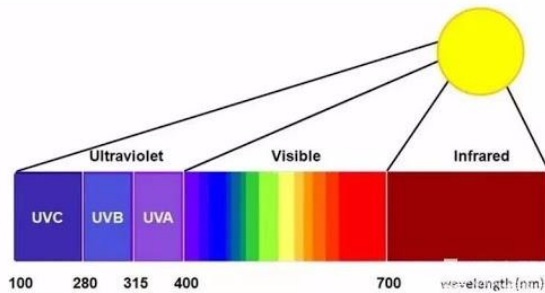


DEZYNFEKCJA POMIESZCZEŃ

WYKORZYSTANIE PROMIENIOWANIA UV-C ORAZ OZONU

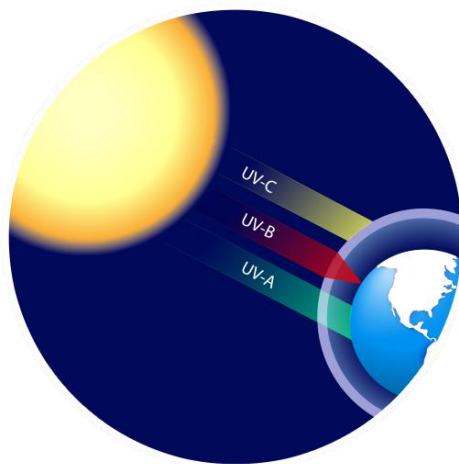
Promieniowanie UV oraz OZON w przyrodzie



W przyrodzie, naturalnym źródłem promieniowania ultra-fioletowego jest Słońce i fakt, że dla ludzi jest to promieniowanie „niewidzialne”, nie oznacza, że jest również obojętne.

Rysunek 1 Widmo słoneczne.

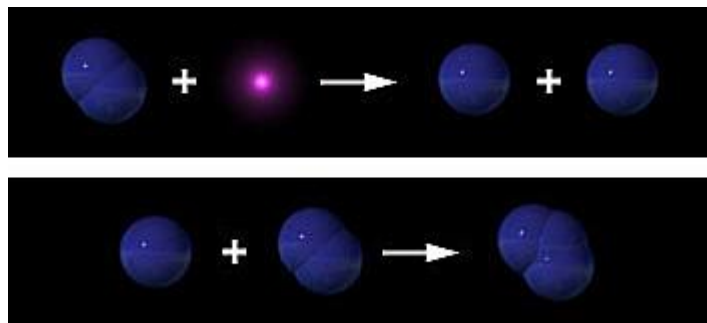
Cały zakres UV podzielony został na 3 zakresy:



Rysunek 2 Ekspozycja Ziemi na promieniowanie UV.

- UV-A – ultrafiolet o *największej* długościach fal: 400 – 315 nm, dociera do powierzchni ziemi i jest odpowiedzialny z efekt opalanej skóry,
- UV-B – ultrafiolet o *średniej* długości fal: 315 – 280 nm, również w dużym stopniu dociera do powierzchni Ziemi, odpowiada za syntezę witaminy D na skórze, w dużej ilości może doprowadzić do poparzeń,
- UV-C – ultrafiolet *krótkofalowy* : 280 – 100 nm, niosący największą energię, jest praktycznie w całości absorbowany w atmosferze ziemskiej, ma właściwości biologicznie- czynne, posiada udowodnione działanie niszczące mikroorganizmy.

Co ciekawe, promieniowanie UV-C jest odpowiedzialne zarówno za powstawanie jak i niszczenie ozonu w atmosferze. To, który proces nastąpi zależy od długości fali. Fale UV-C poniżej 242 nm mają zdolność do generowania ozonu a fale dłuższe powodują jego rozpad. Z drugiej strony, to właśnie dzięki obecności ozonu ilość promieniowania



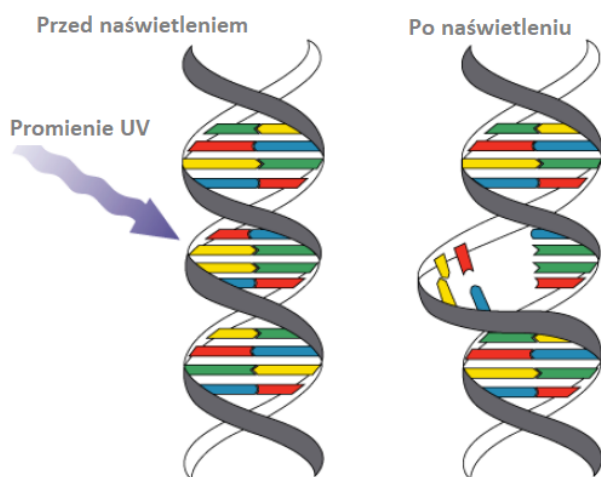
Rysunek 3 Powstawanie ozonu w atmosferze [5]

UV docierająca do ziemi jest ograniczona. Można zatem stwierdzić, że ozon i promieniowanie UV w przyrodzie współistnieją w idealnej harmonii.

Cząsteczki ozonu powstają na wysokościach, do których dociera promieniowanie UV o długości fali < 242 nm, powodujące rozpad cząsteczki tlenu i wyzwalaanie wolnych atomów tlenu [4], które później zderzają się z cząsteczkami tlenu i łączą z nimi tworząc cząsteczki ozonu.

Ozon ten nazywany jest warstwą ozonową, która pochłaniając promieniowanie UV o długości fali < 315 nm chroni życie na Ziemi przed szkodliwym działaniem tego promieniowania. Dzieje się tak, ponieważ energia promieniowania UV z zakresu 240 – 315 nm rozrywa wiązanie między atomami tlenu, rozkładając ozon na cząsteczkę tlenu O_2 i wolny atom tlenu. Skuteczność tej reakcji jest największa dla promieniowania UV 254 nm. Zdolność do niszczenia ozonu przez promienie UV została również potwierdzona w wielu badaniach [16] [17]. W przyrodzie ozon powstaje także podczas wyładowań atmosferycznych, stąd charakterystyczny zapach, który unosi się w powietrzu po burzy. Wyładowanie atmosferyczne rozrywa wiązania między atomami tlenu w cząsteczce, które mogą następnie łączyć się z tlenem cząsteczkowym tworząc ozon – mechanizm jest analogiczny jak w przypadku wytwarzania ozonu przez promienie UV-C.

Dezynfekcja promieniowaniem UV-C



Rysunek 4 Helisa DNA poddana działaniu promieni UV

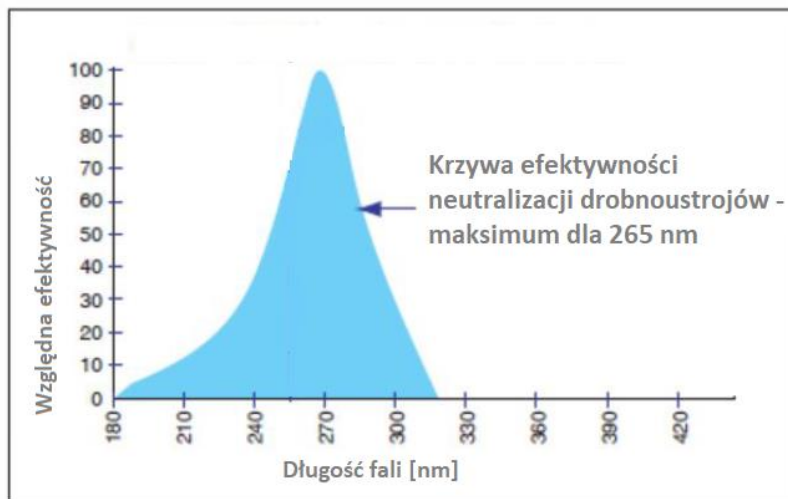
Promieniowanie UV, jako obecne naturalnie w przyrodzie, było i nadal jest obiektem wielu różnych badań naukowych oraz wielu zastosowań. Jednym z nich jest użycie w dezynfekcji, czyli neutralizowaniu drobnoustrojów.

Już w 1878 roku, dwóch naukowców: Arthur Downes i Thomas P. Blunt zauważyli, że mikroorganizmy poddane ekspozycji na światło słoneczne nie reprodukują się [1]. W zasadzie podobne wnioski może wysnuć każdy z nas spoglądając na statystyki zachorowań na grypę i przeziębienia lub choćby

obserwując tego typu infekcje u siebie i swoich najbliższych. Szczyt infekcji przypada w okresie jesienno – zimowym gdy promieni słonecznych jest mniej, a większa wilgotność sprzyja rozwojowi drobnoustrojów w otoczeniu.

W latach 50-tych ubiegłego wieku naukowcy J/ Watson i F. Crick odkryli strukturę DNA, która przybiera formę podwójnej helisy. Był to klucz do zrozumienia bezpośredniej przyczyny niszczenia mikroorganizmów przez promieniowanie UV o długości fali między 250 a 270 nm, które– jak później się okazało jest w tej kwestii najbardziej skuteczne (maksimum efektywności wyznaczono dla fali o długości 265 nm). Mechanizm niszczenia drobnoustrojów opiera się o zjawisko

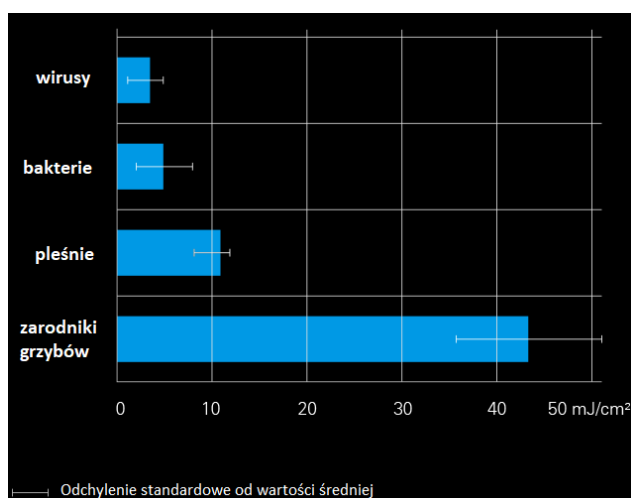
wywoływania przez UV-C reakcji fotochemicznych w tyminie, która jest jednym z czterech nośników informacji zapisanej w DNA. Wywołanie zmian w nośnikach informacji genetycznej powoduje brak możliwości prowadzenia podstawowych procesów biologicznych, w tym replikacji komórek. [1], [36] Analogiczne działanie niszczące promieniowanie



Rysunek 5 Krzywa efektywność neutralizacji mikroorganizmów dla długości fal z zakresu UVC

UV-C wykazuje dla RNA. Komórka, która nie jest w stanie się reprodukować uznawana jest za martwą – w organizmie nosiciela nie będzie mogła się rozmnożyć do poziomu, który wywoła infekcję.

Efektywność dezynfekcji promieniowaniem UV-C jest ściśle zależna od dawki jaka została pochłonięta przez mikroorganizmy w czasie ekspozycji. Dawka pochłonięta, wyrażona jest w J/m^2 i jej wartość zależy od średniego natężenia promieniowania (wyrażonego w W/m^2) oraz czasu ekspozycji. Użycie mniejszego natężenia przez dłuższy czas wywoła porównywalne uszkodzenia w strukturach DNA jak krótkotrwała ekspozycja na duże



Rysunek 6 Średnia dawka promieniowania UVC potrzebna do unieszkodliwienia różnych grup mikroorganizmów. [1]

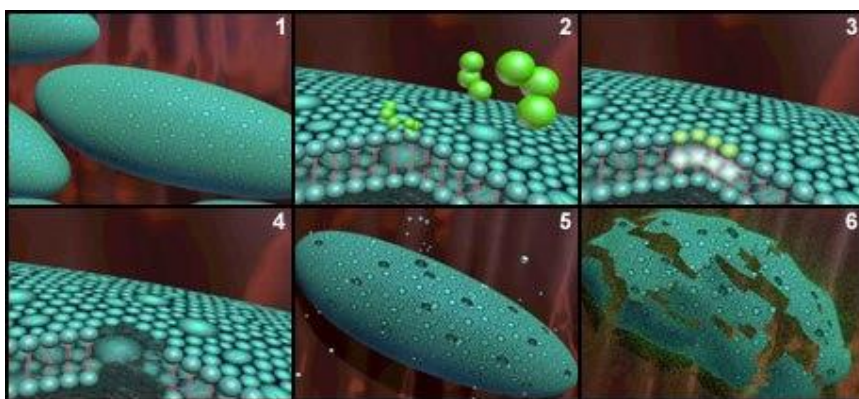
natężenie promieniowania UV-C. Na Rysunku 6 zaprezentowane są średnie wartości dawki promieniowania UV-C potrzebne do zneutralizowania wirusów, bakterii, pleśni oraz zarodników grzybów. Szczegółowe badania nad konkretnymi odmianami, szczepami tych drobnoustrojów pokazują bardzo dużą różnorodność wrażliwości na promieniowanie UV-C. [36] [37] Przykładowe dawki potrzebne do zniszczenia konkretnych mikroorganizmów można zobaczyć w wielu różnych źródłach: [6], [7], [8], [10], [11], [12], [27].

Dezynfekcja z wykorzystaniem ozonu

Ozon, oprócz istotnej właściwości jaką jest absorbowanie wysoko-energetycznego promieniowania UV, dzięki czemu nie dociera ono do powierzchni Ziemi, ma też inną istotną cechę – jest jednym z najsilniejszych znanych utleniaczy występujących naturalnie, z tego powodu jest też nazywany „aktywnym tlenem”.

Niszczące działanie ozonu na mikroorganizmy polega na utlenianiu kwasów tłuszczowych w błonie komórkowej, białek oraz struktur DNA i RNA. Reakcje utleniania są nieodwracalne, w istotny sposób zaburzają procesy biologiczne i prowadzą w konsekwencji do rozpadu komórki. Działanie dezynfekujące rośnie wraz ze stężeniem ozonu oraz czasem ekspozycji. Już stężenie ozonu na poziomie 0,5 ppm utrzymywane przez 2-3 godziny powoduje wyraźną redukcję wielu mikroorganizmów. Zastosowanie wyższych stężeń ozonu pozwala pozbyć się większości mikroorganizmów w krótszym czasie.

1. Obraz komórki żywej
2. Cząsteczki ozonu (zielone) w kontakcie z błoną komórkową
3. Cząsteczki ozonu niszczą błonę komórkową.
4. Ozon wnika przez uszkodzoną błonę do środka komórki.



Rysunek 7 Działanie cząsteczek ozonu na komórki żywe. [13]

5. Komórka ulega niszczeniu na skutek działania wielu molekuł ozonu.
6. Rozpad komórki jako finalny efekt kontaktu z ozonem.

Odkrycie zdolności zabijania drobnoustrojów przez ozon nastąpiło w 1873 roku, na rok 1885 datowana jest pierwsza publikacja dotycząca leczenia za pomocą ozonu, pierwszy generator do przemysłowej produkcji ozonu opatentował w 1896 roku Nikola Tesla, który później sprzedawał ozonowaną oliwę lekarzom do użytku medycznego. [14] Działanie niszczące ozonu na mikroorganizmy zostało również opisane w wielu różnych publikacjach: [18], [28], [23].

Zastosowanie metod dezynfekcji ozonem i promieniowaniem UV-C.

Zdolność do niszczenia mikroorganizmów, którą wykazuje zarówno promieniowanie UV-C (254 nm) jak i ozon spowodowały, że obie metody są szeroko stosowane w dezynfekcji, wszędzie tam gdzie jest ona potrzebna. Dużą zaletą obu metod jest ich stosunkowo mała inwazyjność i wysoka skuteczność. Ozon może wnikać nawet w trudnodostępne miejsca. Również promienie UV-C nie omijają niczego co „spotkają” na swojej drodze. Jest to zdecydowana przewaga nad metodami dezynfekcji opartymi o środki chemiczne, gdzie dotarcie do każdej powierzchni jest trudne i wymaga dużej dokładności osób wykonujących taki proces. Ponadto środki chemiczne, często pozostają w formie lotnej w powietrzu jeszcze

przez jakiś czas, co może prowadzić do podrażnienia układu oddechowego człowieka a częste ekspozycje mogą mieć działanie rakotwórcze. Stosowanie metod dezynfekcji ozonem i promieniami UV-C z zachowaniem środków bezpieczeństwa jest pozbawione ryzyka wystąpienia negatywnych skutków zdrowotnych. Mała inwazyjność – brak konieczności bezpośredniego kontaktu z powierzchnią dezynfekowaną ma ogromne znaczenie w przemyśle spożywczym, gdzie stosowanie metod mechanicznego odkażania (np. przez mycie) mogłoby uszkadzać produkty i pozostawiać na nich szkodliwe dla zdrowia substancje. Z tego powodu, obie metody z powodzeniem są stosowane w przemyśle spożywczym. Promieniowanie UV-C jest stosowane np. do dezynfekcji jaj z bakterii, które bytują na skorupkach bez ryzyka ich uszkodzenia [19] a ozonowana woda jest wykorzystywana do płukania warzyw i owoców, co dodatkowo przedłuża ich trwałość i przydatność do spożycia [14][15][18][23]. Obie metody są również od lat z powodzeniem stosowane w dezynfekcji wody: ścieków, wody w basenach czy wody pitnej.

Zastosowanie ozonu do celów medycznych ma swój początek już w pierwszych latach XX wieku. Początkowo zaczęto go stosować do leczenia ran i zakażeń, a z czasem ozonoterapia nabierała coraz większego znaczenia w leczeniu różnego rodzaju schorzeń. W Polsce pierwsze kliniczne zastosowanie ozonoterapii miało miejsce w 1986 roku. Obecnie ozonoterapia nadal wykorzystywana jest do leczenia ran i innych schorzeń skóry a także do leczenia schorzeń uzębienia i jamy ustnej [13] a także wielu innych.

Ponadto, zarówno promienie UV-C jak i ozonowanie są stosowane do dezynfekcji powietrza oraz przedmiotów, czy samochodów. Do dezynfekcji tych ostatnich szczególnie zalecane jest stosowanie ozonowania, ponieważ w samochodzie występuje wiele trudnodostępnych miejsc, a często przechodzą one przez rąk właścicieli, którzy w różnym stopniu mogli dbać o jego czystość [20]. W dobie pandemii, pojawiło się wiele punktów pozwalających zdezynfekować np. telefony wykorzystując do tego celu promienie UV-C [21], a premier Mateusz Morawiecki ogłosił, że koperty zawierające głosy wyborców w przypadku przeprowadzenia wyborów korespondencyjnych mają być poddane ozonowaniu w celu dezynfekcji. Podsumowując, skuteczność działania i nieinwazyjność obu metod dezynfekcji dają bardzo szerokie spektrum ich zastosowań.

Bezpieczeństwo podczas dezynfekcji

Szkodliwe działanie promieni UV-C oraz ozonu nie jest ograniczone jedynie do mikroorganizmów ale do wszystkich organizmów żywych. Dlatego zachowanie środków bezpieczeństwa w trakcie procesu dezynfekcji - to podstawowy aspekt, o którym należy pamiętać by zapewnić wolne od drobnoustrojów środowisko i jednocześnie nie narazić ludzi lub zwierząt na negatywne skutki zdrowotne.

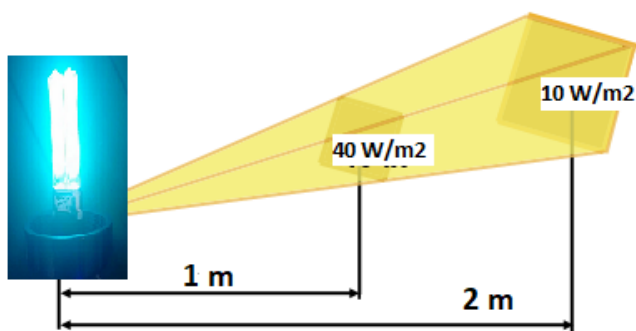
Promieniowanie UV-C ma właściwości rakotwórcze, może powodować poparzenia skóry oraz zapalenie spojówek. Dyrektywa Unii Europejskiej 2006/25/EC [22] określa, że maksymalna bezpieczna dzienna dawka promieniowania o długości fali 254 nm to dla człowieka 60 J/m². Promieniowanie to jest tym bardziej niebezpieczne, że dla ludzkiego oka jest niewidoczne więc osoba poddana ekspozycji może sobie nie zdawać z tego sprawy. A negatywne skutki zdrowotne mogą wystąpić po pewnym czasie od naświetlenia – nie od razu. Z tego powodu w sytuacji, gdy system dezynfekcji UV-C oparty jest o źródła, których promieniowanie

rozprzestrzenia się np. po całym pomieszczeniu – należy zadbać o to by w czasie działania źródeł w pomieszczeniu nie przebywały żadne osoby, zwierzęta a także należałoby wynieść z niego rośliny. Jeśli system dezynfekcji stanowi zamknięty układ, a światło UV-C rozchodzi się jedynie w komorze dezynfekcyjnej – należy zadbać o szczelność tej komory.

Bardziej szkodliwy od promieni UV-C jest ozon, którego długotrwałe wdychanie w dużym stężeniu może doprowadzić do śmierci. Ozon jest sklasyfikowany przez ECHA (European Chemicals Agency) jako substancja toksyczna, zagrażająca życiu oraz jako biocyd – substancja o właściwościach antybakteryjnych i antywirusowych. ECHA wskazuje ozon jako substancję do szerokich zastosowań, m. inn. do dezynfekcji. [24] Również na stronie Centralnego Instytutu Ochrony Pracy (CIOP PIB) można znaleźć informacje o toksyczności ozonu, który może prowadzić do podrażnienia oczu, skóry, układu oddechowego, bólu i zawrotów głowy, a w przypadku cięższych zatruc – zapalenia płuc czy nawet śmierci [25]. Skutek zdrowotny jaki wywoła ozon zależy od stężenia we wdychanym powietrzu oraz czasu ekspozycji. Poważne konsekwencje dla układu oddechowego może spowodować kilku godzinna ekspozycja na stężenie 1-10 ppm [26]. Dlatego tak ważne jest aby przeprowadzenie dezynfekcji z użyciem ozonu odbyło się w ściśle kontrolowanych warunkach – bez obecności jakichkolwiek osób czy zwierząt i z zabezpieczeniem, że nikt do takiego pomieszczenia w trakcie procesu nie wejdzie a także, że ozon nie wydostanie się w sposób niekontrolowany z dezynfekowanego pomieszczenia. Bardzo wskazane jest w tym przypadku zastosowanie czujników i sygnalizacji stężenia ozonu, które po pierwsze – zapewnią, że przez odpowiedni czas utrzymane będzie stężenie ozonu, które zapewni skuteczną dezynfekcję, a po drugie – dostarczą informację, że stężenie ozonu jest już na poziomie całkowicie bezpiecznym dla ludzi (poniżej 0,1 ppm) [26].

Źródła UV-C do zastosowania w dezynfekcji

Jak już zostało wspomniane, promieniowanie UV-C, którego źródłem jest Słońce, dzięki warstwie ozonowej, nie dociera do powierzchni Ziemi. Dezynfekcja tą metodą wymaga zastosowania sztucznych źródeł tego promieniowania. Elektrycznymi źródłami promieni UV-C są świetlówki, lampy rtęciowe, promienniki metalohalogenkowe oraz źródła LED. Dobranie odpowiednich źródeł to bardzo ważny proces projektowania produktu do dezynfekcji promieniami UV-C. Dobór ten powinien być poprzedzony odpowiednimi analizami i obliczeniami. Aby dokonać skutecznej dezynfekcji należy dostarczyć odpowiednią dawkę promieniowania. Dawka ta zależy od czasu naświetlania oraz od natężenia promieniowania. Natężenie promieniowania z kolei maleje z kwadratem odległości od źródła! To oznacza, że dane źródło może zapewnić skuteczną dezynfekcję w odległości np. 1 m w czasie np. 10 min, ale dezynfekcja w odległości 2 m będzie wymagała albo 40 min naświetlania albo użycia źródła UV-C czterokrotnie większej mocy. Jeśli potrzebne jest szybkie zdezynfekowanie



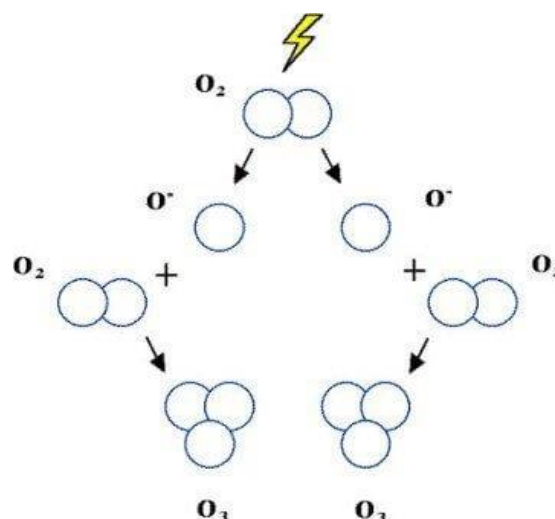
Rysunek 8 Natężenie promieniowania zależy od odległości od źródła

dużego obiektu/ pomieszczenia z dużej odległości – będzie to wymagało użycia promienników dużej mocy. Dlatego bardzo ważne jest świadome dobranie produktu do zastosowania i wykonanie obliczeń dawki promieniowania potwierdzających, że w danych warunkach faktycznie uzyskane zostanie znaczące zmniejszenie drobnoustrojów.

Kolejnym ważnym aspektem jaki należy wziąć pod uwagę jest widmo promieniowania źródła. Jak pokazano na Rysunku 5 – maksimum działania niszczącego dla DNA/RNA przypada na długość fali 254 nm. Zastosowanie źródła o wąskim zakresie promieniowania zapewni zatem najbardziej skuteczny efekt. Ponadto należy zwrócić uwagę aby widmo promieniowania nie zawierało zakresu 200-100 nm gdyż zakres ten może generować powstawanie ozonu z tlenu zawartego w powietrzu (jak zostało to wyżej opisane). Powstawanie ozonu w sposób niekontrolowany może stanowić zagrożenie dla zdrowia i wymagać dodatkowych czynności – przewietrzenia pomieszczenia lub odczekania aż ozon ulegnie samoistnego rozpadowi. Dlatego najlepiej stosować źródła UV-C, które po prostu nie mogą ozonu wygenerować.

Generatory ozonu

Generatory ozonu dostępne na rynku wytwarzają ozon w oparciu o zjawiska, które wytwarzają go w sposób naturalny w przyrodzie. A zatem są to albo generatory ze źródłami UV z zakresu 100 – 200 nm albo generatory oparte o zjawisko wyładowań koronowych, które w istocie symulują wyładowania elektryczne w przyrodzie i wytwarzają ozon podczas wyładowań z tlenu obecnego w powietrzu. Podstawą takiego generatora są elektrody zasilane bardzo wysokim napięciem – rzędu 3 kV. A zatem stosowanie ich wymaga użycia transformatora wysokiego napięcia. Tutaj należy zwrócić uwagę czy urządzenie posiada wszystkie deklaracje zgodności i nie stanowi bezpośredniego zagrożenia porażeniem wysokim napięciem. Ponadto, ze względu na szkodliwość ozonu, wytwarzanie go powinno odbywać się w sposób kontrolowany i stabilny znając dokładną wydajność generatora.



Rysunek 9 Wyładowanie koronowe

Poziom uzyskanego stężenia ozonu w danym pomieszczeniu będzie zależał od kubatury pomieszczenia, wydajności generatora ozonu oraz czasu jego pracy.

Dezynfekcja a lotne związki organiczne

Wykorzystywanie źródeł UV-C a także ozonu w celach dezynfekcji wiąże się niekiedy z obawami o wytwarzanie jako skutek uboczny procesu lotnych związków organicznych (ang. VOC – Volatile Organic Compounds). Obawa ta opiera się o fakt, że zdolność promieni UV i ozonu do niszczenia wiązań między atomami nie sprowadza się jedynie do organizmów żywych ale również do materii nieożywionej – przedmiotów znajdujących się w dezynfekowanym środowisku, które na skutek promieniowania UV mogłyby wydzielać do powierzchni lotne cząstki. Lotne związki organiczne obecne w naszym otoczeniu emitowane

są przede wszystkim przez działalność produkcyjną (ok 50 %), transportową czy podczas wytwarzania i dystrybucji energii [31].

Promieniowanie UV-C ma udowodnione działanie niszczące dla zanieczyszczeń obecnych w powietrzu [30] i wielu producentów produktów do dezynfekcji wykorzystujących promienie UV-C podaje w specyfikacji produktu, że oprócz redukcji ilości drobnoustrojów uzyskana też zostaje redukcja cząstek zanieczyszczeń – VOC.

Również właściwości utleniające ozonu powodują, że zanieczyszczenia obecne w powietrzu ulegają zniszczeniu. Niestety, mogą również powodować uwalnianie się cząstek VOC do powietrza z powierzchni, z którymi ozon ma kontakt [32]. To czy takie cząsteczki faktycznie będą uwalniane i w jakim stopniu zależy przede wszystkim od rodzaju materiałów, tworzyw i substancji, które mają kontakt z ozonem.



Rysunek 10 Głównym źródłem lotnych związków organicznych w środowisku jest przemysł

Ponadto, zaobserwowano powstawanie cząstek formujących się z pozostałości po zniszczonych przez światło UV-C cząstkach VOC. Są to cząsteczki SOA (ang. Secondary Organic Aerosols), które osiągają rozmiary PM_{2,5}. Według badań opublikowanych przez Uniwersytet Waterloo w Kanadzie [33] takie cząsteczki rzeczywiście mogą się formować pod wpływem działania dezynfekującego promieniowania UV-C, jednakże na cele przeprowadzonych i opisanych badań środowisko było wzbogacone w cząsteczki VOC a naukowcy podsumowują, że w „normalnych” warunkach cząsteczki te nie powstają w ilości, która w jakikolwiek sposób mogłaby negatywnie wpływać na zdrowie ludzi.

Urządzenie STERYLIS – skuteczny system dezynfekcji powietrza

Korzystanie ze skutecznych systemów oczyszczania i dezynfekcji powietrza w dobie pojawiających się regularnie na świecie epidemii oraz pandemii jest ważnym działaniem chroniącym zdrowie i życie ludzi. Stosowanie takich systemów jest szczególnie ważne w miejscach publicznych, tam gdzie gromadzą się ludzie: w szpitalach, przestrzeniach handlowych, szkołach, miejscach pracy, kościołach itp. Najnowsze badania, pokazują, że zachowanie dystansu nie jest wystarczającą formą ochrony przed zakażeniem od innych osób. Powstałe w ostatnim czasie symulacje [34] obrazują, że chmura cząsteczek wody z ewentualnymi wirusami czy bakteriami emitowana podczas kichnięcia bądź kasznięcia podczas wizyty w punkcie handlowym może rozprzestrzeniać się nawet na sąsiednie alejki sklepowe i osiadać na produktach w odległości kilku-



Rysunek 11 Urządzenie STERYLIS

kilkunastu metrów. Dlatego skuteczny system dezynfekcji mógłby wspierać ograniczenie rozprzestrzeniania się chorób w miejscach uczęszczanych przez ludzi.

Jednym z takich kompleksowych systemów jest urządzenie STERYLIS. Urządzenie łączy w sobie obie najbardziej skuteczne technologie dezynfekcji: promieniami UV-C oraz ozonowania. Dezynfekcja UV-C odbywa się z użyciem źródeł UV-C z zakresu 254 nm – zakresu długości fal najbardziej skutecznych w walce z drobnoustrojami, jednocześnie źródła nie posiadają składowych poniżej 200 nm, które mogłyby prowadzić do niekontrolowanego powstawania cząsteczek ozonu. Dezynfekcja promieniami UV-C odbywa się wewnątrz urządzenia – powietrze przepływając przez komorę UV zostaje naświetlone dawką promieniowania, która skutecznie niszczy w znaczącym stopniu wiele typów patogenów. Taki tryb dezynfekcji, gdzie światło UV jest odizolowane od otoczenia pozwala na pracę ciągłą urządzenia w obecności ludzi i nieustające unieszkodliwianie zarazków – ma to szczególne znaczenie w miejscach takich jak szpitale, gdzie ryzyko rozprzestrzeniania się chorób jest wysokie a drobnoustroje są tam obecne praktycznie bez przerwy. Ponadto, zastosowanie metody przepływowej, niweluje potencjalne ryzyko uwalniania się lotnych związków z powierzchni naświetlanych – w przypadku gdyby w pomieszczeniu znajdowały się obiekty podatne na uwalnianie cząstek pod wpływem promieniowania. Ryzyko takie byłoby większe w przypadku stosowania otwartych źródeł UV-C, gdzie promieniowanie miałoby kontakt z powierzchniami i przedmiotami w pomieszczeniu. Przewaga metody przepływowej polega również na tym, że nie wymaga opuszczania pomieszczeń przez osoby normalnie w nim przebywające, pracujące.

System ozonowania można stosować okresowo, bez obecności ludzi i zwierząt, jako bardziej agresywny sposób dezynfekcji, pozwalający na neutralizację mikroorganizmów nawet z trudno dostępnych miejsc. Dzięki systemowi kontroli, w którego skład wchodzi czujnik ozonu można mieć pewność, że stężenie ozonu i czas utrzymania tego stężenia w danym pomieszczeniu zapewni skuteczną dezynfekcję. Po zakończeniu procesu, system

sygnalizuje osiągnięcie bezpiecznego stężenia ozonu i możliwość powrotu ludzi do pomieszczenia. Ponowne uruchomienie systemu dezynfekcji ciągłej UV-C spowoduje szybszy rozpad ozonu. Jak zostało opisane na początku, promieniowanie o długości fali 254 nm leży w zakresie, który powoduje rozkład cząsteczek ozonu. Dodatkowo, UV-C zniszczy lotne związki organiczne, gdyby powstały w pomieszczeniu przez kontakt z obiektami podatnymi na ich emisję. Filtry powietrza wykorzystane na wyjściu komory dezynfekcji, przez którą przepływa powietrze dodatkowo oczyszczają je z zanieczyszczeń normalnie występujących w powietrzu (związanych z emisją przez przemysł czy transport), a także ewentualnie powstałych w procesie dezynfekcji (głównie ozonem) – takich jak SOA.

Opracowała:
Anna Jurczyk

Bibliografia:

- [1] www.sterilair.com/en/competence.html
- [2] powietrze.gios.gov.pl
- [3] klimat.czn.uj.edu.pl/enid/2_Dziura_ozonowa/-_powstawanie_ozonu_3ql.html
- [4] "Ozon w stratosferze i troposferze"; A. Dziewulska-Łosiowa, R. Hryniewicz; KOSMOS 1993, 42(1): str 79-94
- [5] www.nasa.gov
- [6] Dawki UV pochodzące z publikacji „Disinfection by UV-radiation” firmy PHILIPS
- [7] "UVC LED Irradiation Effectively Inactivates Aerosolized Viruses, Bacteria, and Fungi in a Chamber-Type Air Disinfection System"; Do-Kyun Kim, Dong-Hyun Kang; August 2018; American Society for Microbiology Journals
- [8] "2020 COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility"; W. J. Kowalski, T.J Walsh, V. Petraitis, March 2020, ResearchGate
- [10] www.clordisys.com/pdfs/misc/UV%20Data%20Sheet.pdf
- [11] www.boviemedical.com/wp-content/uploads/2018/04/uv24-lab-results-kowalski-wp-aerobiology.pdf
- [12] www.aquaseen.pl/mechanizm-dezynfekcji-promieniami-uv.html
- [13] "OXYGEN/OZONE THERAPY IN DENTISTRY"; P. Mollica, March 2015, Health & Medicine
- [14] "Ozonoterapia oraz zastosowanie ozonu w dezynfekcji"; D. Białoszewski, E. Bocian, S. Tyski, maj 2020, POST. MIKROBIOL. 2012, 51, 3, 177-184
- [15] "Use of ozone in the food industry"; Zeynep B. Guzel-Seydim, Annel K. Greene, A.C. Seydim, LWT - Food Science and Technology, Volume 37, Issue 4, June 2004, Pages 453-460
- [16] "Ozonation and UV irradiation - an introduction and examples of current applications"; Steven T. Summerfelt, Aquacultural Engineering, Volume 28, Issues 1-2, June 2003, Pages 21-36
- [17] "Dissolved ozone destruction using ultraviolet irradiation in a recirculating salmonid culture system"; Steven T. Summerfelt, Mark J. Sharrer, Jennifer Hollis, Lauren E. Gleason, Scott R. Summerfelt, Aquacultural Engineering, Volume 32, Issue 1, December 2004, Pages 209-223
- [18] ozonetech.com/air-treatment/air-disinfection
- [19] "Efektywność działania promieniowania UVC w urządzeniach do eliminacji skażeń bakteriologicznych z powierzchni skorup jaj", J. Sobczak, P. Marek, A. Chmielowski, A. Rakowski, Problemy Inżynierii Rolniczej nr 1/2011

- [20] warsztat.pl/dzial/18-warto-wiedziec/artykuly/prof-dr-hab-stanislaw-ignatowicz-ozonowanie-to-dzi,70843
- [21] eu.community.samsung.com/
- [22] [DIRECTIVE 2006/25/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 April 2006, Official Journal of the European Union](#)
- [23] ["Zastosowanie ozonu w przemyśle spożywczym"; K. Krosowiak, K. Śmigielski, P. Dziugan, Przemysł Spożywczy 11/2017](#)
- [24] echa.europa.eu
- [25] www.ciop.pl/
- [26] www.ozonizer.pl/centrum-wiedzy/ozonatory/zasady-bezpieczenstwa/
- [27] ["Fluence \(UV Dose\) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae"; Adel Haji Malayeri, Madjid Mohseni, Bill Cairns, James R. Bolton, Gabriel Chevrefils, Eric Caron, 2006](#)
- [28] ["Ozone Disinfection of SARS-Contaminated Areas"; Kenneth K. K. LAM](#)
- [29] ["Ozonation and UV Disinfection"; Steven Summerfelt & Brian Vinci; Freshwater Institute, Shepherdstown, WV](#)
- [30] ["The Study of an Ultraviolet Radiation Technique for Removal of the Indoor Air Volatile Organic Compounds and Bioaerosol"; Chao-Yun Liu, Chao-Heng Tseng, Huang-Chin Wang, Chuan-Fa Dai, Yi-Hsuan Shih; Int J Environ Res Public Health, 2009 Jul; 16\(14\): 2557](#)
- [31] www.ozonetech.com/air-treatment/voc-removal
- [32] ["Ozone-initiated VOC and particle emissions from a cleaning agent and an air freshener: Risk assessment of acute airway effects"; A.W. Norgaan, J.D. Kudal, V.Kofoed-Sorensen, I.K. Koponen, P. Wolkoff; Environment International Volume 68, July 2014, Pages 209-218](#)
- [33] ["Formation of Secondary Organic Aerosols by Germicidal Ultraviolet Light"; E. Choi, Zhongchao Tan, William A. Anderson, January 2019, Environments 2019, 6\(2\), 17](#)
- [34] portal.abczdrowie.pl/koronawirus-w-supermarkecie-ile-wirusy-utrzymuja-sie-w-powietrzu-pokaszlnieciu
- [35] ["Evaluation of an Ultraviolet C \(UVC\) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas"; B. Casini, B. Tuvo, M. L. Cristina, A. M. Spagnolo, M.Totaro, A. Baggiani, G.P. Privitera, Int J Environ Res Public Health. 2009 Oct; 16\(19\): 3572](#)
- [36] ["Molecular Mechanisms of Ultraviolet Radiation-Induced DNA Damage and Repair"; R. P. Rastogi, Richa, A. Kumar, M.B. Tyagi, R.P. Sinha; Journal of Nucleic Acids, Volume 2010](#)
- [37] ["UVC photon-induced denaturing of DNA: A possible dissipative route to Archean enzyme-less replication"; Karo Michaelian, Norberto Santillan Padilla; Heliyon, Volume 5, Issue 6, June 2019, e019025](#)