Osad powierzchniowy 50 µL   | Plastik i stal nierdzewna – redukcja o 3,2 log <sub>10</sub> po<br>4 dniach.<br>Karton – redukcja o ~2 log <sub>10</sub> po 2 dniach.<br>Miedź – redukcja o ~1,7 log <sub>10</sub> po 8 godz.                         |

BSA – albumina surowicy bydlęcej; LOD – próg detekcji; TCID<sub>50</sub> – mediana dawki zakaźnej dla hodowli komórek, odpowiadająca liczności wirusa, przy którym 50% komórek ulega zakażeniu, RH – wilgotność względna.

Co ważne, niektóre badania określiły żywotność SARS-CoV-2 bezpośrednio na odzieży środkach i ochrony osobistej, zwłaszcza na filtrach masek bakteriologicznych [19,21,23,24]. Wyniki zespołu Fishera [23] pokazują redukcję o 4,0 log<sub>10</sub> miana SARS-CoV-2 na filtrach FFR masek N95, ale badania Chin et al. [19] udowodniły, że potrzeba 7 dni na redukcję miana wirusa o ~4,8 log<sub>10</sub> i ~3,0 log<sub>10</sub> odpowiednio na wewnętrznej i zewnętrznej warstwie masek chirurgicznych. Warto zaznaczyć, że badania przeprowadzone przez Kalsoff'a i wsp. [24] pozwoliły na ocenę żywotności wirusa w warunkach: gleby zawierającej mucynę, albuminie surowicy bydlęcej oraz tryptonie jako inokulum, które wg. autorów miało symulować typowe zakaźne płyny ustrojowe pacjentów zakażonych SARS-CoV-2. Badanie to pokazało, że uzyskanie redukcji miana wirusa o 5,0 log<sub>10</sub> w temperaturze pokojowej (~20°C) zajęło 14 dni dla rękawic nitrylowych i 21 dni w przypadku plastikowych osłon twarzy, półmasek N100 i polietylenowych kombinezonów barierowych, z zachowaną resztkową wirulencją dla masek N95 nawet po okresie 3 tygodni.

Inaktywacja SARS-CoV-2 przy użyciu promieniowania UV-C

Metody sterylizacji powszechnie stosowane w służbie zdrowia można podzielić na dwie grupy: metody fizyczne (promieniowanie ultrafioletowe, X, γ, sterylizacja termiczna sucha i mokra, para wytwarzana mikrofalami) oraz chemiczne (alkohole, tlenek etylenu, podchloryn sodu, pary nadtlenu wodoru). Część z tych metod może znacząco wpłynąć na wydajność filtracji cząstek w maskach N95 (alkohole [25-28]), podczas gdy inne wymagają stosowania silnych utleniaczy lub specjalistycznego sprzętu i zaplecza logistycznego. Dlatego, w tym przeglądzie skupiono się na metodzie sterylizacji przy użyciu promieniowania UV, które mogą być łatwo i szybko wdrożone na dużą skalę. W przypadku

sterylizacji środków ochrony osobistej szczególną skuteczność wykazuje promieniowanie z zakresu UV-C, co potwierdza 6 recenzowanych publikacji (Tabela 2).

Tabela 2. Wykaz badań przedstawiających inaktywację SARS-CoV-2 przez promieniowanie z zakresu UV-C.

| Badanie                 | Próbka mikrobiologiczna<br>i warunki eksperymentu   | Kluczowe wnioski i uwagi   |
|-------------------------|---|--|
| Fisher 2020<br>[23]     | 4,5 log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL,<br>50 µL zawiesiny wirusa na<br>stali nierdzewnej lub filtrach<br>masek N95, LOD = 0,5 log <sub>10</sub><br>TCID <sub>50</sub> /mL, UV-C 260-285<br>nm, PG = 0,55 mW/cm <sup>2</sup> w<br>miejscu ekspozycji                          | Stal nierdzewna – poniżej LOD, redukcja o ≥ 4 log <sub>10</sub><br>przy 330 mJ/cm <sup>2</sup> .<br>Filtry N95 – LOD nieosiągnięty dla 1980 mJ/cm <sup>2</sup> (na<br>podstawie wykresu z pracy oszacowano redukcję o<br>~3 log <sub>10</sub> , przy czym brak wyniku dla dłuższych<br>czasów ekspozycji na UV-C). |
| Heilingloh<br>2020 [29] | 600 µL 6,75 log <sub>10</sub> TCID <sub>50</sub> /mL<br>na płytce<br>24-dołkowej, UV-C PG = 1,94<br>mW/cm <sup>2</sup> , UV-A PG = 0,54<br>mW/cm <sup>2</sup>   | UV-C – redukcja o > 6,7 log <sub>10</sub> dla 1048 mJ/cm <sup>2</sup> .<br>UV-A – redukcja o 1,0 log <sub>10</sub> dla 292 mJ/cm <sup>2</sup>  |
| Inagaki 2020<br>[30]    | 150 µL 4,3 log <sub>10</sub> PFU/mL na<br>szalce Petriego φ 60 mm,<br>LOD = ~1,3 log <sub>10</sub> PFU/mL.<br>Napromieniowanie DUV-LED<br>280 ± 5 nm, PG = 3,75<br>mW/cm <sup>2</sup> z odległości 20 mm  | Redukcja poniżej LOD = ~3,2 log <sub>10</sub> PFU/mL dla 75<br>mJ/cm <sup>2</sup>  |
| Smith 2020<br>[26]      | 100 µL roztworu soli<br>fizjologicznej/albuminy<br>„bezpośrednio<br>niefiltrowane” w filtry trzech<br>typów masek N95, mając na<br>celu „osłonięcie” warstwy<br>środkowej filtra. UVC 254<br>nm, dla 630 mJ/cm <sup>2</sup> na<br>stronę (łączna dawka 1260<br>mJ/cm <sup>2</sup> ) | Zastosowana moc promieniowania UV-C nie<br>inaktywowała wirusa. Autorzy skomentowali, że<br>„trudno jest wyobrazić sobie scenariusz, w którym<br>pracownicy służby zdrowia byłiby narażeni na takie<br>inokulum<br>w środkach ochrony osobistej”.  |



|                                   |  |   |
|-----------------------------------|--|---|
| Ozog 2020<br>[31]                 | 10 $\mu\text{L}$ zawiesiny wirusa $\leq 6,0$<br>$\log_{10}$ TCID <sub>50</sub> /mL, LOD = 1,8<br>$\log_{10}$ TCID <sub>50</sub> /mL, UVC 254<br>nm, 4 lampy, PG = 16<br>$\text{mW}/\text{cm}^2$ z odległości 11,5<br>cm, łączna dawka 1500<br>$\text{mJ}/\text{cm}^2$                | Cztery modele filtrów masek N95 w czterech<br>lokalizacjach (część nosowa, wierzchołek, element<br>podbródkowy, pasek mocujący), po trzy próbki z<br>każdej lokalizacji.<br>Część nosowa – większość próbek miała miano<br>wirusa $< \text{LOD}$ , poza 4 próbkami z 2 modeli masek.<br>Paski – wszystkie próbki z dwóch modeli wykazały<br>miano wirusa $< \text{LOD}$ , |
| Ratnesar-<br>Shumate<br>2020 [32] | 5 $\mu\text{L}$ zawiesiny wirusa<br>(sztuczna ślina, FBS) na<br>krążkach ze stali<br>nierdzewnej. Miano wirusa<br>nieokreślone, ale<br>oszacowane na podstawie<br>Wykresu. UVB 280-315 nm,<br>PG = 0,16 $\text{mW}/\text{cm}^2$ ,<br>maksymalna dawka 192<br>$\text{mJ}/\text{cm}^2$ | Sztuczna ślina: redukcja o $\sim 2,5 \log_{10}$ (z $\sim 3$ do 0,5<br>$\log_{10}$ TCID <sub>50</sub> /mL).<br>FBS: redukcja o $\sim 1,1 \log_{10}$ (z $\sim 2,6$ do 1,5 $\log_{10}$<br>TCID <sub>50</sub> /mL).<br>Badanie miało na celu wykazanie inaktywacji SARS-<br>CoV-2 przez światło słoneczne (które nie obejmuje<br>widma w zakresie UV-C).                      |

PG – powierzchniowa gęstość mocy; LOD – próg detekcji; TCID<sub>50</sub> – mediana dawki zakaźnej dla hodowli komórek, odpowiadająca licznosci wirusa, przy którym 50% komórek ulega zakażeniu, PFU – jednostka pomocnicza stosowana w wirusologii do pomiaru liczby cząsteczek wirusa zdolnych do wytworzenia tzw. „łysinek” w hodowli komórek na jednostkę objętości FBS – płodowa surowica cielęca.

W literaturze na dzień przygotowania opracowania dostępnych było kilka (Tabela 2) prac opisujących wpływ promieniowania UV-C na inaktywację wirusa-2 ostrej niewydolności oddechowej. Zespół Heilingloh [29] inaktywował SARS-CoV-2 w płynnym medium (redukcja o  $> 6,7 \log_{10}$ ) przy zastosowaniu powierzchniowej mocy dawki UV-C rzędu 1048  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ . Badania Fisher i wsp. [11], Smith i wsp. [28], i Ozog i wsp. [24] wykazały, że sterylizacja masek N95 promieniowaniem UV-C nie była skuteczna. Raport zespołu Ozog wykazał, że nie wszystkie testowane próbki osiągnęły redukcję  $> 3,8 \log_{10}$  dla dawki UV-C 1500  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ , przy czym najslabszy efekt zaobserwowano dla środków ochrony osobistej. W raporcie grupy Fishera, podczas gdy na stali nierdzewnej zaobserwowano redukcję miana SARS-CoV-2 o  $\geq 4 \log_{10}$  przy użytej dawce UV-C 330  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ , tak dla próbek pobranych z masek N95 traktowanych dawką 1980  $\text{mJ}/\text{cm}^2$  nie udało się zaobserwować redukcji miana wirusa o więcej niż 3  $\log_{10}$  (dane szacowane na podstawie wykresów z publikacji).

## Podsumowanie

Jakkolwiek nie ma wątpliwości, że promieniowanie UVC jest skuteczne w inaktywacji SARS-CoV-2, efektywność zastosowanej dawki (funkcja natężenia promieniowania i czasu) wydaje się być silnie zależna od wielu czynników, takich jak miano wirusa, wielkość i rodzaj inokulum, medium hodowlane wirusa, czy typ materiału, na którym prowadzone są badania [33-35]. Skąpe dane literaturowe na temat wykorzystania promieniowania UV-C w inaktywacji SARAS-CoV-2 są niejednorodne, czasami sprzeczne, a tym samym trudne do interpretacji. Niemniej jednak, dawka wielkości  $1000 \text{ mJ/cm}^2$  pozwala na redukcję miana wirusa o  $\sim 4$  do  $5 \log_{10} \text{ TCID}_{50}/\text{mL}$  przy bezpośredniej ekspozycji na promieniowanie. Sterylizacja przy użyciu promieniowania z zakresu UV-C jest całkowicie bezpieczna, warto jednak podkreślić, że przypadkowe narażenie na promieniowanie ultrafioletowe może być niebezpieczne dla ludzi [36]. W literaturze znajduje się co najmniej jeden przypadek ostrego zapalenia spojówek wywołanego promieniowaniem UV (ślepotą śnieżną) i fototoksycznych zmian naskórka spowodowanych niewłaściwym użytkowaniem urządzenia do dezynfekcji emitującego UV-C w warunkach domowych [37].

Proces sterylizacji powietrza przez produkty oferowane przez firmę UV-C Energy s.c. Jarosław Brussa Iwona Brussa odbywa się poprzez wymuszony obieg powietrza przez komorę dezynfekcyjną, w której znajdują się wysokiej jakości emitery promieniowania UV-C marki Philips o maksimum emisji przy 254 nm, co odpowiada powierzchniowej gęstości mocy  $GP = 0,36 \text{ mW/cm}^2$ , w odległości 1 m od źródła promieniowania. Lampy te charakteryzują się wysoką żywotnością do 9000 godz. ciągłej pracy oraz, co niezmiernie ważne, niską zawartością rtęci. Zastosowana technologia filtrów węglowych w połączeniu z wysokosprawnymi wentylatorami pozwala na uzyskanie wydajności sterylizacji powietrza od 120 do  $2500 \text{ m}^3/\text{godz.}$ , co odpowiada powierzchni pomieszczeń od 25 do  $500 \text{ m}^2$ , przy stosunkowo niedużym poborze mocy i cichej pracy. Ważną zaletą opisywanych urządzeń jest to, że promienniki UV-C są zabudowane we wnętrzu urządzenia, a emitowane promieniowanie nie wydostaje się na zewnątrz, dlatego personel znajdujący się w pomieszczeniu nie jest narażony na szkodliwe skutki bezpośredniej ekspozycji na promieniowania ultrafioletowego. Zamknięta i bezpieczna obudowa zgodna (stopień ochrony IP20 lub IP40) pozwala na zachowanie urządzenia w czystości przy minimalnych wkładzie pracy.

Opierając się na przytoczonych danych literaturowych, stwierdzić należy, iż technologie przepływowej sterylizacji powietrza oferowane przez firmę UV-C Energy s.c. Jarosław Brussa Iwona Brussa, przy zadeklarowanych parametrach pracy, są środkami wystarczającymi do inaktywacji SARS-CoV 2 jak i innych wirusów, i drobnoustrojów chorobotwórczych, charakterystycznych dla naszego klimatu. Opisywane lampy przepływowe mogą być stosowane salach chorych, izbach przyjęć, poczekalniach, laboratoriach, aptekach, placówkach opiekuńczych i edukacyjnych, przemyśle farmaceutycznym,

spożywczo-przetwórczym, kosmetycznym, gastronomii i hotelarstwie jednostkach administracji publicznej jak również w warunkach domowych.

#### Bibliografia

1. V'Kovski P, Kratzel A, Steiner S, Stalder H, Thiel V (2020) Coronavirus biology and replication: implications for SARS-CoV-2. *Nat Rev Microbiol*.
2. (2020) Raport zakażeń koronawirusem (SARS-CoV-2). [www.mz.gov.pl](http://www.mz.gov.pl): Ministerstwo Zdrowia.
3. Li R, Pei S, Chen B, Song Y, Zhang T, et al. (2020) Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). *Science* 368: 489-493.
4. Chen N, Zhou M, Dong X, Qu J, Gong F, et al. (2020) Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *Lancet* 395: 507-513.
5. (2020) Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). [www.who.int](http://www.who.int): World Health Organization.
6. Lai C-C, Shih T-P, Ko W-C, Tang H-J, Hsueh P-R (2020) Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): The epidemic and the challenges. *International Journal of Antimicrobial Agents* 55: 105924.
7. Casini B, Tuvo B, Cristina ML, Spagnolo AM, Totaro M, et al. (2019) Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas. *Int J Environ Res Public Health* 16.
8. Kowalski W (2009) *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*. Berlin, Heidelberg: Springer.
9. Jagger J (1987) Introduction to Research in Ultraviolet Photobiology. *Photochemistry and Photobiology* 7: 413.
10. Budowsky EI, Bresler SE, Friedman EA, Zheleznova NV (1981) Principles of selective inactivation of viral genome. I. UV-induced inactivation of influenza virus. *Arch Virol* 68: 239-247.
11. Cohen J, Normile D (2020) New SARS-like virus in China triggers alarm. *Science* 367: 234-235.
12. Zhou P, Yang X-L, Wang X-G, Hu B, Zhang L, et al. (2020) Discovery of a novel coronavirus associated with the recent pneumonia outbreak in humans and its potential bat origin. *bioRxiv*: 2020.2001.2022.914952.
13. Hui DS, E IA, Madani TA, Ntoumi F, Kock R, et al. (2020) The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health - The latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China. *Int J Infect Dis* 91: 264-266.
14. Pyrc K (2015) The human coronaviruses. *Postępy Nauk Medycznych* 28: 48-54.

15. Wu C, Liu Y, Yang Y, Zhang P, Zhong W, et al. (2020) Analysis of therapeutic targets for SARS-CoV-2 and discovery of potential drugs by computational methods. *Acta Pharm Sin B* 10: 766-788.
16. Shang W, Yang Y, Rao Y, Rao X (2020) The outbreak of SARS-CoV-2 pneumonia calls for viral vaccines. *NPJ Vaccines* 5: 18.
17. Gordon DE, Jang GM, Bouhaddou M, Xu J, Obernier K, et al. (2020) A SARS-CoV-2-Human Protein-Protein Interaction Map Reveals Drug Targets and Potential Drug-Repurposing. *bioRxiv*.
18. Chan KH, Sridhar S, Zhang RR, Chu H, Fung AY, et al. (2020) Factors affecting stability and infectivity of SARS-CoV-2. *J Hosp Infect* 106: 226-231.
19. Chin AWH, Chu JTS, Perera MRA, Hui KPY, Yen HL, et al. (2020) Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe* 1: e10.
20. Behzadinasab S, Chin A, Hosseini M, Poon L, Ducker WA (2020) A Surface Coating that Rapidly Inactivates SARS-CoV-2. *ACS Appl Mater Interfaces* 12: 34723-34727.
21. Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, et al. (2020) Increasing Temperature and Relative Humidity Accelerates Inactivation of SARS-CoV-2 on Surfaces. *mSphere* 5.
22. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1: *N Engl J Med*. 2020 Apr 16;382(16):1564-1567. doi: 10.1056/NEJMc2004973. Epub 2020 Mar 17.
23. Fischer R, Morris D, van Doremalen N, Sarchette S, Matson MJ, et al. (2020) Effectiveness of N95 Respirator Decontamination and Reuse against SARS-CoV-2 Virus. *Emerging Infectious Disease journal* 26: 2253.
24. Kasloff SB, Strong JE, Funk D, Cutts TA (2020) Stability of SARS-CoV-2 on Critical Personal Protective Equipment. *medRxiv*: 2020.2006.2011.20128884.
25. Tsai P (2020) Performance of Masks and Discussion of the Inactivation of SARS-CoV-2. *Engineered Science* 10: 1-7.
26. Smith JS, Hanseler H, Welle J, Rattray R, Campbell M, et al. (2020) Effect of various decontamination procedures on disposable N95 mask integrity and SARS-CoV-2 infectivity. *medRxiv*: 2020.2004.2011.20062331.
27. Ou Q, Pei C, Chan Kim S, Abell E, Pui DYH (2020) Evaluation of decontamination methods for commercial and alternative respirator and mask materials – view from filtration aspect. *Journal of Aerosol Science* 150: 105609.
28. Liao L, Xiao W, Zhao M, Yu X, Wang H, et al. (2020) Can N95 Respirators Be Reused after Disinfection? How Many Times? *ACS Nano* 14: 6348-6356.

29. Heilingloh CS, Aufderhorst UW, Schipper L, Dittmer U, Witzke O, et al. (2020) Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. *Am J Infect Control* 48: 1273-1275.
30. Inagaki H, Saito A, Sugiyama H, Okabayashi T, Fujimoto S (2020) Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with deep-UV LED irradiation. *Emerg Microbes Infect* 9: 1744-1747.
31. Ozog DM, Sexton JZ, Narla S, Pretto-Kernahan CD, Mirabelli C, et al. (2020) The effect of ultraviolet C radiation against different N95 respirators inoculated with SARS-CoV-2. *Int J Infect Dis* 100: 224-229.
32. Ratnesar-Shumate S, Williams G, Green B, Krause M, Holland B, et al. (2020) Simulated Sunlight Rapidly Inactivates SARS-CoV-2 on Surfaces. *J Infect Dis* 222: 214-222.
33. Lindblad M, Tano E, Lindahl C, Huss F (2020) Ultraviolet-C decontamination of a hospital room: Amount of UV light needed. *Burns* 46: 842-849.
34. Lambert RJ (2000) Susceptibility testing: inoculum size dependency of inhibition using the Colworth MIC technique. *J Appl Microbiol* 89: 275-279.
35. Lai MYY, Cheng PKC, Lim WWL (2005) Survival of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus. *Clinical Infectious Diseases* 41: e67-e71.
36. Zaffina S, Camisa V, Lembo M, Vinci MR, Tucci MG, et al. (2012) Accidental exposure to UV radiation produced by germicidal lamp: case report and risk assessment. *Photochem Photobiol* 88: 1001-1004.
37. Leung KCP, Ko TCS (2021) Improper Use of the Germicidal Range Ultraviolet Lamp for Household Disinfection Leading to Phototoxicity in COVID-19 Suspects. *Cornea* 40: 121-122.