

doi:10.15199/48.2020.02.29

Porównanie systemów tekstronicznych ograniczających rozwój bakterii

Streszczenie. Postęp technologiczny i miniaturyzacja elektroniki pozwalają na opracowanie nowych materiałów tekstronicznych, które można zastosować w codziennym użytku. Zastosowanie diod emitujących promieniowanie ultrafioletowe umożliwi przeprowadzenie sterylizacji w domu i pomieszczeniach szpitalnych. Zachowanie sterylnej czystości ma szczególne znaczenie w placówkach medycznych i gabinetach zabiegowych. Badania wskazują, że największy efekt bakteriobójczy występuje przy długości fali promieniowania od 250 do 270 nm. Zastosowanie systemu generującego promieniowanie ultrafioletowe w materiale tworzącym pokrycie materaca pozwoliłoby na znaczną redukcję mikroorganizmów w bezpośrednim sąsiedztwie pacjenta.

Abstract. Technological progress and the miniaturization of electronics allow one to develop new textronic materials that can be applied in everyday use. The use of ultraviolet-emitting diodes makes it possible to carry out sterilization at home and in hospital rooms. The preservation of sterile cleanliness is of particular importance in medical facilities and treatment rooms. Studies indicate that the greatest bactericidal effect occurs at radiation wavelengths from 250 to 270 nm. The use of a system that generates ultraviolet radiation in the fabric constituting of the mattress cover, would allow one for a significant reduction of microorganisms in the immediate vicinity of the patient (**Comparison of textronic systems limiting bacterial growth**).

Słowa kluczowe: promieniowanie ultrafioletowe, tekstronika, sterylizacja, dzianina dystansowa

Keywords: ultras-violet radiation, textronics, sterilization, warp-knitted spacer fabric

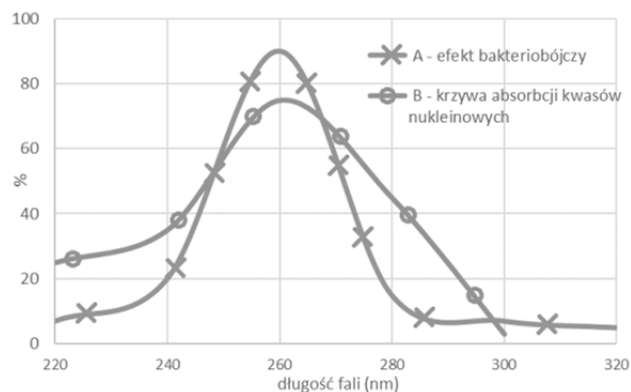
Wstęp

Występowanie w środowisku różnego typu bakterii i innych drobnoustrojów może przyczynić się do rozprzestrzeniania groźnych dla zdrowia chorób. Najczęściej, aby uniknąć takich sytuacji, dezynfekuje się całe pomieszczenia lub pojedyncze elementy wyposażenia. Obecnie istnieje szereg stosowanych metod sterylizacji, od prostego odkażenia, po sterylizację plazmową [1-3]. Wśród dostępnych opcji jedną z najskuteczniejszych metod sterylizacji jest wykorzystanie promieniowania ultrafioletowego [4]. Lampy emitujące promieniowanie UV-C są wykorzystywane w gabinetach medycznych już od wielu lat. Promieniowanie ultrafioletowe o długości fali 250-270 nm posiada najbardziej efektywne działanie bakteriobójcze (rys.1). Sterylizacja tą metodą wymaga odpowiednio dobranej dawki promieniowania. Za niskie dawki oraz za krótki czas ekspozycji na promieniowanie wywołać odmienny skutek.

Każdy organizm żywy ma swój kod genetyczny zapisany w kwasie dezoksyrybonukleinowym (DNA). Promieniowanie UV powoduje natychmiastową reakcję fotochemiczną, podczas której ulega zniszczeniu zapis genetyczny i tym samym zostaje zahamowany proces podziału komórek oraz inne funkcje metaboliczne. Fale UV-C powodują uszkodzenia kodu DNA komórek. W rezultacie mikroorganizmy tracą zdolność reprodukcji i przestają stanowić zagrożenie dla człowieka [5].

Promieniowanie ultrafioletowe skutecznie niszczy bakterie, wirusy i pierwotniaki patogenne. Najbardziej podatna na działanie UV jest cytozyna, tymina i uracyl, obecne w DNA lub RNA zasady pirymidynowe. UV jest czynnikiem mutagennym - dezaktywuje mikroorganizmy doprowadzając do uszkodzenia kwasów nukleinowych. Duża ilość energii, dostarczanej wraz z krótką falą promieniowania, jest pochłaniana przez RNA i DNA komórek. Tam zachodzi dimeryzacja tyminy, a także dimeryzacja i hydratacja cytozyny. Znajdujące się obok siebie w łańcuchu polinukleotydowym cytozyny i tyminy reagują ze sobą. W rezultacie tworzą się cyklobutanowe dimery pirymidynowe (uszkodzenia DNA). Tymina po dimeryzacji nie jest w stanie tworzyć mostków wodorowych - zaburza to proces replikacji i organizmy tracą zdolność rozmnażania się [6]. Najbardziej podatne na działanie promieniowania UV są bakterie i wirusy, nieco mniej

drożdże, a najmniej pleśnie. Formy przetrwalnikowe są bardziej odporne od form wegetatywnych.



Rys.1. Efektywność promieniowania UV-C

Autorzy proponują połączenie właściwości odkażających promieniowania UV-C oraz nowoczesnych dzianin tekstylnych.

Rozwój tekstroniki następuje bardzo szybko. Jest odpowiedzią na zapotrzebowanie coraz bardziej wymagającego społeczeństwa na produkty o zwiększonej funkcjonalności.



Rys.2. Interdyscyplinarność tekstroniki

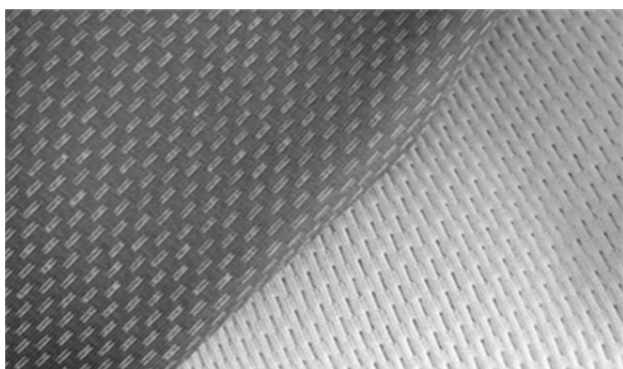
Również w Polsce rynek inteligentnych tekstyliów rozwija się bardzo dynamicznie. Interdyscyplinarność zagadnień związanych z tekstroniką (rys.2) powoduje wzmożone zainteresowanie nowymi możliwościami aplikacji

materiałów tekstylnych w rozmaitych gałęziach przemysłu [7].

Materiały tekstroniczne znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach działalności człowieka, m.in. w odzieży inteligentnej, przemyśle motoryzacyjnym, elektronice, Internecie Rzeczy oraz medycynie [8-10]. Zastosowanie tekstroniki w tematyce okołomedycznej stwarza możliwość wprowadzenia innowacyjnych rozwiązań podnoszących komfort i bezpieczeństwo użytkownika. Jedną z koncepcji jest możliwość sterylizacji lub redukcji mikrobiologicznej w wyrobach tekstylnych.

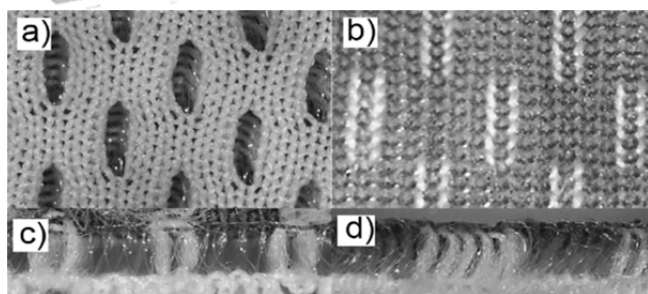
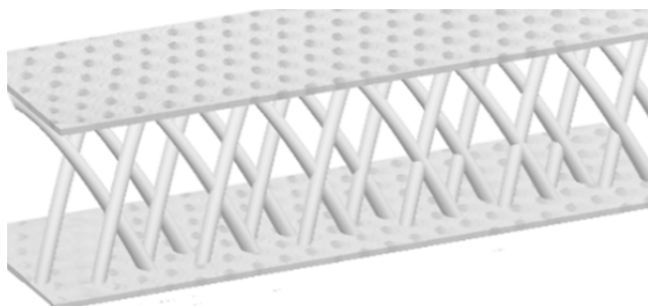
Materiał badawczy

Przedmiotem badań były systemy tekstroniczne służące redukcji mikrobiologicznej. Przetestowano dwa typy układów bazujących na antybakteryjnym działaniu promieniowania UV-C. Oba systemy zbudowane zostały na podstawie dzianiny dystansowej (rys.3). Działina dystansowa składa się z dwóch warstw zewnętrznych. Są one połączone ze sobą wewnętrzną warstwą monofilamentów dystansowych (rys.4).



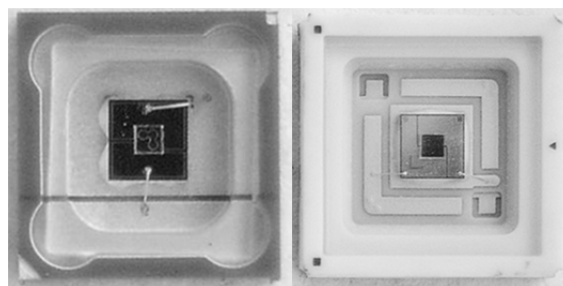
Rys.3. Przykład dzianiny dystansowej

Monofilamenty tworzą specjalną strukturę 3D oraz dają przestrzeń na umieszczenie czujników lub innych urządzeń elektronicznych [11]. Poprzez wykorzystanie dzianin dystansowych możliwa jest integracja odpowiedniego systemu do sterylizacji z materiałami tekstylnymi.



Rys.4. Działina dystansowa- Model 3D, a) warstwa wierzchnia b) spód c) przekrój poprzeczny d) przekrój wzdłuż

W obu systemach wykorzystane zostały diody LED (rys.5), z UV-C w zakresie 265-275 nm (parametry diod umieszczono w tabeli 1). Diody różnią się rozmiarem obudowy oraz mocą.

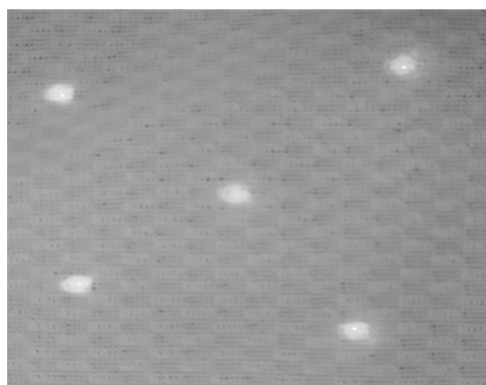


Rys.5. Diody LED, wygląd rzeczywisty. a) Typ 1, b) Typ 2.

Tabela 1. Parametry diod

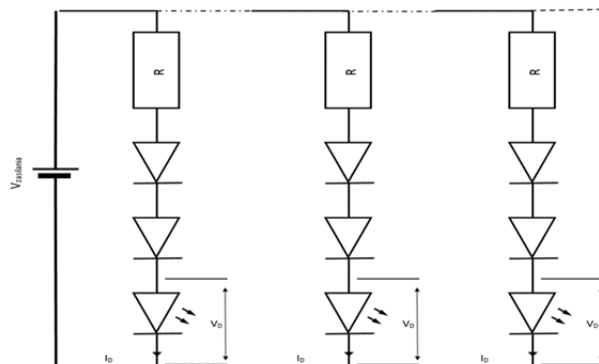
	Typ 1	Typ 2
Zakres promieniowania	278 nm	278 nm
Moc	2.5 mW/20 mA	10 mW/100 mA
Napięcie zaś.	7-7.1 V	7-7.3 V
Wymiary	3.5 × 3.5 × 1.4mm	6 × 6 × 1.35 mm

Pierwszy proponowany system (System A – diody typ 1) (rys.6), składa się z układu połączonych diod bezpośrednio umieszczonych w dzianinie dystansowej. Diody zostały rozmieszczone równomiernie z zagęszczeniem 5 diod na 100 cm². Diody oraz ich układ połączeń z obwodem zasilającym umieszczono w warstwie wewnętrznej dzianiny.



Rys.6. System z układem diod - działanie systemu przy zastosowaniu światła widzialnego

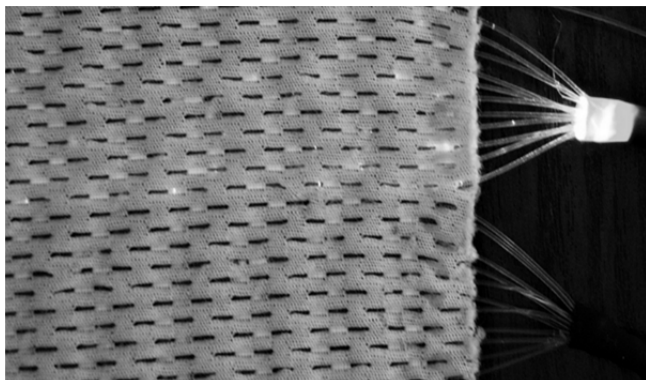
Diody typu 1 zgrupowano w moduły po 3 sztuki (rys.7) i zasilono z zasilacza 24VDC. Taki układ pozwala na zasilenie 75 diod LED, zgrupowanych w 25 modułach. Na potrzeby dalszego rozwoju systemu, możliwe jest skalowanie układu zasilania poprzez dodanie kolejnych niezależnych obwodów.



Rys.7. Schemat ideowy podłączenia diod UV-C. Gdzie I_D – prąd diody, V_D – napięcie diody, R – rezystancja.

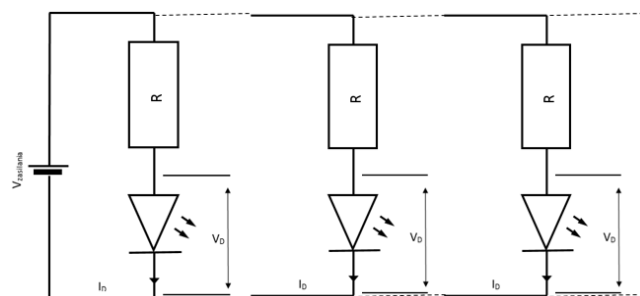
Prezentowany układ zasilania 24 VDC pozwala na pracę całego systemu w przypadku uszkodzenia jednego z modułów 3 diod bez wpływu na pozostałe źródła promieniowania UV-C. Dodatkowo w tym przypadku możliwe jest zastosowanie przewodów zasilających o klasyfikacji AWG do 38 i przekroju $0,00811 \text{ mm}^2$.

Drugi system (System B – diody typ 2) (rys.8), opisany szerzej w [12], składa się z generatora promieniowania UV-C, którego źródło stanowi dioda oraz zbioru światłowodów oświetleniowych, które zostały, dzięki właściwościom dzianiny dystansowej, wplecione w strukturę materiału. W układzie użyto światłowodów POF (Plastic Optical Fiber) wykonanych z polimetakrylanu metylu (PMMA) o średnicy $0,75 \text{ mm}$ świejących bokiem z mikrookienkami.



Rys.8. System ze światłowodami - działanie systemu przy zastosowaniu światła widzialnego w zakresie UV.

W tym przypadku każdą z diod podłączono niezależnie do zasilania 12 VDC (rys.9).



Rys. 9. Schemat ideowy podłączenia diod UV-C. Gdzie I_D – prąd diody, V_D – napięcie diody, R – rezystancja.

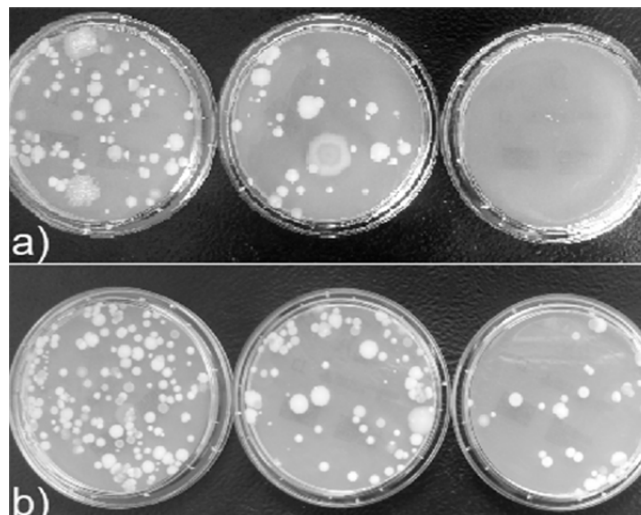
Prezentowany układ zasilania 12 VDC pozwala na pracę całego systemu w przypadku uszkodzenia jednej z diod bez wpływu na pozostałe źródła promieniowania UV-C. Dodatkowo w tym przypadku możliwe jest zastosowanie przewodów zasilających o klasyfikacji AWG do 31 i przekroju $0,0401 \text{ mm}^2$.

Badania skuteczność redukcji mikrobiologicznej

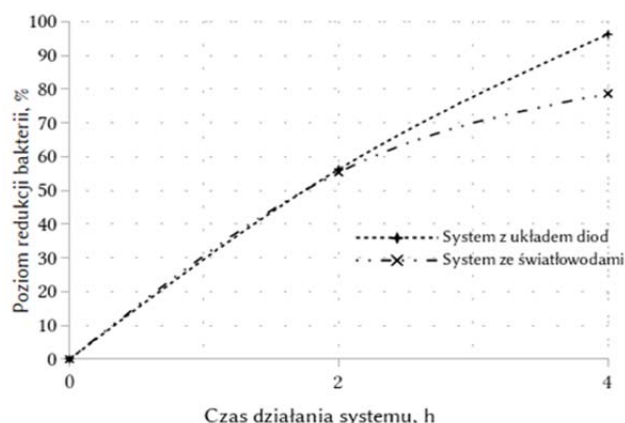
Badania zostały przeprowadzone w celu sprawdzenia poziomu redukcji mikrobiologicznej. W badaniach zastosowano metodę kontroli czystości powierzchni za pomocą płytek kontaktowych *Agar Count-Tact*. Pobrano próbkę kontrolną, a następnie pobrano próbki po upływie kolejno dwóch i czterech godzin (rys.10). Dla zapewnienia odtwarzalności pobierania próbek, płytki każdorazowo zostały przyłożone do dzianiny z naciskiem 500g przez 10 sekund.

Procentowy poziom zmniejszenia liczby kolonii drobnoustrojów na powierzchni badanej dzianiny po upływie 2 godzin działania poszczególnych systemów, był zbliżony

dla obu systemów i wynosił około 50% (rys.11). Jednak efektywność działania Systemu A po upływie 4 godzin była znacznie wyższa niż Systemu B i osiągnęła ponad 95% redukcji mikrobiologicznej w stosunku do próbki kontrolnej przy równoczesnym poziomie niespełna 80% dla Systemu B. Analizując wyniki pod kątem efektywności działania systemów, przeliczono, że lepszą skuteczność redukcji mikrobiologicznej uzyskano dla Systemu A.



Rys.10. Porównanie hodowli bakterii na powierzchni płytek kontaktowych a) Systemu A oraz b) Systemu B kolejno dla próbki kontrolnej, po upływie dwóch i czterech godzin



Rys. 11. Poziom redukcji mikrobiologicznej

Porównując oba systemy warto rozważyć również aspekt ekonomiczny. System A w porównaniu do Systemu B wymaga użycia znacznie większej liczby diod, które stanowią najdroższe elementy obu systemów. W przeliczeniu na 10cm^2 szacunkowy koszt Systemu A jest czterokrotnie wyższy niż Systemu B.

Po przeprowadzeniu badań dodatkowo zwrócono uwagę na przebarwienia dzianiny w obszarach umiejscowienia diod w przypadku Systemu A. Może to świadczyć o procesach degradacji materiału (100% poliester), z którego wykonana jest dzianina dystansowa. Degradacja polimerów prowadzi do istotnych zmian ich własności fizycznych i chemicznych, w tym do wzrostu kruchości. Nie zaobserwowano podobnych szkod w przypadku narażenia dzianiny na działanie Systemu B. Może być to związane z brakiem punktowego oddziaływania promieniowania UV-C w Systemie B.

Podsumowanie

Oba proponowane systemy spełniły stawiany im podstawowy wymóg dotyczący zapewnienia zmniejszenia liczby drobnoustrojów na powierzchni dzianiny. Wybór odpowiedniego źródła promieniowania UV-C, liczby diod i rodzaju światłowodów, ich właściwe umiejscowienie, czas ekspozycji na promieniowanie UV zapewniły prawidłowe działanie proponowanych systemów.

Testy wykazały, że przy zastosowaniu systemów do celów aplikacji, czas ekspozycji wynoszący 2 godziny jest wystarczający, aby znacznie zmniejszyć liczbę aktywnych bakterii na powierzchni dzianiny.

Praca ta stanowi punkt wyjścia do zaprojektowania tektonicznych instalacji UV-C mających na celu redukcję drobnoustrojów na powierzchni przedmiotów codziennego użytku pokrytych warstwami tekstylnymi.

Autorzy: dr inż. Ewa Łada-Tondyrya, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: e.lada-tondyra@el.pcz.czyst.pl; dr inż. Adam Jakubas, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: jakubasa@el.pcz.czyst.pl;

LITERATURA

- [1] Unango, F. J., Ramasamy, K. M., A review on the investigation of biologically active natural compounds on cotton fabrics as an antibacterial textile finishing. *International Research Journal of Science and Technology*, 1 (2019), nr.1, 49-55.
- [2] Budama, L., Çakır, B. A., Topel, Ö., Hoda, N., A new strategy for producing antibacterial textile surfaces using silver nanoparticles. *Chemical engineering journal*, 228 (2013), 489-495.
- [3] Raza, Z. A., Rehman, A., Mohsin, M., Bajwa, S. Z., Anwar, F., Naeem, A., Ahmad, N., Development of antibacterial cellulosic fabric via clean impregnation of silver nanoparticles. *Journal of Cleaner Production*, 101 (2015), 377-386
- [4] Kujundzic E, Matakah F, Howard CJ, Hernandez M, Miller SL. UV air cleaners and upper-room air ultraviolet germicidal irradiation for controlling airborne bacteria and fungal spores; *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 3 (2016), nr.10, 536-46.
- [5] Strus M., Mechanizmy działania czynników fizycznych na drobnoustroje. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 3 (1997), nr. 48, 263-268.
- [6] Ferenc, T., Pacholczyk, M., Czernicki, J., Wpływ słonecznego promieniowania ultrafioletowego (UV) na organizm człowieka. Część II: Mutagenne działanie promieniowania UV i naprawa uszkodzeń DNA* The effect of solar ultraviolet radiation (UVR) on a human organism. Part II: UVR mutagenic activity and repair of DNA lesions, 2014.
- [7] Gniotek K, Frydrych I., Systemy tektoniczne w mechatronice [w:] Wiak S. (red.), *Mechatronika*, tom 2, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Łódź 2010.
- [8] Jakubas, A., Łada-Tondyrya, E., A study on application of the ribbing stitch as sensor of respiratory rhythm in smart clothing designed for infants. *The Journal of the Textile Institute*, 109 (2018), nr. 9, 1208-1216.
- [9] Łada-Tondyrya, E., Jakubas, A., Nowoczesne zastosowania systemów tektonicznych. *Przegląd Elektrotechniczny*, 94 (2018), nr. 12, 198-201
- [10] Korzeniewska E., Walczak M., Rymaszewski J., Elements of elastic electronics created on textile substrate, *MIXDES-24th International Conference*, IEEE (2017), 447-450,
- [11] Martinez-Estrada, M., Moradi, B., Fernández-Garcia, R., Gil, I., Impact of manufacturing variability and washing on embroidery textile sensors. *Sensors*, 18 (2018), nr. 11, 3824.
- [12] Łada-Tondyrya, E., Jakubas, A., The Concept of a Textronic System Limiting Bacterial Growth. In *2018 Progress in Applied Electrical Engineering*, PAEE'2018, 2018 (pp. 1-4). IEEE.