

Skuteczność redukcji mikrobiologicznej tekstronicznej maty higienicznej - analiza badań wirusologicznych

Streszczenie. Stosunkowo niedawno, w latach 80-tych, pojawiła się nowa generacja tekstyliów, łączonych z inteligentnymi materiałami, co doprowadziło do rozwoju tekstroniki. Tekstronika jest szeroko stosowana w medycynie i opiece zdrowotnej. W artykule przedstawiono prace badawcze i konstrukcyjne związane z opracowaniem prototypu maty z funkcją ogrzewania. Ogrzewanie jest realizowane za pomocą nici elektroprowadzących, a zastosowanie dzianej przekładki jako podłoża pozwala na działanie funkcji ogrzewania tylko pod ciśnieniem.

Abstract. Relatively recently, in the 1980s, a new generation of textiles emerged when work began on smart materials, resulting in the development of textronics. Textronics is widely used in medicine and health care. This paper presents research and construction work related to the development of a prototype mat with a heating function. Heating is realized by means of electroconductive threads and the use of a knitted spacer as a substrate allows the heating function to operate only under pressure. (**Microbiological reduction efficiency of textronic hygienic mats - virological research analysis**)

Słowa kluczowe: tekstonika, grzanie, nici elektroprowadzące, tekstylia

Keywords: textronics, heating, electroconductive threads, textiles

Wstęp

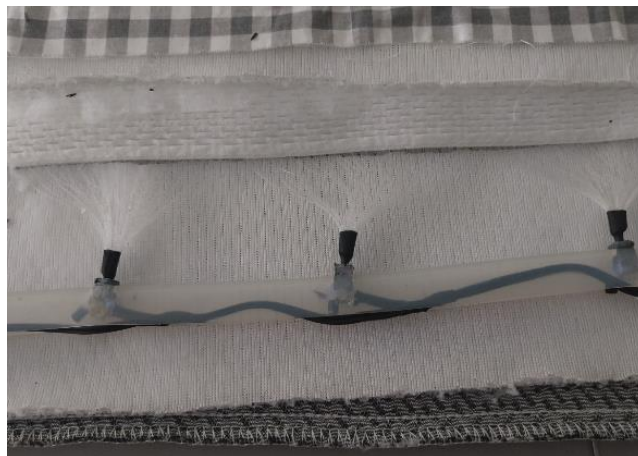
Wirusy i bakterie mogą być obecne na różnych powierzchniach przez długi czas. Dezynfekcja obejmuje wszelkiego rodzaju czynności, które służą pozbyciu się z otoczenia i powierzchni drobnoustrojów, bakterii oraz wirusów. Takie patogeny mogą być przenoszone nie tylko drogą kropelkową, ale również znajdować się na powierzchniach użytkowych, takich jak blaty, materace, podłogi. Dezynfekcja materaca polega na usunięciu z jego powierzchni alergenów, kurzu roztoczy i innych mikroorganizmów. Sposoby dezynfekcji powierzchni spania w praktyce sprowadzają się do prania pokrowców i różnych prób jej dezynfekcji. Wśród nich są odkurzanie zwykłe, odkurzanie z lampą UV, odkurzanie z parą wodną, wystawianie na działanie słońca, stosowanie środków chemicznych, olejków eterycznych i alkoholu. Badana mata stanowi metodę dezynfekcji wewnątrzmaterialowej za pomocą promieniowania UV-C, którą można przeprowadzić w warunkach domowych.

Materiał i metody

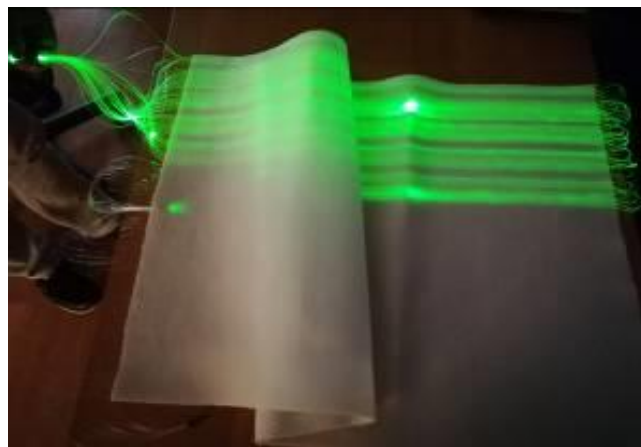
Przedmiotem badań była mata wykonana z wielowarstwowej dzianiny dystansowej 3D z wdzianymi w jej strukturę światłowodami z dedykowanym system ich połączenia i zasilania (rys.1-2). Opracowana mata do redukcji mikrobiologicznej jest innowacyjnym produktem tekstronicznymi. Tekstronika jest bardzo szybko rozwijającą się dziedziną nauki, która łączy włókiennictwo, inżynierię materiałową oraz elektronikę, informatykę, automatykę, metrologię, wyroby tekstroniczne posiadają równocześnie cechy układu elektronicznego i wyrobu tekstylnego [1].

Mata, dzięki zastosowaniu wielowarstwowego układu dzianin o zadanej funkcjonalności, charakteryzuje się nowością w skali światowej. Jest to kompozyt wykonany z kilku warstw dzianiny dystansowej 3D z wdzianymi w jej strukturę światłowodami. Mata wyposażona jest w system aktywnej redukcji mikrobiologicznej drobnoustrojów (bakterie, grzyby, wirusy) znajdujących się na jej powierzchni i we wnętrzu, w oparciu o systemem generujący promieniowanie UV-C, o długości fali z zakresu 250-280 nm. Źródłem promieniowania UV-C w produkcji są diody UV-C, natomiast jako medium rozpraszające światło na całą powierzchnię są diody wykorzystano światłowody PMMA o odpowiednio zmodyfikowanej

strukturze (mikrookienka w strukturze płaszcza światłowodu).



Rys. 1. Warstwy maty wykonanej z warstw dzianiny dystansowej 3D z wdzianymi w jej strukturę światłowodami



Rys. 2. Prezentacja działania maty z wykorzystaniem światła widzialnego.

W ramach prac sprawdzono różne sposoby wykonania mikrookienek (np. poprzez nacinanie, podgrzewanie, piaskowanie), każdorazowo analizując propagację światła. Przeprowadzono również prace nad ujednoczeniem okienek transmisyjnych, wykonano testy różnych konfiguracji diod UVC przy różnych obciążeniach prądowych. Dokonano połączenia wiązek światłowodów PMMA. Przeprowadzono pomiary i kontrolę propagacji światła w wiązce. Wykonano elementy mocujące i zabezpieczające wiązkę światłowodową: prace związane były z wykonaniem optymalnego umiejscowienia światłowodów w przewodnicach w celu późniejszego doprowadzenia ich do diod UV w celu przeniesienia promieniowania elektromagnetycznego ze źródła do światłowodu a następnie do maty tekstonej. Podjęto próby z wykorzystaniem różnych rodzajów zabezpieczeń oraz zakończeń wiązek światłowodowych zarówno pod względem użytego materiału jak i rozwiązań konstrukcyjnych tj. rurki teflonowe, materiały termokurczliwe oraz elementy typu kołek zaporowy wykonane przy użyciu technologii druku 3d (FDM, UV-LCD). Najbardziej optymalnym rozwiązaniem wydają się być materiały termokurczliwe ze względu na niewielki koszt i możliwość dopasowania w zależności od ilości światłowodów w wiązce. Maksymalna ilość światłowodów w wiązce ograniczona jest przez rozmiary układu, konstrukcję obudowy zabezpieczającej oraz rozłożenie diod na płytce PCB. Ostateczne rozwiązanie gwarantuje powtarzalność procesów montażowych. Wiązka światłowodów jest zapieczętowana przy użyciu materiału termokurczliwego (poprzez podgrzanie następuje usztywnienie oraz odpowiednie ułożenie wiązki. Tak przygotowana wiązka umieszczona jest w dodatkowej rurce termokurczliwej o średnicy dopasowanej do całego układu. Następnie cały układ jest dodatkowo wypełniony oraz połączony między warstwowo odpowiednim klejem. Tak skonstruowana, zabezpieczona wiązka światłowodowa jest cięta na odpowiednią długość przy wykorzystaniu odpowiednich narzędzi. W kolejnych krokach pracy wykonano modyfikacje układu elektronicznego zarządzającego źródłami światła (płytką PCB) oraz układu zabezpieczającego a zarazem prowadzącego dla wiązek światłowodowych (obudowa). Skuteczność przenoszenia światła przez wiązki światłowodowe była sprawdzana każdorazowo przed montażem do układu.

Światło UV-C o określonej długości fali, działa zabójczo na bakterie, wirusy, komórki drożdży i pleśni (rozrywa wiązania łańcuchów DNA, RNA i powoduje denaturację białek żywych organizmów oraz powstawanie podtlenków i wolnych rodników, które również działają toksycznie na komórkę).

Taki sposób działania nazywa się bakteriobójczym, jednak odnosi się do wszystkich wymienionych wcześniej grup taksonomicznych mikroorganizmów (wiele spośród nich jest patogenami chorobotwórczymi). Każdy z wymienionych mikroorganizmów posiada swój kod genetyczny, który jest zapisany w kwasie dezoksyrybonukleinowym (DNA). Mechanizm działania bakteriobójczego polega najczęściej na absorbowaniu przez DNA energii promieniowania UVC, które wzbudząc reakcje fotochemiczne, powoduje zniszczenie materiału genetycznego. Na skutek takiej reakcji zostaje zahamowany proces podziału komórek oraz ustają inne funkcje metaboliczne i życiowe. Jest to równoznaczne z utratą zdolności reprodukcyjnej i następuje dezaktywacja patogenu, który przestaje stanowić zagrożenie dla człowieka [2,3].

Badania udowodniły, że warstwa maty z wprowadzonymi światłowodami pozwala na osiągnięcie

redukcji biologicznej w odniesieniu do bakterii mezofilnych [4]. Jednakże istotne z punktu widzenia sterylności produktu jest wyeliminowanie nie tylko bakterii, ale i wirusów. Wirusy to drobnoustroje, które nie są zaliczane do organizmów żywych. Wykazują pewne cechy takich istot, jak na przykład fakt, że są zbudowane z aminokwasów (białek). Ale jednocześnie nie mają, jak inne żywe organizmy, budowy komórkowej. Wirus składa się z cząsteczki DNA lub RNA, czyli kwasów nukleinowych, która otoczona jest tak zwanym kapsydem białkowym. Wirusy nie mogą namnażać się samodzielnie poza organizmami żywymi. W zależności od danego wirusa, może on przeżyć pewien czas poza organizmem gospodarza, ale rozmnaża się tylko poprzez wykorzystanie żywych komórek organizmu, w którym bytuje, łącząc się z nim. Wg badań [5-6] metoda inaktywacji z promieniowaniem UVC w różnym stopniu inaktywuje wirusy.

Badania z udziałem wirusów zostały wykonane w Zakładzie Wirusologii z Pracownią Diagnostyki Wirusologicznej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie.

Materiałem nanoszonym na matę z wplecionymi światłowodami były ścieki, z potwierdzoną obecnością 4 wybranych wirusów:

- BK wirus (BKV) DNA; Rodzina: Polyomaviridae,
- Epstein-Barr wirus (EBV) DNA; Rodzina: Herpesviridae,
- Adenowirus (ADV) DNA; Rodzina: Adenoviridae,
- Enterowirus (EV) RNA; Rodzina: Picornaviridae.

Badanie molekularne – ilościowe – każdego z wirusów wykonano metodą real-time PCR, która umożliwia wykazanie bezpośredniej obecności materiału genetycznego wirusów w badanym materiale. Pierwszym etapem badania jest izolacja materiału genetycznego wirusa za pomocą odpowiedniej metody. Izolacja jest to proces oczyszczania DNA/RNA z innych składników chemicznych i biologicznych obecnych w próbce materiału. W tym badaniu została wykorzystana metoda kolumnkowa oczyszczania oparta na zjawisku adsorpcji kwasów nukleinowych na ziarnach krzemionki. Po etapie izolacji kolejnym etapem jest wykorzystanie wyizolowanego materiału genetycznego i powielenie unikalnych fragmentów DNA charakterystycznych dla konkretnych patogenów (wirusów), czyli ich amplifikacja. W przypadku wykrywania wirusów RNA dodatkowo wykonuje się etap odwrotnej transkrypcji (np. Enterowirus RNA), czyli proces przepisania jednoniciowego RNA przez enzym odwrotną transkryptazę (RT) na dwuniciowy DNA. W metodzie tej etap odwrotnej transkrypcji odbywa się równocześnie z amplifikacją. Dzięki zastosowaniu specjalnych sond molekularnych fluorescencyjnie możliwa jest analiza przebiegu reakcji i odczyt sygnału. Dane, które rejestruje aparat – termocykler – w postaci poziomu fluorescencji dla poszczególnych barwników, są automatycznie przekształcane na wynik przez specjalistyczne oprogramowanie. Badanie metodą real-time PCR w tym badaniu przeprowadzono przy użyciu oprogramowania LightCycler Software 4.1 (Roche Applied Science System, Penzberg, Niemcy) i CFX Manager™ Software (Bio-Rad, Hercules, CA, USA).

Etapy badania:

Etap 1: Izolacja wirusowego DNA/RNA

Wirusowe DNA i RNA wyizolowano przy użyciu komercyjnych zestawów odpowiednio: QIAampDNA Mini Kit (Qiagen, Hilden, Niemcy) – wyizolowanie DNA i QIAamp Viral RNA Mini Kit (Qiagen, Hilden, Niemcy) – wyizolowanie RNA. Procedura izolacji przebiegała jak opisano w protokole producenta.

Etap 2: Badanie molekularne – ocena ilościowa badanych wirusów (reakcja real-time PCR).

Wyizolowany materiał DNA i RNA amplifikowano zgodnie z protokołem producenta przy użyciu dostępnych komercyjnie zestawów GeneProof odpowiednio dla każdego z wirusów:

1. wirus BK DNA - GeneProof BK/JC Virus (BK/JC) PCR Kit (CE IVD);
2. wirus EBV DNA - GeneProof Epstein-Barr Virus (EBV) PCR Kit (CE IVD);
3. wirus ADV DNA - GeneProof Adenovirus PCR Kit (CE IVD);
4. wirus EV RNA - GeneProof Enterovirus PCR Kit (CE IVD).

Do badania real-time PCR użyto termocyklorów: LightCycler® 2.0 Instrument (Roche) i CFX96 (Bio-Rad).

Przebadane wirusy są powszechnymi przyczynami infekcji w populacji ogólnej. BKV jest wirusem, który ma silne powinowactwo do tkanki nerkowej, a zakażenie w populacji ogólnej sięga nawet 90% w zależności od badania. EBV jest szeroko rozpowszechniony we wszystkich populacjach ludzkich, jest powszechnie nabywany w dzieciństwie jako cicha infekcja i jest przenoszony przez większość osób bezobjawowo przez całe życie [7]. Jest to jeden z najbardziej rozpowszechnionych ludzkich wirusów, występujący na całym świecie. Większość ludzi zostanie nim zarażona w pewnym momencie swojego życia. AdV to nieruchliwe wirusy DNA odpowiedzialne za infekcje wirusowe u dorosłych i dzieci. Występują na całym świecie, przez cały rok, nie wykazują zmienności sezonowej. Adenowirusami można zarazić się między innymi w zamkniętych przestrzeniach i miejscach o dużym zagęszczeniu ludzi [8]. Enterowirusy są główną przyczyną chorób wirusowych u ludzi, zwłaszcza u niemowląt i małych dzieci. Każdego roku zakażeniu ulegają dziesiątki milionów pacjentów na całym świecie. Infekcje mogą przebiegać bezobjawowo, ale mogą również obejmować ostre stany, prowadzące na przykład do zapalenia wątroby [9].

W celu oceny stopnia skuteczności usuwania wskazanych patogenów wykonano badanie kontrolne dzianiny przed nanoszeniem ścieków na jej powierzchnię pod względem ilościowym badanych wirusów, kolejno wykonano analizę ilościową badanych wirusów w ściekach naniesionych na dzianinę przed naświetlaniem, poddano dzianinę naświetlaniu i kolejno po 30 minutach i 1 godzinie pobrano próbki w różnych odległościach od źródła naświetlania.

Wyniki

Dane dotyczące analizy ilościowej poszczególnych wirusów zestawiono w tabeli 1 (Analiza ilościowa wirusów przed naświetlaniem) oraz w tabeli 2 (Analiza ilościowa obecności wirusów na powierzchni badanej dzianiny).

Tabela 1. Analiza ilościowa obecności wirusów przed naświetlaniem

Rodzaj wirusa	Kontrola – dzianina przed naniesieniem ścieków	Ścieki naniesione na dzianinę przed naświetlaniem
Epstein-Barr wirus (EBV) DNA	Nie wykryto	Wykryto 4×10^2 IU/ml
Enterowirus (EV) RNA	Nie wykryto	Wykryto $2,6 \times 10^2$ kopii/ml
BK wirus (BKV) DNA	Nie wykryto	Wykryto $2,2 \times 10^4$ kopii/ml
Adenowirus (ADV) DNA	Nie wykryto	Wykryto 1×10^6 kopii/ml

Tabela 2. Analiza ilościowa obecności wirusów na powierzchni badanej dzianiny po naświetlaniu

Rodzaj wirusa	A0	A10	A20	A40
Epstein-Barr wirus (EBV) DNA;	Nie wykryto	Wykryto wiremia <100 IU/ml poza granicą liniowości testu	Nie wykryto	Wykryto wiremia <100 IU/ml poza granicą liniowości testu
Enterowirus (EV) RNA	Wykryto wiremia <100 kopii/ml poza granicą liniowości testu	Wykryto wiremia <100 kopii/ml poza granicą liniowości testu	Nie wykryto	Wykryto wiremia <100 kopii/ml poza granicą liniowości testu
BK wirus (BKV) DNA	Wykryto $1,1 \times 10^3$ kopii/ml	Wykryto 2×10^3 kopii/ml	Wykryto $2,5 \times 10^3$ kopii/ml	Wykryto $1,4 \times 10^3$ kopii/ml
Adenowirus (ADV) DNA	Wykryto $1,6 \times 10^5$ kopii/ml	Wykryto $1,7 \times 10^5$ kopii/ml	Wykryto 1×10^5 kopii/ml	Wykryto $1,8 \times 10^5$ kopii/ml
Rodzaj wirusa	B0	B10	B20	B40
Epstein-Barr wirus (EBV) DNA;	Nie wykryto	Nie wykryto	Nie wykryto	Nie wykryto
Enterowirus (EV) RNA	Wykryto wiremia <100 kopii/ml poza granicą liniowości testu	Nie wykryto	Nie wykryto	Nie wykryto
BK wirus (BKV)DNA	Wykryto 7×10^2 kopii/ml	Wykryto 7×10^2 kopii/ml	Wykryto $1,5 \times 10^3$ kopii/ml	Nie wykryto
Adenowirus (ADV) DNA	Wykryto $1,3 \times 10^5$ kopii/ml	Wykryto $9,5 \times 10^4$ kopii/ml	Wykryto $1,3 \times 10^5$ kopii/ml	Wykryto $4,2 \times 10^4$ kopii/ml

Legenda:

A - wymaz po 30 min naświetlania

B - wymaz po 1h naświetlania

0 - odległość najbliższej źródła naświetlania UV

10 - odległość 10 cm od źródła naświetlania UV

20 - odległość 20 cm od źródła naświetlania UV

40 - odległość 40 cm od źródła naświetlania UV

Interpretacja:

Redukcja wirusów była zależna od odległości od źródła promieniowania UV.

Czas naświetlania odgrywa kluczową rolę w redukcji wirusów. Wydłużenie czasu naświetlania do 1 godziny zwiększało skuteczność eliminacji wirusów.

Wirus EBV DNA po 1h naświetlania uległ całkowitej redukcji we wszystkich próbkach. Po 1h naświetlania osiągnięto całkowitą redukcję Enterowirusa, z wyjątkiem próby B0, w której poziom redukcji wyniósł 61%. Największą redukcję wirusa ADV osiągnięto w odległościach maksymalnie do 20 cm od źródła naświetlania UV (około 90%). Po dodatkowych 30 min naświetlania dzianiny wirus nadal był wykrywany we

wszystkich odległościach i nie zaobserwowano całkowitej redukcji wirusa. Ilość wirusa BK zmniejszyła się we wszystkich badanych odległościach, jednak całkowitą redukcję zaobserwowano jedynie w odległości 40 cm po godzinie naświetlania

Wnioski

Promieniowanie UV-C okazało się skuteczne w redukcji obecności badanych wirusów na powierzchni dzianiny dystansowej 3D z wdzianymi światłowodami.

Innowacyjna mata wykonana z wielowarstwowej dzianiny dystansowej 3D z wdzianymi światłowodami, z systemem generującym promieniowanie UV-C, może być skuteczną metodą dezynfekcji powierzchni użytkowych w warunkach domowych

Produkt ten może znaleźć zastosowanie w miejscach, gdzie utrzymanie wysokiego poziomu higieny i eliminacji drobnoustrojów jest kluczowe, takich jak domy, szpitale, hotele czy inne miejsca publiczne.

Pomimo obiecujących wyników, konieczne są dalsze badania nad optymalizacją parametrów naświetlania, takich jak intensywność promieniowania, czas ekspozycji oraz skuteczność w różnych warunkach środowiskowych. Wnioski z badań wskazują na możliwość zastosowania metody w matach o szerokości do 80 cm, przy zasilaniu dwustronnym.

Ważne jest również sprawdzenie efektywności maty w odniesieniu do innych rodzajów patogenów oraz ocena długoterminowej trwałości i bezpieczeństwa użytkowania produktu.

Podsumowując, mata tekstroniczna z systemem UV-C wykazuje wysoką skuteczność w redukcji wybranych wirusów na jej powierzchni, jednakże dalsze badania są niezbędne do pełnego zrozumienia jej potencjału oraz optymalizacji jej zastosowania.

The project financed under the project under the name "Opracowanie tekstronicznej maty higienicznej z systemem aktywnej redukcji mikrobiologicznej oraz funkcją grzewczą, Nr umowy o dofinansowanie: RPLD.01.02.02-10-0047/21-00"

Autorzy: dr inż. Ewa Łada-Tondyra, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: e.lada-tondyra@pcz.pl; dr hab. inż. Adam Jakubas, prof. PCz, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: adam.jakubas@pcz.pl; dr n.med. Ewa Stępień, Zakład Wirusologii z Pracownią Diagnostyki Wirusologicznej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie, ul. Chodźki 1, 59-300 Lublin, E-mail: ewa.stepien@umlub.pl; prof. dr hab. n. med. Małgorzata POLZ-DACEWICZ, Zakład Wirusologii z Pracownią Diagnostyki Wirusologicznej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie, ul. Chodźki 1, 59-300 Lublin, E-mail: malgorzata.polz-dacewicz@umlub.pl

REFERENCES

- [1] Gniotek K., Krucinska I., The basic problems of textronics, *Fibres Text. East. Eur.*, nr 12 92004), 13–16
- [2] Strus M., Mechanisms of action of physical factors on microorganisms. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 3 (1997), 263–268
- [3] Diston D., Ebdon J. E., Taylor, H. D., The effect of UV-C radiation (254 nm) on candidate microbial source tracking phages infecting a human-specific strain of *Bacteroides fragilis* (GB-124). *J. Water Health*, 10 (2012), 262–270
- [4] Łada-Tondyra E., Jakubas A., Jabłońska B., Stańczyk-Mazanek E., The research and analysis of the bactericidal properties of the spacer knitted fabric with the UV-C system, *Opto-Electronics Review*. 29 (2021), 192-200
- [5] Woo, H. et al. Efficacy of inactivation of human enteroviruses by dual-wavelength germicidal ultraviolet (UV-C) light emitting diodes (LEDs). *Water* 11, 1131 (2019). <https://doi.org/10.3390/w11061131>
- [6] Phattarapattamawong S., Chareewan N., Polprasert C., Comparative removal of two antibiotic resistant bacteria and genes by the simultaneous use of chlorine and UV irradiation (UV/chlorine): Influence of free radicals on gene degradation. *Sci. Total Environ*, 755 (2021), 142696
- [7] Thomas O. G., Haigh T. A., Croom-Carter D., Leese A., Van Wijck Y., Douglas M. R., Taylor G. S., Heightened Epstein-Barr virus immunity and potential cross-reactivities in multiple sclerosis. *PLoS Pathogens*, 20(2024), e1012177
- [8] Ison M.G., Hayden R.T., Adenovirus. *Microbiology Spectrum* 4 (2021)
- [9] Suresh S., Rawlinson W. D., Andrews P. I., Stelzer-Braid S., Global epidemiology of nonpolio enteroviruses causing severe neurological complications: A systematic review and meta-analysis, *Reviews in medical virology*, 30 (2020), 2082.