

doi:10.15199/48.2021.04.31

Promieniowanie UV-C i promienniki promieniowania UV-C w zastosowaniu bakteriobójczym.

Streszczenie. W artykule przedstawiono zastosowanie promieniowania UV-C do odkażania pomieszczeń, ze szczególnym naciskiem na zwalczanie bakterii COVID-19. Zawarto analizę przydatności promieniowania UV-C do zwalczania bakterii, wirusów i grzybów. Przedstawiono analizę wymagań jakie stawiane jest doborowi wartości energii napromienienia promieniowania UV-C pod względem zwalczania bakterii, wirusów i grzybów. Na podstawie analizy wymagań literaturowych dotyczących niezbędnych dawek napromienienia do dezaktywacji wirusów i danych technicznych dostępnych promienników promieniowania UV-C, przeanalizowano możliwości ich stosowania w celu odkażania pomieszczeń. Przedstawiono zasadę działania i konstrukcje promienników promieniowania UV-C, które służą do dezaktywacji bakterii, wirusów i grzybów. Ze względu na szkodliwe działanie promieniowania UV-C na zdrowie ludzi, przedstawiono główne zasady bezpiecznego stosowania tego typu źródeł promieniowania.

Abstract. The article presents the use of UV-C radiation for disinfecting rooms, with particular emphasis on combating COVID-19 bacteria. An analysis of the suitability of UV-C radiation for combating bacteria, viruses and fungi is included. An analysis of the requirements for the selection of the energy value of UV-C radiation irradiation in terms of combating bacteria, viruses and fungi is presented. Based on the analysis of the literature requirements regarding the necessary doses of irradiation to deactivate viruses and the technical data of the available UV-C radiant heaters, the possibilities of their use for disinfecting rooms were analyzed. The principle of operation and the construction of UV-C radiators used to deactivate bacteria, viruses and fungi are presented. Due to the harmful effect of UV-C radiation on human health, the main principles of safe use of this type of radiation sources are presented. (The use of UV-C radiation for disinfecting rooms, with particular emphasis on combating COVID-19 bacteria)

Słowa kluczowe: Promieniowanie UV-C, promienniki UV-C, odkażanie pomieszczeń promieniowaniem UV-C

Keywords: UV-C radiation, UV-C lamps, disinfection of rooms by UV-C radiation

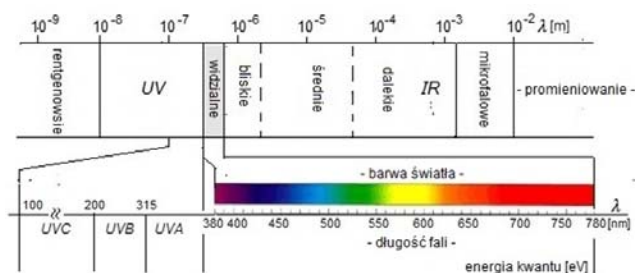
Wstęp

Promieniowanie nadfioletowe, to zakres promieniowania optycznego, który zawiera się w zakresie długości fal od 100 nm do 400 nm. Promieniowanie nadfioletowe leży poza zakresem promieniowania widzialnego (światła) i podzielone jest na trzy zakresy: UV-C: długości fal od 100 nm do 280 nm – daleki nadfiolet, UV-B: długości fal od 280 nm do 315 nm – średni nadfiolet, UV-A: długości fal od 315 nm do 400 nm – bliski nadfiolet.

Promieniowanie z zakresu UV-A (długofalowe) jest mniej szkodliwe dla ludzi niż promieniowanie z pozostałych zakresów, ale uszkadza włókna kolagenowe w skórze, co przyspiesza procesy starzenia. Promieniowanie z zakresu UV-B (średniofalowe) powoduje wytwarzanie witaminy D3, jednak w zbyt dużej dawce może powodować rumień skóry, objawy alergiczne, a także nowotwory złośliwe skóry. Promieniowanie z zakresu UV-C (krótkofalowe) powoduje oparzenia skóry i zapalenie spojówek, u drobnoustrojów prowadzi do uszkodzenia łańcuchów DNA.

Promieniowanie nadfioletowe wykorzystywane jest w wielu dziedzinach medycyny i techniki. W medycynie stosowane jest na przykład w terapii chorób skóry. W technice wykorzystywane jest między innymi do sprawdzania jakości powłok lakierniczych lub wykrywania mikropęknięć w strukturze metalu. Promieniowanie nadfioletowe (zwłaszcza zakres UV-C) ma szerokie zastosowanie w dezynfekcji, wody, powietrza i powierzchni. Na rysunku numer 1, przedstawiony jest przykład zakresów widma promieniowania optycznego z zaznaczonymi głównymi zakresami długości fal promieniowania UV-C.

W 2020 roku wszyscy znaleźliśmy się w nowej rzeczywistości. Ogłoszono globalną pandemię związaną z rozprzestrzenianiem się wirusa COVID-19. Dezynfekcyjne działanie promieniowania nadfioletowego odkryto już w XIX wieku, a na początku XX wieku naukowcy odkryli, że promieniowanie nadfioletowe hamuje rozwój mikroorganizmów. W XX wieku był ono już szeroko stosowane w celach medycznych i do odkażania pomieszczeń.

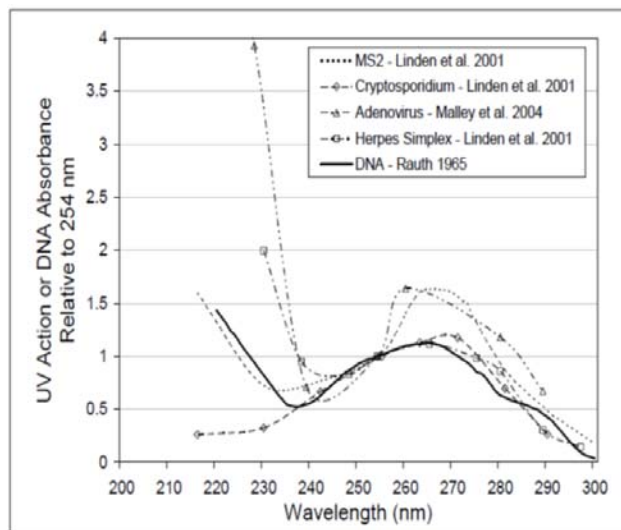


Rys. 1. Zakres promieniowania optycznego

Ponadto maksymalna skuteczność działania promieniowania nadfioletowego na mikroorganizmy leży w tak zwanym widmie bakteriobójczym w zakresie długości fal od 250 nm do 270 nm. Lampy bakteriobójcze UV-C emitują promieniowanie o długości fali 254 nm. Promieniowanie to jest bardzo bliskie maksymalnej skuteczności zwalczania bakterii i wirusów. Bakteriobójcze działanie promieniowania nadfioletowego z zakresu UV-C jest potwierdzone przez wiele różnych ośrodków naukowych [1] [2] [3].

Bakteriobójcze działanie promieniowania UV-C

Promieniowanie nadfioletowe z zakresu UV-C charakteryzuje się wysoką skutecznością zwalczania różnego rodzaju wirusów, bakterii i pleśni. Na rysunku 2 przedstawione jest skuteczność działania promieniowania UV-C w zwalczaniu niektórych typów mikroorganizmów i bakterii w odniesieniu do długości fali o długości 253,7 nm. Promieniowanie to skutecznie neutralizuje działanie bakterii, wirusów i mikroorganizmów oraz ich rozmnażanie poprzez niszczenie wiązań DNA. Promieniowanie UV-C o długości fali 254 nm skutecznie zwalcza COVID-19. Potwierdzone jest to różnymi publikacjami i opracowaniami naukowymi. Promieniowanie UV-C zwalcza skutecznie bakterie COVID-19 znajdujące się na powierzchniach, w wodzie oraz umożliwia skuteczną dezynfekcję powietrza w pomieszczeniach. W wielu publikacjach naukowych podaje się różne wartości energii promieniowania UV-C (tym samym natężenia napromienienia) niezbędnej do zwalczania COVID-19 [1] [2] [3].



Source: Adapted from Rauth (1965), Linden et al. (2001), and Malley et al. (2004)

Rys. 2. Dezynfekujące działanie promieniowania na różne typy mikroorganizmów i bakterii [6].

Różnice w podawanych dawkach promieniowania wynikają między innymi z przyjęcia różnych wartości procentowych zwalczania wirusa COVID-19, na przykład 90,00 % (D90) lub 99,99 % (D99). Dawka napromienienia D obliczana jest na podstawie wzoru nr 1:

$$(1) \quad D = P / S \times t$$

gdzie: P – Moc [W], S – powierzchnia [m²], t – czas [s]

Podatność bakterii, wirusów i grzybów na dezaktywacyjne działanie promieniowania UV-C można opisać stałą K [m²/J]. Dla różnych bakterii, wirusów i grzybów działanie promieniowania UV-C ma różną skuteczność. Dlatego wartość stałej k jest inna dla różnych mikroorganizmów. Znając wartość stałej K dla poszczególnych mikroorganizmów możemy wyznaczyć niezbędną wartość dawki energii napromienienia D [J/m²] do ich dezaktywacji. Wartość dawki D wyznaczamy z zależności 2.

$$(2) \quad D = \ln(N_0/N) / K$$

Gdzie: D – dawka napromienienia [J/m²], N₀ – pierwotne stężenie mikroorganizmów, N – stężenie mikroorganizmów po dezynfekcji, K – stała [m²/J].

W zależności od przyjętej procentowej wartości dezaktywacji mikroorganizmów, wyrażonej ilorazem wartości stężenia mikroorganizmów N₀ i N (N₀/N) można wyznaczyć niezbędną dawkę napromienienia D. Pomimo różnic w podawanych wartościach dawek niezbędnego promieniowania UV-C do dezaktywacji wirusów, można stwierdzić, że prawidłowe zastosowanie promienników UV-C (do odkażania pomieszczeń) o dostępnych mocach rzędu od 15 W do 75 W i mocach promieniowania w zakresie UV-C od 5 W do 25 W, może przynieść pożądane efekty zwalczania wirusa COVID-19. Przykładowe wartości dawki napromienienia UV-C [J/m²] niezbędne do dezaktywacji niektórych bakterii, pleśni i wirusów ze skutecznością 90 % (D90), przedstawione są w tabeli 1. Dane opracowane są na podstawie dostępnych informacji publikowanych w różnych materiałach naukowych [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11].

Wartości dezaktywacji wirusa COVID-19 przedstawione są w tabeli 2 [1].

Tabela 1. Przykładowe wartości dawek promieniowania UV-C zwalczających bakterie, pleśnie i wirusy.

| Bakterie, pleśnie i wirusy | Dawka (D ₉₀) [J/m ²] | K [m ² /J] |
|---------------------------------|--|-----------------------|
| Bakterie | | |
| Acinetobacter baumannii Veg | 18 | 0,1280 |
| Bacillus megatherium Sp | 274 | 0,0084 |
| Corynebacterium diphtheriae Veg | 33 | 0,0701 |
| Escherichia coli Veg | 34 | 0,0672 |
| Legionella bozemanii Veg | 15 | 0,1535 |
| Micrococcus candidus Veg | 61 | 0,0380 |
| Mycobacterium tuberculosis Veg | 11 | 0,2132 |
| Proteus vulgaris Veg | 30 | 0,0767 |
| Salmonella enteritidis Veg | 10 | 0,2210 |
| Salmonella typhi Veg | 21 | 0,1076 |
| Shigella paradysenteriae Veg | 17 | 0,1370 |
| Wirusy | | |
| Coliphage PRD1 | 87 | 0,0265 |
| Poliovirus dsRNA | 44 | 0,0523 |
| Rous Sarcoma virus (RSV) | 200 | 0,0115 |
| Pleśnie | | |
| Aspergillus amstelodami | 258 | 0,0089 |
| Aspergillus flavus | 349 | 0,0066 |
| Penicillium chrysogenum | 148 | 0,0156 |

Tabela 2. Przykładowe wartości dawki promieniowania UV-C zwalczania COVID-19 [1]

| Dawka [J/m ²] | K [m ² /J] |
|---------------------------|-----------------------|
| 237 / 27 | 0,00972 / 0,08528 |
| 16,4 | 0,14040 |
| 40 | 0,05750 |

Lampy UVC T8, promienniki nadfioletu

Typowa konstrukcja lamp bakteriobójczych T8 przedstawiona jest na przykładzie konstrukcji lamp firmy LEDVANCE. Lampy bakteriobójcze oferowane są w stosunkowo dużym zakresie mocy od 15 W do 75 W. Lampy te emitują promieniowanie UV-C o długości fali 253,7 nm. W zakresie, w którym dezaktywacja bakterii i wirusów jest najskuteczniejsza. Lampy wykonane są ze szkła specjalnego, które przepuszcza bakteriobójcze promieniowanie o długości fali 253,7 nm i zatrzymuje promieniowanie o długości fali wynoszącej 185 nm, które powoduje ozonowanie powietrza. Z tego względu lampy te należą do grupy lamp nie wytwarzających ozonu. Jest to istotne ze względu na zastosowanie tego typu promienników przy odkażaniu pomieszczeń. Ozon jest szkodliwy dla zdrowia, jego eliminacja powoduje zwiększenie bezpieczeństwa użytkowania promienników UVC. Przykład konstrukcji promiennika UV-C T8 przedstawiony jest na rysunku 1.



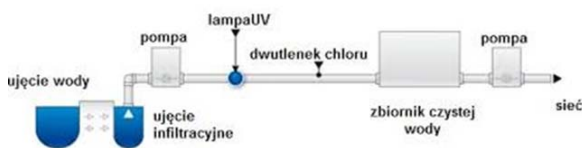
Rys. 1. Przykład konstrukcji promiennika LEDVANCE UV-C T8.

Podstawowe dane techniczne oferowanych przez firmę LEDVANCE lamp przedstawione są w tabeli 3. Dokładne dane techniczne lamp UV-C T8 znajdują się w katalogu internetowym firmy LEDVANCE [12].

Tabela 3. Podstawowe dane techniczne promienników UVC T8

| Typ promiennika | Moc [W] | Moc promieniowania w zakresie UV-C [W] | Trwałość [godziny] |
|-----------------|---------|--|--------------------|
| UVC T8 15 W G13 | 15 | 5,1 | 10800 |
| UVC T8 25 W G13 | 25 | 8,2 | 10800 |
| UVC T8 30 W G13 | 30 | 12,6 | 10800 |
| UVC T8 36 W G13 | 36 | 15,7 | 10800 |
| UVC T8 55 W G13 | 55 | 18,9 | 10800 |
| UVC T8 75 W G13 | 75 | 26,7 | 10800 |

Do głównych obszarów zastosowania promienników UVC T8 można zaliczyć odkażanie pomieszczeń biurowych, przemysłowych i obiektów użyteczności publicznej. Lampy UV-C stosowane są również do odkażania wody i powietrza. Dezynfekcja wody promieniowaniem UV-C polega najczęściej na zastosowaniu promiennika w komorze przelotowej, w której woda poddawana jest ciągłemu napromieniowaniu. Dzięki temu bakterie, wirusy, drożdże i inne drobnoustroje są dezaktywowane w krótkim czasie. Ten sposób dezynfekcji wody stosuje się na przykład w basenach. Przykład instalacji realizującej dezynfekcję wody za pomocą promieniowania UV-C przedstawiony jest na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat zastosowania promieniowania UV-C do odkażania wody

Dezynfekcja powietrza promieniowaniem UV odbywa się wewnątrz urządzeń przepływowych, w których skażone powietrze zasysane jest przez wentylator do wewnętrznej części urządzenia zwanej komorą dezynfekującą. Zwykle dostarczane powietrze poddaje się filtracji w celu zatrzymania zanieczyszczeń. W komorze dezynfekującej powietrze poddawane jest promieniowaniu UV-C. Szybkość przepływu powietrza i moc promieniowania UV-C są tak dobierane, aby wydostające się powietrze z komory dezynfekującej było wolne od bakterii i drobnoustrojów. Zastosowanie urządzeń do dezynfekcji powietrza wymusza dodatkowy przepływ powietrza (poza wentylacją ogólną) w pomieszczeniu. W takim przypadku promieniowanie nadfioletowe nie jest emitowane do wnętrza pomieszczenia. Przykład instalacji realizującej dezynfekcję powietrza za pomocą promieniowania UV-C przedstawiony jest na rysunku 3



Rys. 3. Schemat zastosowania promieniowania UV-C do odkażania powietrza

Oprawy do zastosowania promienników UV-C T8

Promienniki UVC T8 muszą być w odpowiednio przystosowanych oprawach, które zapewniają odpowiednie warunki zasilania promienników. Przykładem ogólnym mogą być oprawy typu LINEAR HOUSING 1xTUBE UVC SENSOR. Konstrukcja oprawy przedstawiona jest na rysunku 4.



Rys. 4. Konstrukcja oprawy LINEAR HOUSING 1xTUBE UVC SENSOR

Oprawa wyposażona jest w statecznik elektroniczny zasilający promiennik oraz czujnik obecności PIR. Czujnik powoduje wyłączenie oprawy po wykryciu obecności osób lub zwierząt w pomieszczeniu. Zapewnia to wysokie bezpieczeństwo stosowania oprawy UVC, ponieważ podczas dezynfekcji pomieszczenia zabronione jest przebywanie osób lub zwierząt ze względu na szkodliwe działanie promieniowania UVC. Oprawa po włączeniu ma 30-sekundowe opóźnienie startu. Zapewnia to dodatkowe bezpieczeństwo, ponieważ osoba obsługująca oprawę ma czas na opuszczenie pomieszczenia po włączeniu oprawy. W oprawie mogą być zastosowane lampy LEDVANCE UVC T8. Oprawy LINEAR HOUSING 1xTUBE UVC SENSOR zapewniają możliwość dezynfekcji dużych powierzchni. Skuteczność dezynfekcji i wielkość powierzchni dezynfekowanej zależy od liczby zastosowanych opraw, wysokości ich montażu i czasu działania. Oprawa nie jest przeznaczona do stosowania w oświetleniu ogólnym. Podstawowe dane techniczne dwóch typów opraw LINEAR HOUSING 1xTUBE UVC SENSOR przedstawione są w tabeli 4.

Tabela 3. Podstawowe dane techniczne opraw Linear Housing

| Typ oprawy | Moc [W] | Trwałość [godziny] |
|--------------------|---------|--------------------|
| LINEAR HOUSING 440 | 18 | 30 000 |
| LINEAR HOUSING 900 | 33 | 30 000 |

Praktyczne zastosowanie opraw UV-C

W celu skutecznej eliminacji wirusów należy odpowiednio dobrać liczbę opraw LINEAR HOUSING 1xTUBE UVC SENSOR do wielkości dezynfekowanego pomieszczenia. Poza przyjęciem odpowiedniej liczby lamp należy również dobrać odpowiedni czas napromieniowania, tak aby do powierzchni dezynfekowanych dotarła odpowiednia dawka promieniowania. Wartość współczynników odbicia promieniowania UV-C dla różnych materiałów są inne niż przyjmowane dla światła. Ze względu na ograniczony dostęp, w obecnym czasie, do danych dotyczących wartości współczynników odbicia promieniowania UV-C dla typowych materiałów stosowanych w pomieszczeniach, oraz z powodu stosunkowo niskich ich wartości przyjęto, że obliczana będzie tylko składowa bezpośrednia promieniowania UV-C docierająca do powierzchni podłogi analizowanego pomieszczenia. W tabeli 4 przedstawione są przykładowe liczby opraw LINEAR HOUSING 1xTUBE UVC SENSOR niezbędne do dezynfekcji powierzchni podłogi w typowych pomieszczeniach o wysokości 3 m o powierzchniach 10 m², 20 m², 30 m², 40 m² i 60 m². Przyjęto czas naświetlania 30 minut. Do obliczeń przyjęto dawkę napromienienia promieniowaniem UV-C o wartości 150 J/m². Wyniki

obliczeń i dane są poglądowe, służą one ogólnej informacji. W przypadku konieczności dobrania dokładnej liczby opraw ich rozmieszczenia w rzeczywistych pomieszczeniach, należy wykonać projekt, który będzie uwzględniał dokładną konfigurację pomieszczenia i rozmieszczenie płaszczyzn przewidzianych do dezynfekcji

Tabela 4. Pomieszczenia o wysokości 3,0 m czas naświetlania 30 minut.

| Powierzchnia pomieszczenia | 10 [m ²] | 20 [m ²] | 30 [m ²] | 40 [m ²] | 60 [m ²] |
|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Liczba opraw, moc 18 W | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| Liczba opraw, moc 33 W | - | 1 | 2 | 2 | 3 |

Wyniki symulacji wskazują pewną analogię dla opraw LINEAR HOUSING 1xTUBE UVC SENSOR o mocach 33W i 18W. Przy czasie naświetlania wynoszącym 30 minut oprawa o mocy 18 W obejmuje swoim działaniem powierzchnię rzędu 10 m² natomiast oprawa o mocy 33 W obejmuje swoim zasięgiem powierzchnię rzędu 20 m². Przy dwukrotnym przedłużeniu czasu działania promieniowania (z 30 minut do 60 minut) powierzchnie objęte bezpośrednim działaniem opraw zwiększają się średnio dwukrotnie. Z wyników symulacji wynika dość oczywista reguła, przedłużenie czasu działania opraw zmienia ich potrzebną liczbę proporcjonalnie do zmiany czasu działania promieniowania. Warto jednak zwrócić uwagę, że są to dane poglądowe, które mogą różnić się przy założeniu rzeczywistych warunków. W celu przeprowadzenia dokładnych obliczeń w warunkach rzeczywistych należy wykonać projekt instalacji opraw UV-C.

Bezpieczne używanie lamp UV-C

Promieniowanie UV-C jest szkodliwe dla organizmów żywych. Promienniki UV-C emitują promieniowanie używane do celów wirusobójczych oraz bakterioobójczych. Promieniowanie to działa sterylizująco, uszkadzając wiązania DNA tych mikroorganizmów. Jego energia jest jednak na tyle wysoka, że może silnie oddziaływać również na ludzi, zwierzęta oraz rośliny. Norma PN-EN 62471: 2010 : Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych, kwalifikuje promienniki UV-C ze względu na zagrożenie fotobiologiczne do grupy ryzyka 3 (wysokie ryzyko). Oznacza to, zgodnie z wymaganiami normy, przekroczenie wartości maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (napromienienia skutecznego aktywnie - dawki), która wynosi 30 J/m² w czasie krótszym od 1000 sekund. Grupa ryzyka 3 (wysokie ryzyko) występuje już przy natężeniu napromienienia wynoszącym 0,03 W/m². W tabelach 5 i 6 przedstawione są dopuszczalne czasy ekspozycji dla człowieka, przy zastosowaniu lamp LINEAR HOUSING 33 W i 18 W (zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 62471). Wartość natężenia napromienienia skutecznego aktywnie oblicza się poprzez iloczyn wartości natężenia napromienienia i względnej skuteczności aktywnie (ze względu na zagrożenia oczu i skóry), której wartość wynosi 0,5 dla długości fali 254 nm. Z danych zawartych w tabelach 5 i 6 wynika, że dopuszczalne czasy ekspozycji na promieniowanie UV-C wytwarzane przez oprawy LINEAR HOUSING 33 W i 18 W, są krótkie i należy zwracać szczególną uwagę na zachowanie wymagań bezpieczeństwa przy ich stosowaniu. Z tego względu zabrania się przebywania osób i zwierząt podczas działania lamp. Promieniowanie stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzi oraz zwierząt. Promieniowanie UV-C jest niewidoczne i nie wywołuje odruchu awersyjnego oka (zamykanie oczu, odwracanie wzroku, unikanie napromienienia), w związku z tym można nieświadomie być poddanym napromienieniu.

Tabela 5. Dopuszczalne czasy ekspozycji dla lampy LINEAR HOUSING 33 W

| Odległość od oprawy [m] | Natężenie napromienienia całkowite (skuteczne bakterioobójczo) [W/m ²] | Natężenie napromienienia skutecznego aktywnie [W/m ²] | Dopuszczalny czas ekspozycji człowieka [s] |
|-------------------------|--|---|--|
| 1 | 1,860 | 0,930 | 32 |
| 2 | 0,465 | 0,233 | 129 |
| 3 | 0,207 | 0,104 | 288 |
| 4 | 0,116 | 0,058 | 517 |

Tabela 6. Dopuszczalne czasy ekspozycji dla lampy LINEAR HOUSING 18 W

| Odległość od oprawy [m] | Natężenie napromienienia całkowite (skuteczne bakterioobójczo) [W/m ²] | Natężenie napromienienia skutecznego aktywnie [W/m ²] | Dopuszczalny czas ekspozycji człowieka [s] |
|-------------------------|--|---|--|
| 1 | 0,753 | 0,37731 | 80 |
| 2 | 0,188 | 0,094 | 319 |
| 3 | 0,084 | 0,042 | 714 |
| 4 | 0,047 | 0,024 | 1250 |

Narażenie na promieniowanie UV-C może spowodować poważne oparzenia skóry, a także może prowadzić do zmian przedrakowych lub raka skóry. Stanowi również bezpośrednie zagrożenie dla oczu (zapalenie spojówek i rogówki). Przedłużona ekspozycja na promieniowanie UV-C może spowodować trwałe uszkodzenie wzroku. Ponadto promieniowanie UV-C może zwiększać stężenie ozonu w zamkniętych pomieszczeniach, a przez to negatywnie wpływać na drogi oddechowe. W przypadku materii nieorganicznej promieniowanie UV-C może przyspieszyć proces starzenia się materiałów, powodując ich kruchość lub odbarwienie.

Wnioski

Promienniki UV-C mogą być stosowane w celu odkażania pomieszczeń. Badania naukowe potwierdzają skuteczność zwalczania bakterii i wirusów w tym również COVID-19 przez promieniowanie UV-C. Możliwe jest projektowanie instalacji z oprawami UV-C, przy zadanych wymaganiach dotyczących wartości dawki promieniowania UV-C. Należy zwrócić szczególną uwagę, że promienniki UV-C są przeznaczone wyłącznie do użytku bakterioobójczego i wirusobójczego, w związku z tym nie mogą być używane do oświetlenia ogólnego. Stosowanie promienników UV-C wymaga przestrzegania odpowiednich środków bezpieczeństwa. Typowe wymagania dotyczące bezpieczeństwa stosowania promienników UV-C obejmują między innymi: stałą ochronę użytkownika za pomocą odpowiedniego sprzętu ochrony osobistej, jak odzież ochronna, rękawice i okulary; aktywne ostrzeżenie i zamykanie pomieszczenia podczas używania promieniowania UV-C; automatyczny system wyłączenia promiennika UV-C w przypadku wejścia do pomieszczenia lub otwarcia urządzenia; unikanie promieniowania szczątkowego przez nieszczelności w oknach lub drzwiach; wentylacja pomieszczenia po użytkowaniu promiennika UV-C w przypadku podwyższonego stężenia ozonu; obserwacja wczesnego starzenia się pobliskich urządzeń.

Instalacja i używanie promienników UV-C powinno zatem być powierzone profesjonalistom, którzy zostali przeszkoleni w zakresie zagrożeń związanych z promieniowaniem UV-C, a także stosowaniem prawnie wymaganych środków bezpieczeństwa w celu odpowiedniej ochrony ludzi, zwierząt, roślin i otoczenia.

Autor: dr inż. Andrzej Wiśniewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: Andrzej.Wisniewski@ien.pw.edu.pl

LITERATURA

- [1] W. J. Kowalski, T.J Walsh, V. Petraitis "2020 COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility";, March 2020, ResearchGate.
- [2] Andrea Bianco, Mara Biasin, Giovanni Pareschi, Adalberto Cavalieri, Claudia Cavatorta, Claudio Fenizia, Paola Galli, Luigi Lessio, Manuela Lualdi, Edoardo Redaelli, Irma Saulle, Daria Trabattoni, Alessio Zanutta, Mario Clerici "UV-C irradiation is highly effective in inactivating and inhibiting SARS-CoV-2 replication"
- [3] International Ultraviolet Association (IUVA) UV disinfection for COVID-19. <http://iuva.org/iuva-covid-19-faq> [21.05.2020
- [4] James E. Cruver, Ph.D., "Spotlight on Ultraviolet Disinfection", Water Technology, June 1984.
- [5] Rudolph Nagy, Research Report BL-R-6-1059-3023-1, Westinghouse Electric Corporation.
- [6] "The Use of Ultraviolet Light for Microbial Control", Ultrapure Water, April 1989.
- [7] William V. Collentro, "Treatment of Water with Ultraviolet Light – Part I", Ultrapure Water, July/August 1986.
- [8] Dr. Rbert W. Legan, "Alternative Disinfection Methods-A Comparison of UV and Ozone", Industrial Water Engineering, Mar/Apr 1982
- [9] Myron Lupal, "UV Offers Reliable Disinfection", Water Conditioning & Purification, November 1993.
- [10] John Treij, "Ultraviolet Technology", Water Conditioning & Purification, December 1995.
- [11] International Ultraviolet Association (IUVA) UV disinfection for COVID-19. <http://iuva.org/iuva-covid-19-faq> [21.05.2020
- [12] LEDVANCE, katalog internetowy www.ledvance.pl