



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

**Charakteristika schopnosti
nanovláknových textílií při záchytech
bakterií**

**Characteristics of the nanofiber
membrane ability in bacteria interception**

Bakalárska práca

Študijní program: Laboratorna diagnostika v zdravotníctve

Autor bakalárskej práce: Radka Gromošová

Vedúci bakalárskej práce: RNDr. Taťána Jarošíková, CSc.

Kladno 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Gromošová** Jméno: **Radka** Osobní číslo: **499604**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Laboratorní diagnostika ve zdravotnictví**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Charakteristika schopnosti nanovláknových textilií při záchytech bakterií

Název bakalářské práce anglicky:

Characteristics of the nanofiber membrane ability in bacteria interception

Pokyny pro vypracování:

V současné době je významnou oblastí vědeckého zájmu filtrace vzduchu pomocí médií založených na nanovláknových textiliích. Jednou z významných funkcí nanovláknových materiálů je jejich vysoká eliminační schopnost částic jako jsou mikroorganismy. Cílem BP je určit optimální hustotu nanovláknové textilie pro kompletní odstranění bakteriální kontaminace prostředí. Součástí praktické části práce budou metody přípravy nanovláknové textilie. V rámci mikrobiologické laboratoře budou provedeny metody kultivace bakterie E. coli a návrh experimentální filtrace bakteriální suspenze pomocí nanotextilie. Data získaná po filtraci různých koncentrací bakteriální suspenze budou prezentována a interpretována pomocí příslušných statistických metod.

Seznam doporučené literatury:

- [1] HASSAN, Mohammad, Ragab ABOU-ZEID, Enas HASSAN, Linn BERGLUND, Yvonne AITOMÄKI a Kristiina OKSMAN, Membranes Based on Cellulose Nanofibers and Activated Carbon for Removal of Escherichia coli Bacteria from Water, online, Polymers, ed. 2017, ročník 9, číslo 12, Přístupné z: <https://doi.org/10.3390/polym9080335>, ISSN 2073-4360
[2] FAHIMIRAD, Shohreh, Zahra FAHIMIRAD a Mika SILLANPÄÄ, Efficient removal of water bacteria and viruses using electrospun nanofibers, online, Science of The Total Environment, ed. 2021, ročník 751, Přístupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141673>, ISSN 00489697
[3] CANALLI BORTOLASSI, Ana Cláudia, Václava Giovana GUERRA, Mônica Lopes AGUIAR, Laurence SOUSSAN, David CORNU, Philippe MIELE a Mikhael BECHELANY, Composites Based on Nanoparticle and Pan Electrospun Nanofiber Membranes for Air Filtration and Bacterial Removal, online, Nanomaterials, ed. 2019, ročník 9, číslo 12, Přístupné z: <https://doi.org/10.3390/nano9121740>, ISSN 2079-4991

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

RNDr. Taťána Jarošíková, CSc.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2024**

doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu s názvom Charakteristika schopnosti nanovláknových textílií pri záchyte baktérií vypracovala samostatne iba s použitím prameňov, ktoré uvádzam v zozname bibliografických odkazov.

Nemám závažný dôvod proti užitiu tohoto školského diela v zmysle § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov.

V Kladne dňa 18.05.2023

.....
Radka Gromošová

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som chcel poďakovať vedúcej mojej bakalárskej práce pani RNDr. Taťáně Jarošíkové, CSc. za odborné vedenie práce, ochotu, trpezlivosť, cenné rady a pripomienky pri písaní tejto práce. Vďaka patrí tiež pracovníkom centra UCEEB ČVUT za možnosť nahliadnutia do procesu výroby nanovláknových textílií a následne ich poskytnutie a taktiež fakulte FBMI ČVUT, ktorá mi umožnila vykonávať pokus v laboratóriách školy.

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca je zameraná na zistenie schopnosti nanovláknových textílií zachytiť baktérie v tekutom prostredí. Modelovou baktériou bola *Escherichia coli*, pretože je jedna z nepatogénnych organizmov, s ktorými môžeme pracovať v našom fakultnom laboratóriu.

V prvej polovici je teoretická časť zameraná na všeobecný popis baktérie *E. coli*, rozdelenie známych patotypov, kde sa baktéria prirodzene vyskytuje, čo môže spôsobiť keď sa dostane do miest mimo svojho prirodzeného výskytu, jej laboratórna diagnostika a následná liečba vzniknutých ochorení. V druhej polovici je rozobraný problém znečistenia životného a hlavne zdravotníckeho prostredia mikroorganizmami, kde sa čoraz viac do popredia dostáva filtrácia vzduchu a vody cez nanovláknové textílie, ktoré majú výbornú eliminačnú schopnosť. Sú v nej opísané rôzne druhy materiálov a techniky výroby, ktoré sa uplatňujú pri výrobe nanovláknových textílií.

Praktická časť bola venovaná laboratórnemu pokusu, ktorým sa zisťovala schopnosť nanovláknových textílií zachytiť baktériu *E. coli* v tekutom prostredí.

Výsledky nám jasne ukázali, že nanovláknové textílie zachytávajú podstatné množstvo baktérií. Táto schopnosť sa zväčšuje so zvyšujúcou sa plošnou hustotou nanovlákn a pri výbere vhodnej plošnej hustoty je možné mikroorganizmus z prostredia eliminovať skoro úplne.

Kľúčové slová

Nanovláknové textílie; *Escherichia coli*; kontaminácia prostredia baktériami; filtrácia; záchyt baktérií

ABSTRACT

This bachelor thesis aims to investigate the ability of nanofibrous fabrics to trap bacteria in a liquid environment. The model bacteria were *Escherichia coli*, as it is one of the non-pathogenic organisms that we can work with in our faculty lab.

The first half of the theoretical section focuses on a general description of *E. coli*, a breakdown of known pathotypes, where the bacterium naturally occurs, what it can do when it gets into places outside of its natural range, its laboratory diagnosis, and the subsequent treatment of resulting diseases. The second half discusses the problem of pollution of the environment and especially the healthcare environment by microorganisms, where air and water filtration through nanofibrous fabrics, which have an excellent elimination capacity, is increasingly coming to the fore. It describes the different types of materials and manufacturing techniques that are applied in the production of nanofibrous textiles.

The practical part was devoted to a laboratory experiment to investigate the ability of nanofibrous textiles to trap *E. coli* in a liquid environment.

The results clearly showed us that nanofibrous fabrics trap a substantial amount of bacteria. This ability increases with increasing nanofiber areal density, and by selecting an appropriate areal density, it is possible to eliminate the microorganism almost completely from the environment.

Keywords

Nanofibrous fabrics; *Escherichia coli*; environmental contamination by bacteria; filtration; capture of bacteria

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Ciele práce	10
3	Prehľad súčasného stavu	11
3.1	<i>Escherichia coli</i>	11
3.1.1	Obecná charakteristika <i>Escherichia coli</i>	11
3.1.2	Výskyt <i>Escherichie coli</i>	11
3.1.3	Patotypy <i>Escherichie coli</i>	13
3.1.4	Patogenéza <i>Escherichie coli</i>	13
3.1.5	Infekcie močových ciest a septické infekcie	15
3.1.6	Sérologická typizácia <i>Escherichie coli</i>	16
3.1.7	Laboratórna diagnostika	16
3.1.8	Liečba a kontrola	18
3.1.9	Hemolyzíny.....	19
3.2	Riešenie problematiky znečistenia životného prostredia.....	19
3.3	Nanovláknové materiály a ich vlastnosti.....	21
3.4	Techniky výroby nanovláknových membrán.....	23
3.4.1	Parametre súvisiace so substrátom.....	24
3.5	Elektrostatické zvlákňovanie	24
3.5.1	Popis elektrostatického zvlákňovania.....	25
3.5.2	Prístroj pre elektrostatické zvlákňovanie.....	28
3.6	Meltblowing	31
3.7	Nanospider	32
4	Metodika.....	34

4.1	Príprava nanovlákién	34
4.2	Kultivácia baktérie <i>Escherichia coli</i>	35
4.3	Filtrácia bakteriálnej kultúry a meranie optickej hustoty	37
4.4	Štatistické vyhodnotenie.....	40
5	Výsledky	43
5.1	Namerané hodnoty optickej hustoty	43
5.2	Štatisticky spracované hodnoty	44
6	Diskusia	48
7	Záver	52
8	Zoznam použitých skratiek	53
9	Zoznam použitej literatúry	56
10	Zoznam použitých obrázkov	70
11	Zoznam použitých tabuliek.....	71

1 ÚVOD

Mikroorganizmy môžu za určitých okolností kontaminovať prostredie, či už sa jedná o pitnú vodu alebo vzduch, ktorý každodenne dýchame. Problémom sú hlavne patogénne mikroorganizmy, ale aj bežne nepatogénne, pokiaľ sa dostanú mimo miesto svojho prirodzeného výskytu. To môže predstavovať problém globálneho výskytu. Postupom času sa objavuje stále viac nových mikroorganizmov alebo nové mutácie tých známych, ktoré môžu ohroziť naše zdravie.

Ľudia s oslabenou imunitou alebo tí, ktorých už trápí nejaká iná vážna choroba sú k nákazám náchylnejší. Títo ľudia majú ťažký priebeh choroby, ťažšie a dlhšie sa z nej liečia, a v niektorých prípadoch to pre nich môže skončiť smrťou. Preto je dôležité sa pred týmito mikroorganizmami chrániť a čo najviac znížiť riziko nákazy.

V súčasnej dobe existuje mnoho variant, ktoré nám poskytujú ochranu pred mikroorganizmami. Jednou z nich sú nanovláknové textílie, ktoré sa môžu používať na výrobu respirátorov a filtrov pre filtráciu vody či vzduchu. Výhodou je množstvo materiálov a techník, ktoré môžu byť použité na ich výrobu, dobrá dostupnosť a pomerne prijateľná cena.

2 CIELE PRÁCE

V teoretickej časti je cieľom podať ucelený prehľad charakteristiky baktérie *Escherichia coli*, charakterizovať nanovlákná, ich výrobu a materiály, z ktorých sa vyrábajú.

V praktickej časti je cieľom práce otestovať účinnosť nanovláknových textílií pri záchytech baktérie *E. coli*. V tejto práci budú použité nanovláknové textílie vyrobené z polyakrylonitrilu o rôznych plošných hustotách. Predpokladom je, že aj nanovláknová textília s najnižšou plošnou hustotou bude pri záchytech baktérie výrazne účinná, ale so zvyšujúcou sa plošnou hustotou by sa účinnosť mala ešte zvýšiť. Cieľom je na základe nameraných údajov, ktoré budú štatisticky vyhodnotené, určiť optimálnu plošnú hustotu nanovláknovej textílie tak, aby dokázala odstrániť najväčšie možné množstvo baktérií z prostredia a aby zachytila také množstvo, ktoré je podľa štandardov jednotlivých zemí považované za vhodné, aby tak mohla byť použitá na výrobu zdravotníckych pomôcok.

3 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU

3.1 *Escherichia coli*

3.1.1 Obecná charakteristika *Escherichia coli*

Escherichia coli patrí medzi gramnegatívne, fakultatívno anaeróbne baktérie, je to druh takmer výlučne nepatogénnych baktérií. U dospelých ľudí je *E. coli* členom črevného mikrobiómu u viac ako 90 % jedincov. Je jednou z prvých baktérií, ktoré kolonizujú novorodencov pri narodení. V črevách novorodencov má schopnosť produkovať vitamín K a schopnosť prepožičiavať kolonizačnú rezistenciu (ochranu pred patogénmi), asociácia medzi človekom a *E. coli* môže byť podľa definície považovaná za vzájomnú, hoci veľká časť literatúra označuje tento druh ako komenzálny [1].

Lipopolysacharid (LPS) vo vonkajšej bunkovej membráne gramnegatívnych baktérií je nositeľom endotoxínovej aktivity. Keď sa LPS uvoľní z bunkovej steny pri lýze baktérie, je schopný interagovať s makrofágmi, ktoré ako odpoveď uvoľňujú cytokíny. Tieto cytokíny následne aktivujú komplement a koagulačné kaskády. Dôsledkom tejto aktivácie je periférna vazodilatácia s hypotenziou, horúčka, leukopénia, diseminovaná intravaskulárna koagulácia a nakoniec šok [2].

Štúdie rekombinácie DNA-DNA ukazujú že *E. coli* a *Shigella spp.* pochádzajú z jednej genetickej skupiny. V štyridsiatych rokoch minulého storočia boli kmene *Shigella* zaradené do iného rodu ako *E. coli* kvôli lekárskeму významu [3].

3.1.2 Výskyt *Escherichie coli*

E. coli je možné izolovať z rastlín, zeleniny, ovocia a rôznych živočíchov. Zelenina a ovocie bežne nesie prirodzené nepatogénne epifytické mikroorganizmy, ale počas rastu a zberu môžu byť produkty kontaminované

patogénmi alebo komenzálmi zo živočíšnych a ľudských zdrojov. Kontaminácia na poli môže nastať kontaminovanou pôdou, vystavením kontaminovanej vode alebo usadzovaním výkalov hospodárskych zvierat či voľne žijúcich zvierat [4].

Hoci sa *E. coli* môže získať z ektotermných bezstavovcov, častejšie sa vyskytuje u domácich živočíchov. U *E. coli* je menej pravdepodobné, že bude izolovaná od hostiteľov žijúcich v tropickom alebo púštnom podnebí ako od hostiteľov žijúcich na pastvinách alebo v miernom podnebí [5]. *E. coli* je menej rozšírená u mäsožravcov ako u bylinožravcov či všežravcov. U vtákov aj cicavcov sa pravdepodobnosť izolácie *E. coli* zvyšuje s telesnou hmotnosťou hostiteľa [6]. Medzi potenciálnymi hostiteľskými druhmi, ktoré môže *E. coli* kolonizovať, existujú veľké rozdiely vo veľkosti tela, gastrointestinálnych fyziologických a biochemických podmienkach, diétach a zložení mikrobiómov. Zdá sa, že v gastrointestinálnom trakte stavovcov komenzálne kmene *E. coli* sídlia vo vrstve hlienu pokrývajúcej epitelové bunky pozdĺž traktu, najmä v slepom čreve a hrubom čreve. Táto nadložná vrstva hlienu je bohatá na mucín, ktorý primárne pozostáva z glykoproteínov s rôznymi O-viazanými glykánmi, čo predstavuje niku bohatú na živiny obohatenú o adhézne miesta, ktoré vedú ku kolonizácii *E. coli* [7]. Na hustotu buniek *E. coli* v hostiteľovi môže mať vplyv aj celý rad ďalších faktorov. Črevná mikroflóra matiek sa líši u žien s normálnou hmotnosťou a obezitou, najmä v druhej polovici tehotenstva, pričom u žien s nadváhou dochádza k nárastu kmeňa *E. coli* [8].

Ukázalo sa tiež, že mnohé antibiotiká vedú k výraznému zvýšeniu hustoty buniek *E. coli*. Existuje však len málo konkrétnych údajov o povahe interakcií medzi hostiteľom, *E. coli* a ostatnými členmi črevnej mikroflóry. Vplyv hostiteľa, morfológia a dynamika čreva a črevná mikroflóra nie sú jedinými faktormi, ktoré určujú pravdepodobnosť detekcie *E. coli* u hostiteľa. Dôležitá je aj úroveň kontaminácie pozadia [9].

3.1.3 Patotypy *Escherichie coli*

E. coli existuje v rôznych veľmi dôležitých patotypoch. Patogenita konkrétneho kmeňa *E. coli* je primárne určená špecifickými faktormi virulencie, medzi ktoré patria adhezíny, invazíny, hemolyzíny, toxíny, faktory vyhladzovania, cytotoxické nekrotické faktory a kapsuly, ktoré sa podieľajú na ochoreniach ľudí a zvierat na celom svete, pričom patogénne kmene sú kategorizované na črevné patogénne *E. coli* (InPEC) a extraintestinálne patogénne *E. coli* (ExPEC) na základe ich faktorov virulencie a klinických symptómov. InPEC možno ďalej klasifikovať na enterotoxigénne *E. coli* (ETEC), enteropatogénne *E. coli* (EPEC), enterohemoragické *E. coli* (EHEC), enteroinvazívne *E. coli* (EIEC), enteroagregatívne *E. coli* (EAEC) a difúzne adherentné *E. coli* (DAEC) a ExPEC do uropatogénnej *E. coli* (UPEC), novorodeneckej meningitídy *E. coli* (NMEC) a vtácej patogénnej *E. coli* (APEC). Boli navrhnuté ďalšie hnačkové patotypy *E. coli*, ako napríklad *E. coli* oddeľujúca sa od buniek (CDEC); ich význam však zostáva neistý [10].

3.1.4 Patogenéza *Escherichie coli*

Kmene *E. coli* spôsobujú extraintestinálne infekcie ako novorodeneckú meningitídu, infekcie močových ciest (UTI), rôzne intraabdominálne infekcie, pneumóniu, intravaskulárne infekcie, osteomyelitídu, infekcie mäkkých tkanív, bakteriémiu a sepsu [11]. Prevalencia antibiotickej rezistencie sa zhoršuje, pravdepodobne v dôsledku zvyšujúceho sa počtu multirezistentných bakteriálnych kmeňov a nerozlišujúceho používania širokospektrálnych antibiotík a empirickej liečby, čo vyvoláva zvýšené náklady na liečbu a hospitalizácie [12].

Kmene *E. coli* majú rôzne patogénne mechanizmy. Obsahujú antigény O (somatické) a K (kapsulárne), tieto špecifické polysacharidy O a K chránia

organizmus pred baktericídnyim účinkom komplementu a fagocytov v neprítomnosti špecifických protilátok. V prítomnosti protilátok proti samotným antigénom K alebo proti antigénom O aj K však môže dôjsť k opsonizácii [13]. Kapsulárne polysacharidy *E. coli* boli často spájané so zvýšenou virulenciou, pretože majú spoločnú štrukturálnu a biologickú podobnosť so zložkami hostiteľa. Najmä antigén K1 a K5 zvyšuje invazívnosť *E. coli* a tieto kmene sa často podieľajú na prípadoch meningitídy a septikémie [14]. *E. coli* je zodpovedná za asi 80 % nekomplikovaných infekcií močových ciest [15].

Mnohé kmene *E. coli* vytvárajú hemolyzín, ktorý je zodpovedný za zónu β -hemolýzy obklopujúcu bakteriálne kolónie na krvnom agare. Hemolyzín má schopnosť poškodzovať ľudské tkanivá prostredníctvom primárnych a sekundárnych procesov [16].

Virulencia patogénnej *E. coli* je závislá od schopnosti množiť sa v tkanivách hostiteľa. Železo je základnou živinou pre rast *E. coli*, patogénne baktérie *E. coli* si vyvinuli rôzne mechanizmy na získavanie železa z hostiteľských zdrojov. Jedným z mechanizmov je syntéza a transport siderofórov, nízkomolekulových chelátorov železa s vysokou afinitou k železu [17]. Na získanie potrebného železa baktérie *E. coli* syntetizujú, vylučujú a znovu získavajú molekuly zachytávajúce železo nazývané siderofóry, ktorým je enterobaktín. Železo je v komplexe spolu so zásobnými proteínmi, ako je transferín a laktoferín. Siderofóry odstraňujú železité ióny zo zásobných proteínov [18]. Niektoré kmene *E. coli* syntetizujú aerobaktín, determinanty aerobaktínu sa nachádzajú na plazmidoch alebo na bakteriálnych chromozómoch [19]. Expresia aerobaktínu sprostredkovaná systémom vychytávania železa je spoločným znakom kmeňov *E. coli*, ktoré spôsobujú pyelonefritídu a cystitídu [20].

Extraintestinálna patogénna *E. coli* je dôležitým patogénom spojeným s novorodeneckou meningitídou a septikémiou u ľudí, ako aj so systémovými infekciami u hydiny a hospodárskych zvierat. Fimbrie typu 1 sprostredkujú pripojenie *E. coli* k hostiteľským bunkám a tkanivám receptormi špecifickými pre manózu. Fimbrie typu 1 sú teda potrebné na vznik infekcie kmeňov ExPEC. V kmeňoch uropatogénna *E. coli* sú fimbrie typu 1 exprimované v močovom mechúre, sprostredkujú adhérenciu baktérií k urotelovým bunkám a podporujú tvorbu intracelulárnych bakteriálnych spoločenstiev. Ten umožňuje pretrvávanie kmeňov UPEC v hostiteľovi [21]. Fimbrie 1. typu sú potrebné na kolonizáciu močových ciest uropatogénnou *E. coli*. Prítomnosť fimbrií typu 1 zvyšuje počet *E. coli* úspešne infikujúcich močový trakt, ako aj zvyšuje perzistenciu baktérií. Novšie práce naznačili špecifickú úlohu fimbrií 1. typu v kolonizácii močového mechúra prostredníctvom väzby na uropitiliálne bunky [22]. Infekcia močových ciest začína kolonizáciou čreva uropatogénnym kmeňom, čo naznačuje skutočnosť, že izoláty UPEC prítomné v infikovanom moči sú takmer vždy detekovateľné vo fekálnej flóre hostiteľa v čase prejavu [23]. Štúdie na myšiach viedli k poznaniu, že kmene UPEC sa môžu špecializovať tak, že akonáhle vstúpia do močového traktu, môžu napadnúť tkanivo močového mechúra a vytvoriť chránené bakteriálne komunity, ktoré prispievajú k opakujúcim sa UTI [24].

3.1.5 Infekcie močových ciest a septické infekcie

Celkovo je UTI častejšia u žien ako u mužov, čo možno pripísať tesnej blízkosti urogenitálneho traktu ku konečníku u žien, väčšej dĺžke mužskej uretry a antibakteriálnej aktivite prostatickej tekutiny u mužov. Funkčné, hormonálne a anatomické zmeny, ktoré sa vyskytujú počas tehotenstva, predisponujú tehotné ženy k UTI. UTI počas tehotenstva môže mať za následok devastáciu materské a neonatálne komplikácie vrátane sepsy matky a predčasného pôrodu [25]. Väčšina akútnych infekcií bakteriálnej prostatitídy je získaná v komunite,

ale niektoré sa vyskytujú po transuretrálnych manipulačných procedúrach, ako je uretrálna katetrizácia a cystoskopia, alebo po transrektálnej biopsii prostaty [26]. Väčšina týchto uropatogénov pochádza z fekálnej flóry, z kože vlastnej alebo prechodnej mikroflóry pacienta, ktorá kolonizuje periuretrálnu oblasť [27]. Kmene *E. coli* sa normálne identifikujú sérologickou typizáciou ich povrchových antigénov. Každý sérotyp *E. coli* má dôležitú úlohu v klinickej prezentácii UTI a prevalencia rôznych sérotypov sa v rôznych oblastiach líši [28].

3.1.6 Sérologická typizácia *Escherichie coli*

Sérológia je založená na Kauffmannovej schéme sérologickej klasifikácie *E. coli*, ktorá je podrobne preskúmaná. Sérotypizácia *E. coli* sa uskutočňuje na základe ich O (somatického), H (bičíkového) a K (kapsulárneho) profilu povrchového antigénu. Bolo navrhnutých viac ako 180 O, 60 H a 80 K antigénov. Každý O antigén definuje séroskupinu. *E. coli* špecifických séroskupín môže byť spojená s určitými klinickými syndrómami. Špecifická kombinácia O a H antigénov definuje „sérotyp“ izolátu. Jeden patotyp môže obsahovať niekoľko séroskupín a jedna séroskupina môže patriť k niekoľkým patotypom a dokonca aj k nepatogénnej *E. coli*. Vzhľadom na obmedzenú citlivosť, špecifickosť a rôzne kombinácie antigénov je sérotypizácia zdĺhavá a nákladná. Spoľahlivo ju vykonáva len malý počet referenčných laboratórií [29].

3.1.7 Laboratórna diagnostika

Baktérie *E. coli* dobre rastú na neselektívnych médiách a s výnimkou niektorých kmeňov produkujúcich verocytotoxín fermentujú laktózu a vytvárajú veľké červené kolónie na MacConkeyho agare. Rastú v širokom rozsahu teplôt 15-45 °C, niektoré kmene sú odolnejšie voči teplu ako iní členovia *Enterobacteriaceae* a môžu prežiť buď 60 °C po dobu 15 minút alebo 55 °C po dobu 60 minút. Niektoré kmene sú hemolytické, čo možno dokázať pestovaním

na vhodných médiách obsahujúcich erytrocyty. *E. coli* možno odlíšiť od ostatných črevných gramnegatívnych baktérií podľa celého radu biochemických reakcií, napríklad podľa schopnosti využívať určité cukry. Charakteristické reakcie, ako napríklad produkcia indolu a tvorba kyseliny a plynu z laktózy a iných sacharidov, môže prebiehať pri 44 °C, rovnako aj pri 37 °C [30].

V klinických a epidemiologických štúdiách môžu byť vzorky zafarbené Gramovou metódou, ktorá zahŕňa rozmazanie vzorky na sklíčko, farbenie materiálu pomocou farbív, ktoré sa viažu na bakteriálne bunky a vizuálnu kontrolu pod mikroskopom [31]. Sorbitol MacConkey agar (sMac), ktorý obsahuje 1 % sorbitolu namiesto 1 % laktózy, využíva neschopnosť väčšiny kmeňov *E. coli* O157 fermentovať sorbitol na zlepšenie detekcie. Neschopnosť *E. coli* O157 produkovať β -glukuronidázu využíva Rainbow agar, chromogénny agar na selekciu a identifikáciu *E. coli* O157. Na detekciu *E. coli* O157 priamo zo vzoriek stolice sú dostupné sérotypovo špecifické enzýmové imunoanalýzy. PCR (polymerázová reťazová reakcia) testy na toxíny Shiga, multiplexné testy PCR na iné faktory virulencie vrátane intimínu a enterohemolyzínu a sondy DNA sú citlivé testy, ktoré sa často vykonávajú v individuálnych laboratóriách [32]. Počty baktérií 10^5 jednotiek tvoriacich kolónie (CFU) na mililiter alebo vyššie v kultúrach stredného prúdu moču predpovedali bakteriúriu močového mechúra u asymptomatických žien a žien s pyelonefritídou, zatiaľ čo nižšie počty boli pravdepodobnejšie spojené s kontamináciou. Neskoršie štúdie však ukázali, že ženy s príznakmi cystitídy mali často nižší počet kolónií. V štúdiu z roku 1982, do ktorej boli zapojené ženy s cystitídou, dokázaná bakteriúria močového mechúra signifikantne korelovala s počtom koliformných kolónií v moči len 10^2 CFU na mililiter [33]. Stolica pacientov s hnačkou získanou v komunite, pre ktorú sa hľadá etiológia, by sa mala testovať na toxín Shiga a všetky pozitívne

vzorky by sa mali poslať do referenčného laboratória na izoláciu a sérotypizáciu [34].

3.1.8 Liečba a kontrola

Terapeutické možnosti sa líšia v závislosti od typu infekcie. Napríklad pri infekciách močových ciest sú liečbami voľby trimetoprim, sulfametoxazol a fluorochinolóny, zatiaľ čo pri infekciách *E. coli* produkujúcich Shiga toxín sa liečba antimikrobiálnymi liekmi neodporúča. *E. coli* sa niekedy používa ako indikátor na monitorovanie rezistencie na antimikrobiálne liečivá u fekálnych baktérií, pretože sa častejšie vyskytuje u širokého spektra hostiteľov, ľahko získava rezistenciu a je spoľahlivým indikátorom rezistencie u salmonel. Pri absencii získanej rezistencie je *E. coli* citlivá na mnohé antibakteriálne látky vrátane ampicilínu, cefalosporínov, fluorochinolóny, ciprofloxacín, trimetoprim v kombinácii so sulfametoxazolom, amoxicilín s kyselinou klavulanovou, sulfónamid, trimetoprim a gentamicín [35].

Bakteriálna rezistencia na antimikrobiálne lieky je čoraz väčším zdravotným a ekonomickým problémom. Baktérie môžu byť vrodene odolné alebo môžu získať rezistenciu voči jednej alebo niekoľkým triedam antimikrobiálnych činidiel. Získaná rezistencia vzniká: mutáciami v bunkových génoch (chromozomálna mutácia), ktoré vedú ku skríženej rezistencii, prenosom génov z jedného mikroorganizmu na druhý plazmidmi (konjugácia alebo transformácia), transpozónmi (konjugácia), integrónmi a bakteriofágmi (transdukcia). Potom, čo baktéria získa gény rezistencie, aby sa chránila pred rôznymi antimikrobiálnymi látkami, môžu baktérie využívať niekoľko biochemických typov mechanizmov rezistencie: inaktiváciu antibiotikami, modifikáciu cieľa, zmenou permeability membrány a inhibíciou metabolickej cesty [36]. Na určenie vhodného antibiotika sa laboratórnymi testami vykonáva testovanie antimikrobiálnej citlivosti. Takéto testy sa najčastejšie používajú,

keď sú etiologické agens členmi druhov schopných preukázať rezistenciu na bežne predpisované antibiotiká [37].

3.1.9 Hemolyzíny

Podobne ako v prípade viacerých iných bakteriálnych druhov existujú kmene *E. coli*, ktoré produkujú hemolyzíny. Túto produkciu možno zistiť použitím červených krviniek v testoch lýzy alebo ich aplikáciou do v pevných rastových médií [38]. Hemolyzíny sú proteínové toxíny tvoriace póry, ktoré zabíjajú a lyzujú hostiteľské bunky interakciou s plazmatickou membránou a narušením funkcie tejto membrány ako bariéry permeability. V *E. coli* bolo identifikovaných niekoľko rôznych cytolyzínov tvoriacich póry. Najrozsiahlejšie študovaný je α -hemolyzín (HlyA), ktorý je produkovaný mnohými uropatogénnymi kmeňmi *E. coli* (UPEC) a ktorý prispieva k ich virulencii. Toxín súvisiaci s α -hemolyzínom, enterohemoragický hemolyzín *E. coli* (EHEC-HlyA), bol identifikovaný v kmeňoch EHEC sérotypu O157:H7, ktoré predstavujú hlavné etiologické agens hemolyticko-uremického syndrómu a hemoragickej kolitídy celosvetovo [39].

3.2 Riešenie problematiky znečistenia životného prostredia

Fosílna palivá a priemyselné odvetvia uvoľňujú do atmosféry veľa znečisťujúcich látok. Častice menšie ako 2,5 μm sú pre ľudí obzvlášť nebezpečné, pretože ich malá veľkosť uľahčuje ich difúziu v prieduškách a pľúcach. Napríklad veľkosť častíc spaľovania je normálne asi 10–50 nm, môžu sa však kombinovať s inými časticami a vytvárať väčšie častice. Všetky tieto aglomerované častice sa môžu pri rozklade uvoľniť do vzduchu. Komplexné zmesi častíc, väčšinou s priemerom menším ako 1000 μm , sú nečistoty, ktoré sú eliminované filtráciou vzduchu. Priemer častíc v chemických a biologických aerosóloch sa pohybuje medzi 1 a 10 μm . Preto sa priemyselné odvetvia, ktoré

potrebujú vyrábať materiál s čo najnižším množstvom nečistôt, veľmi zaujímajú o filtre, ktoré dokážu zachytávať častice a biologické nečistoty [40].

Svetová zdravotnícka organizácia uviedla, že o dostupnosť bezpečnej pitnej vody sa stará asi 785 miliónov ľudí, pričom 2 milióny ľudí využíva na pitie zdroj kontaminovanej vody. Kontaminovaná voda sa považuje za zodpovednú za významné druhy chorôb prenášaných vodou a považuje sa za hlavnú príčinu približne 5 02 000 úmrtí na celom svete každý rok. Bakteriálne patogény spôsobujú prepuknutie chorôb ako gastroenteritída, cholera, giardiáza, kryptosporidióza atď. *Shigella dysenteriae*, *Vibrio cholerae*, baktérie patriace do rodu *Legionella*, *Escherichia coli* O157:H7 a *Campylobacter jejuni* sú najrozšírenejšími baktériami, ktoré sa podieľajú na takýchto prepuknutiach [41]. Využívanie membránových technológií vo filtrácií na čistenie a úpravu vody sa neustále zvyšuje, aby sa zabezpečila čistá voda. Väčšina komerčne dostupných membrán sa vyrába zo syntetických polymérov z fosílnych zdrojov. Výroba týchto membrán zvyčajne vyžaduje veľké množstvo rozpúšťadiel a chemikálií. Rastie záujem vyrábať membrány na báze prírodných polymérov, najmä membrán na báze nanocelulózy, ako sú celulózové nanovlákná a bakteriálna celulóza [42].

Za posledných 30 rokov sa polymérne nanovlákná aktívne používajú v komerčných aplikáciách filtrácie vzduchu a vody. Jedinečné vlastnosti nanovláknových vrstiev, ako je vysoká pórovitosť až do 90 % a veľký špecifický povrch, z nich robia vynikajúcich kandidátov na filtračné účely. Elektricky zvláknované membrány našli uplatnenie v tlakovo riadených procesoch filtrácie kvapalín, ako je mikrofiltrácia, ultrafiltrácia, nanofiltrácia a reverzná osmóza, vďaka ich vzájomne prepojenej poréznej morfológii a rovnomernej distribúcii veľkosti nanopórov [43].

3.3 Nanovláknové materiály a ich vlastnosti

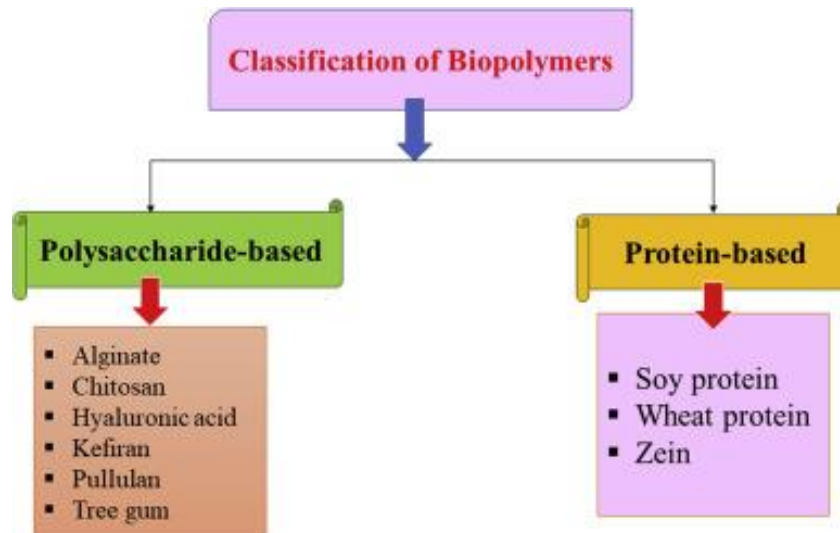
Nanovláknó je tak malé, že je ľudským okom nepozorovateľné a tak ľahké, že jeden gram nanovlákná by obtočil Zem okolo rovníka. Nanovlákná majú obrovský merný povrch, malú veľkosť pórov a ich priemer sa pohybuje od niekoľko nanometrov až po niekoľko stoviek nanometrov. Jeden nanometer je 10^{-9} metra a nie je ľudským okom viditeľný bez použitia optického aparátu. Aby sme si to dokázali predstaviť, tak ľudský vlas má približne 75 000 nanometrov [44].

Ako bohaté materiály na výrobu nanovláknien sa používajú polyméry, keramika, malé molekuly a ich kombinácie. Okrem pevných nanovláknien je možné vyrábať aj sekundárnu štruktúru nanovláknien, vrátane poréznych a dutých štruktúr, ako aj štruktúra jadro-plášť. Počas alebo po procese elektrostatického zvlákňovania môže byť povrch štruktúry funkcionalizovaný rôznymi molekulárnymi skupinami [45].

V posledných dvoch desaťročiach pritiahli značnú pozornosť obnoviteľné polyméry, vrátane polymérov priamo extrahovaných z biomasy a bielkovín, ako napríklad škrob, chitosan, celulóza, alginát, želatína a kolagén, a to najmä vďaka svojim ekologickým vlastnostiam, ako obnoviteľnosť, dobrá biokompatibilita, biodegradovateľnosť, bioaktivita a modifikovateľnosť. Nanovlákná pripravené z obnoviteľných polymérov môžu kombinovať vynikajúce vlastnosti obnoviteľného polyméru a nanovláknien, ako sú vysoká špecifická plocha povrchu, vysoká pórovitosť, vynikajúce výkony pri bunkovej adhézii, migrácii, proliferácii, diferenciácii a analogické fyzikálne vlastnosti extracelulárnej matrice (ECM) [46].

Existujú rôzne syntetické polyméry, ako je kyselina polymliečna (PLA), kyselina polyglykolová (PGA), polyvinylalkohol (PVA), polyuretán (PU),

polyvinylpyrolidón (PVP), kyselina polymliečna-ko-glykolová (PLGA). Biopolyméry sú prírodné polyméry získané z prirodzene sa vyskytujúcich látok, ako sú huby, baktérie, lastúry alebo drevo, rastliny a zvieratá. Sú to polyméry na báze polysacharidov alebo proteínov, ako je znázornené na obrázku 1.



Obrázok 1: Klasifikácia biopolymérov na báze polysacharidov a proteínov používaných na výrobu nanovlákiek

[47]

Na výrobu membrán sa používajú rôzne typy polymérov, ktoré si vyžadujú rozpustenie polymérov vo veľkých množstvách rozpúšťadiel, následné odliatie membrán a odparenie rozpúšťadiel, tento proces sa nazýva technika fázovej inverzie. Celulóзовые nanovlákiek (CNF) možno izolovať z rôznych lignocelulóзовých materiálov vrátane dreva alebo poľnohospodárskych zvyškov. Tieto nanovlákiek môžu byť tvarované do poréznych membrán s malou veľkosťou pórov bez potreby použitia rozpúšťadiel a odlievania ako pri technike fázovej inverzie [48]. Vzhľadom na množstvo rastlinných zdrojov sú rastlinné extrakty doteraz najviac študovanou kategóriou pre syntézu zelených nanomateriálov. Celulóza, jeden z najrozšírenejších prírodných polymérov, má potenciál prekonať problémy týkajúce sa biologickej odbúrateľnosti materiálu, obnoviteľnosti, nákladov a energie. Okrem toho celulóza poskytuje lepšiu

možnosť než potravinárske plodiny ako obnoviteľný zdroj na výrobu nových materiálov vďaka svojej dostupnosti vo veľkých množstvách a nízkym nákladom. Navyše je celulóza známa ako netoxický materiál [49].

Kompozitné materiály na báze organických a anorganických látok, majú výhody organickej zložky, ako je nízka hmotnosť, flexibilita a tvarovateľnosť, a anorganickej zložky, ako je vysoká pevnosť, tepelná stabilita, chemická odolnosť a rôzne funkčné vlastnosti. Preto výroba kompozitných nanovlákní pozostávajúcich z anorganických materiálov zapuzdrených v polymérnej matici bola v posledných rokoch intenzívne skúmaná [50]. Najmä kompozitné elektricky zvlákňované tkaniny sa nedávno objavili ako účinná membrána na odstraňovanie škodlivých kontaminantov prenášaných vzduchom a vodou [51].

3.4 Techniky výroby nanovláknových membrán

Na výrobu nanovláknových membrán sa používa niekoľko techník, ale elektrostatické zvlákňovanie a meltblowing, v preklade fúkanie taveniny, sú zďaleka najštandardnejšie používané metódy. Vo všeobecnosti môže proces elektrostatického zvlákňovania produkovať vlákna s menším priemerom s nízkou odchýlkou. Výrobná rýchlosť elektrostatického zvlákňovania je však 8 až 20-krát nižšia ako pri procese fúkania taveniny. Obe metódy vyžadujú vysoké kapitálové náklady. Proces elektrostatického zvlákňovania však spotrebuje nižšiu energiu ako vyfukovanie taveniny. Tiež elektrostatické zvlákňovanie môže využívať polymérny roztok alebo taveninu polyméru, ale meltblowing je obmedzený len na použitie polymérnej taveniny [52].

3.4.1 Parametre súvisiace so substrátom

Viskozita polyméru je hlavným faktorom, ktorý ovplyvňuje priemer a morfológiu vlákna. Zvýšená viskozita v dôsledku vysokej molárnej hmotnosti alebo koncentrácie polyméru môže viesť k väčším priemerom vlákien, rovnomernejším štruktúram a tiež je menej pravdepodobné, že sa budú tvoriť heterogenity okrúhleho tvaru. Avšak príliš vysoká viskozita môže obmedziť tok roztoku polyméru a spôsobiť vysychanie kvapôčky na špičke. Na druhej strane, príliš nízka viskozita môže spôsobiť rozpad prúdu vlákna na kvapôčky v dôsledku nedostatku zapletenia reťazí.

Molárna hmotnosť polyméru ovplyvňuje viskozitu roztoku polyméru. Polyméry s nízkou molekulovou hmotnosťou zvyčajne vedú k tvorbe guľôčok, zatiaľ čo polyméry s vysokou molekulovou hmotnosťou tvoria vlákna s väčšími priermi. Okrem toho pri použití polymérov s nízkou molárnou hmotnosťou dochádza k „elektrosprejovaniu“ namiesto „elektrického zvlákňovania“. Výsledkom elektrosprejovania sú malé kvapôčky v dôsledku nestabilnej tvorby prúdu.

Vplyv povrchového napätia polymérneho roztoku na veľkosť alebo morfológiu nanovlákn je kontroverzný. Závisí to od rôznych systémov polymérov a rozpúšťadiel. Znížením povrchového napätia polymérneho roztoku možno získať vlákna bez guľôčok. Hladké vlákna sa získajú, keď sa povrchové napätie rozpúšťadla zníži pridaním alkoholu. Nižšie povrchové napätie však nie je vždy vhodné pre elektrostatické zvlákňovanie [53].

3.5 Elektrostatické zvlákňovanie

Elektrostatické zvlákňovanie sa využíva už takmer storočie na spracovanie polymérov a príbuzných materiálov na nanovlákná s kontrolovateľným

zložením, priemerami, pórovitosťou a poréznymi štruktúrami pre rôzne aplikácie. Elektrostatické zvlákňovanie je relatívne nemateriálovo špecifický proces výroby nanovláknien a jeho princíp je dobre známy. Na predĺženie polymérneho roztoku alebo taveniny z hrotu zvlákňovacej dýzy je potrebné vysoké napätie. Vlákna sa môžu zhromažďovať v rôznych zostavách v závislosti od typu kolektora. Vďaka svojej vysokej pórovitosti a veľkému povrchu je netkaná rohož z elektrospriadaných nanovláknien vysoko preskúmaná v niekoľkých aplikáciách, ako je tkanivové inžinierstvo a bola komerčne používaná na výrobu vzduchových filtrov. Navyše, nedávno získala záujem v oblasti filtrácie tekutín [54].

3.5.1 Popis elektrostatického zvlákňovania

Elektrostatické zvlákňovanie, tiež známe ako elektrospinning, je uznávaný ako stará nanotechnológia znovuobjavená pre moderné požiadavky, ktorá sa intenzívne praktizuje v laboratóriách a priemyselných odvetviach po celom svete. Elektrostatické zvlákňovanie predstavuje veľmi jednoduchú a nákladovo efektívnu metódu, ale je to zložitý proces, ktorý zásadne závisí od niekoľkých hlavných spracovateľských a technických parametrov. Kvalita elektricky zvlákňovaných vlákien je výrazne ovplyvnená nasledujúcimi viacerými vplyvnými faktormi:

1. Vlastnosti roztoku: koncentrácia, stupeň polymerizácie, viskozita a povrchové napätie polyméru.
2. Ihly: monoaxiálne, koaxiálne, triaxiálne a bezihlové.
3. Kolektor: stacionárny kolektor, bubnový rotačný kolektor a rýchlosť otáčania.
4. Veličiny elektrostatického zvlákňovania: napätie, rýchlosť posuvu, vzdialenosť, teplota a vlhkosť [55].

Metóda elektrostatického zvlákňovania, ktorú spopularizovali Doshi a Reneker, pozostáva z poháňania prúdu polymérneho roztoku cez vysoké elektrické pole, čím sa prúd tekutiny stredného rozmeru mení na vlákna s nanorozmerom. Rozpúšťadlo vybrané na prípravu roztoku polyméru musí mať vhodný tlak pár, viskozitu a povrchové napätie na podporu integrity vlákna. Okrem týchto kľúčových faktorov si metódy elektrostatického zvlákňovania vyžadujú pochopenie ďalších parametrov, ktoré ovplyvňujú tvorbu Taylorovho kužela a nestabilitu prúdu, menovite vodivosť roztoku alebo taveniny, elektrostatiku, intenzitu elektrického poľa, povrchový náboj a ionizačné pole [56].

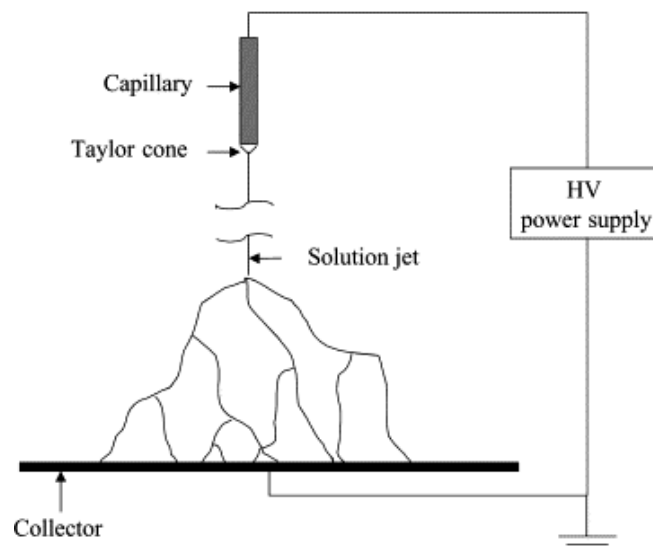
Medzi dýzou a kolektorom je usporiadané elektrostatické pole a roztok polyméru je vypudzovaný z dýzy smerom ku kolektoru v dôsledku pôsobenia elektrickej sily. Rozpúšťadlo sa z prúdu polyméru vyparuje, ale prúd tiež podlieha nestabilite, ktorá je zodpovedná najmä za nano-veľkosť vlákien a ktorá ovplyvňuje aj morfológiu formujúcich sa vlákien. Široká škála parametrov vrátane parametrov riešenia, procesu a okolitého prostredia ovplyvňuje proces elektrického zvlákňovania a vlastnosti formovania vláknitého rúna. Theron a kol. napríklad skúmal vplyv riadiacich parametrov, napätia, prietoku roztoku, koncentrácie, molekulovej hmotnosti, vzdialenosti a stupňa rozpúšťadla, na elektrický prúd a hustotu náboja prúdu polyméru pri elektrostatickom zvlákňovaní [57].

Elektricky zvlákňovateľný polymérny roztok alebo tavenina musia byť schopné niesť náboj a mať dostatočnú viskozitu, aby sa roztiahli bez toho, aby sa rozpadli na kvapôčky. Na vykonanie postupu sú potrebné tri hlavné požiadavky: zdroj vysokého napätia, kapilárna trubica s malou ihlou a uzemnená zberná clona. Kapilárna trubica sa naplní polymérnou taveninou alebo roztokom ako počiatočný krok v štádiu spracovania. Vysoké napätie, zvyčajne medzi

1 až 30 kV, sa aplikuje na suspendovanie kvapiek roztoku polyméru, aby sa elektrizoval povrch kvapaliny. To spôsobí, že sa kvapôčka deformuje na kužeľovitý objekt známy ako Taylorov kužeľ. Nabitý prúd roztoku je poháňaný z hrotu Taylorovho kužeľa, keď sa elektrické napätie blíži ku kritickému hodnote, pretože elektrostatická sila prekonáva povrchové napätie kvapiek. Keď prúd smeruje ku kolektoru, rozpúšťadlá stuhnú alebo sa odparia za menej ako desatinu sekundy. Existujú tri typy nestability, ktorým môže prúd počas tohto procesu prejsť, a to: Rayleighova nestabilita, nestabilita v ohybe a nestabilita bičovania [58].

Proces elektrostatického zvlákňovania využíva vytváranie elektricky nabitých prúdov z polymérneho roztoku alebo taveniny, ktoré pri odparovaní rozpúšťadla vytvárajú nanovlákná. Vysoko nabitá vlákna sú poľom nasmerované smerom k opačne nabitému kolektoru, ktorým môže byť plochý povrch alebo rotujúci bubon, na zber vlákien. Pri bežných konvenčných spriadacích technikách je vlákno vystavené skupine ťahových, gravitačných, aerodynamických, reologických a zotrvačných síl. Pri elektrostatickom zvlákňovaní sa spriadanie vlákien dosahuje predovšetkým ťahovými silami, ktoré vznikajú v axiálnom smere toku polyméru indukovanými nábojmi v prítomnosti elektrického poľa [59]. Typický prístroj na elektrostatické zvlákňovanie obsahuje vysokonapäťový zdroj energie, injekčnú pumpu na riadenie prietoku polyméru, zvlákňovacia dýza (napr. lekárska ihla s tupým hrotom) a vodivý zberač na zachytávanie elektricky zvlákňovaných vlákien. Elektrostatické zvlákňovanie možno považovať za elektrohydrodynamický proces závislý od rozdielu potenciálov na vytvorenie prúdu kvapaliny, po ktorom nasleduje mechanické ťahovanie, predlžovanie a sušenie za vzniku vlákien. Keď sa vlákna zhromažďujú, vytvorí sa elektricky zvlákňovaná membrána s 3D topografiou, vysokou pórovitosťou a veľkým povrchom, pričom si zachováva mechanickú integritu a kontinuitu vlákna [60].

Na obrázku 2 je schematicky znázornený proces elektrostatického zvlákňovania. Kapiláru je možné umiestniť kolmo k zemi a nechať, aby polymérna kvapalina kvapkala pomocou gravitácie na kolektor položený pod ňou. V niektorých prípadoch môže byť kapilára naklonená pod definovaným uhlom, aby sa riadil prietok kvapaliny. V iných prípadoch môže byť kapilára horizontálna a na iniciáciu kvapky sa používa čerpadlo, čerpadlo sa používa aj v prípade vertikálneho napájania. Elektróda môže byť vložená buď do polymérnej tekutiny alebo umiestnená na hrot kapiláry, ak sa používa injekčná striekačka s kovovou ihlou.



Obrázok 2: Schéma zariadenia na elektrostatické zvlákňovanie

Kolektorom je zvyčajne rovný plech alebo mriežka, ktorá môže byť pokrytá tkaninou. Elektrostatické zvlákňovanie z polymérnych tavenín vo vákuu je výhodné, pretože je možné použiť vyššiu intenzitu elektrického poľa na veľké vzdialenosti a vyššiu teplotu ako vo vzduchu [61].

3.5.2 Prístroj pre elektrostatické zvlákňovanie

Elektrospinningový prístroj pozostáva z troch hlavných častí:

1. Kapilárna trubica (zásobník polymérov) s pipetou alebo ihlou malého priemeru

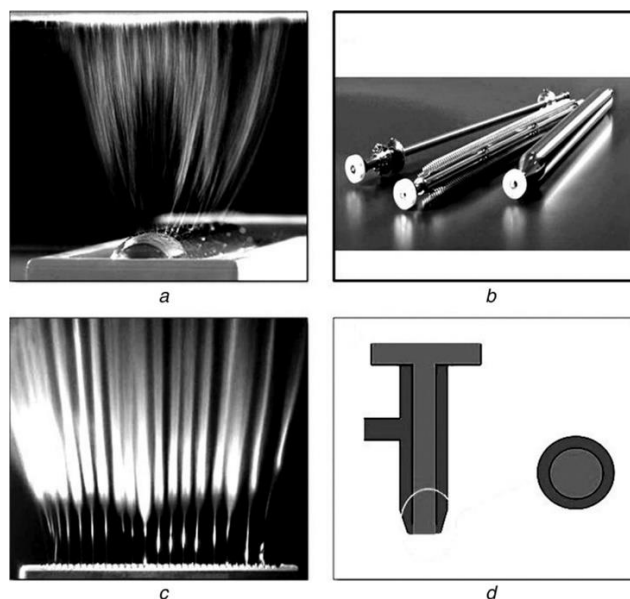
V tejto časti sa polymérny roztok rezervuje a následne aplikuje pre prípravu nanovlákien. V konvenčnom elektrostatickom zvlákňovaní sa polymérne roztoky prenášajú zo skúmavky pomocou pipety alebo ihly a držia sa na hrote ihly pomocou povrchového napätia, čím vytvárajú kužeľ známy ako Taylorov kužeľ. V alternatívnom type elektrostatického zvlákňovania, bez trysky, sa nepoužíva trubica a ihla, ale namiesto nich sa používa rotujúci bubon, ktorý sa ponorí do kúpeľa s tekutým polymérom.

Typy elektrostatického zvlákňovania podľa hrotu ihly (dýzy) sú:

- I. „Bez trysky“: Tenká polymérová vrstva pokrýva povrch bubna a je vystavená vysokonapäťovému elektrickému poľu. Ak napätie prekročí kritickú hodnotu, vytvorí sa niekoľko prúdov, ktoré sa rozložia po povrchu elektródy s periodicitou danou rovnicou.

Na obrázku 3 sú zobrazené rôzne typy elektrostatických dýz:

- a) Bez trysky: pri tejto metóde sa namiesto trysky používa bubon
- b) Rôzne typy bubnov
- c) Viacdýza
- d) Schematický náčrt jadrová-tryska: vnútorná trubica je naplnená roztokom liečiva a vonkajšia trubica roztokom polyméru



Obrázok 3: Rôzne typy elektrostatických dýz

II. „Dýza“:

- a) „Jednoduchá tryska“: V jednoduchej tryske je iba jedna trubica a vstrekať sa do nej môže len jeden typ polymérneho roztoku.
- b) „Dýza s jadrom a plášťom“: Trysky v tejto kategórii pozostávajú z jednej alebo viacerých rúrok vo vnútri, ktoré poskytujú nanovlákná jadro-plášť. Tento typ trysiek umožňuje podávanie liečiv, pričom vo vnútornej trubici môže byť naplnený roztok liečiva a vo vonkajšej trubici roztok polyméru.

Okrem toho môžu byť dýzy pevné alebo pohyblivé. V pevných dýzach sa vlákna zhromažďujú v jednom bode na povrchu, ale v pohyblivých dýzach je možné nastriekať polymér na celý záujmový povrch.

2. Dodávateľ vysokého napätia

V tejto časti sa generuje elektrické pole, ktoré vyvoláva jednoosové napínanie viskoelastického prúdu odvodeného z roztoku polyméru. Zariadenie na elektrostatické zvlákňovanie môže mať jedného alebo dvoch vysokonapäťových dodávateľov. V niektorých prípadoch je na iniciáciu prúdu polyméru potrebné vysoké elektrické polia (napríklad 60 kV alebo vyššie), aby prekonalí povrchové napätie polyméru. Na generovanie vyššieho napätia sa preto potrebujú dve vysoké elektrické polia, z ktorých jedno má kladný náboj a druhé záporný náboj.

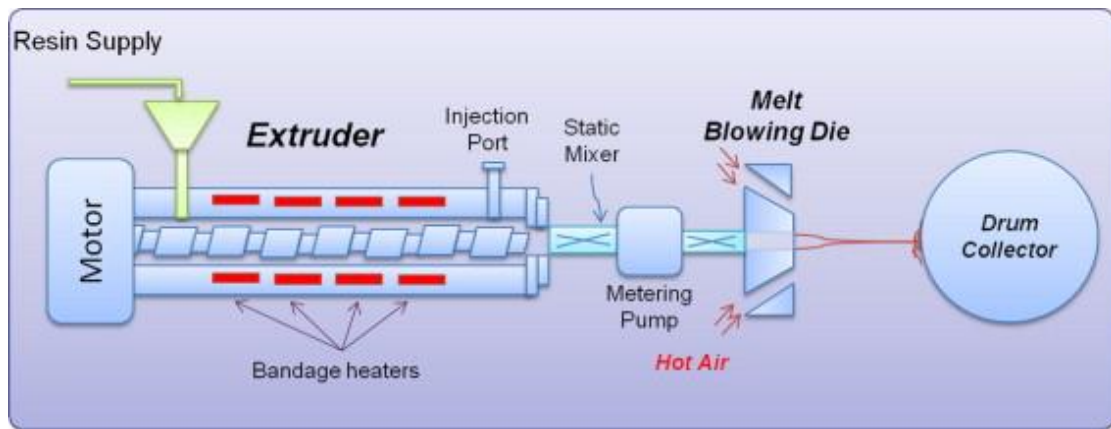
3. Zberač

Kolektor zachytáva na svojom povrchu syntetické nanovlákná, môže byť zafixovaný alebo sa otáčať. Vo fixovanom stave sa kolektor nepohybuje, a preto sú orientácie syntetických nanovlákién náhodné. Ak sa rotačný kolektor otáča veľmi vysokou rýchlosťou až 1000 otáčok za minútu, elektricky zvlákňované nanovlákná by mali byť orientované po obvode [62].

3.6 Meltblowing

Obrázok 4 znázorňuje schematickú ilustráciu procesu, pri ktorom vysokorýchlostné prúdy vzduchu narážajú na polymér, keď vychádza zo zvlákňovacej dýzy. Brzdná sila spôsobená vzduchom rýchlo zoslabuje vlákno a znižuje jeho priemer až stokrát v porovnaní s priemerom dýzy. Typické membrány fúkané z taveniny majú veľkosť vlákien v rozmedzí od 0,5 do 10 μm s priemerným priemerom vlákna 1–2 μm . Tkanivá z taveniny sú známe svojou vysokou povrchovou plochou na jednotku hmotnosti, vysokou izolačnou hodnotou a vysokými bariérovými vlastnosťami. Tieto vlastnosti ich robia vynikajúcimi kandidátmi na výrobu vysokokvalitných filtrov, chirurgických

rúšok a plášťov, ochranného oblečenia a podobne, ktoré majú bariérové vlastnosti pre tekutiny a priedušnosť základnými vlastnosťami.



Obrázok 4: Schéma procesu elektrostatického zvlákňovania

[63]

3.7 Nanospider

Nanospider je jednou z najžiadanejších technológií pre kontinuálnu a hromadnú výrobu vrstiev nanovlákien. Princíp zariadenia Nanospider je založený na rotujúcej elektróde ponorenej do polymérového kúpeľa. Úlohou rotujúcej valcovej elektródy je privádzať roztok na povrch valca. Najväčší rozdiel medzi prvou (valcové elektrostatické zvlákňovanie) a novou generáciou Nanospider (elektrostatické zvlákňovanie drôtu) je v type elektródy a podávacej jednotky. V technológii novej generácie je nádrž alebo kúpeľ, v ktorom sa nachádza polymérny roztok, z ktorého sa roztok pomocou dopravníkového drôtu privádza k rotujúcej elektróde, kde dochádza k tvorbe nanovlákien. Efektívne elektrostatické pole na tenkom drôte je vyššie ako na povrchu valca, čo môže ovplyvniť spriadateľnosť rôznych polymérnych roztokov. Okrem toho, uzavretý dávkovací systém umožňuje udržiavať viskozitu roztoku stabilnú v priebehu celého procesu. Na otvorenom povrchu niektoré hygroskopické polymérne roztoky môžu ľahko absorbovať vlhkosť a časom meniť viskozitu a vlastnosti

roztoku. Pomocou drôtovej elektródy zariadenie Nanospider zabraňuje nežiaducim zmenám v roztoku polyméru pri dlhodobom používaní. Použitie dopravníkového drôtu umožňuje ľahko odstrániť použitý roztok a nový čerstvý roztok vždy privádzať k elektróde [64].

4 METODIKA

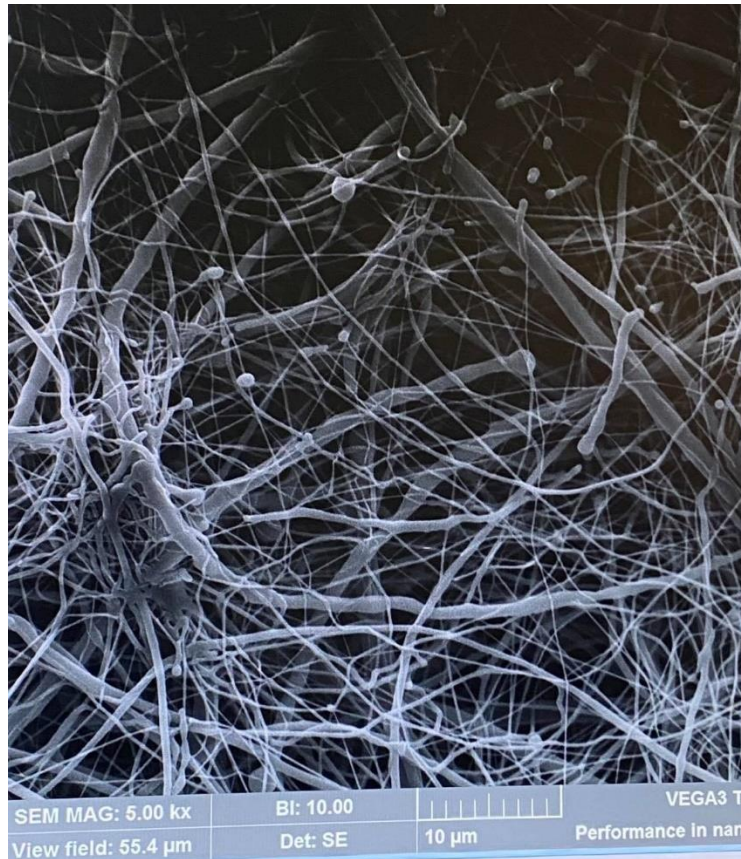
Praktická časť je zameraná na zistenie schopnosti nanovláknových textílii zachytiť mikroorganizmy, v tomto pokuse sa konkrétne jedná o baktériu *Escherichia coli*. V laboratóriu som kultivovala baktérie *Escherichia coli* na pevnom agare. Následne po 24-hodinovej inkubácii pri 37 °C som túto kultúru preniesla do tekutého média a dala kultivovať na 24 hodín pri 37 °C. Nakoniec som filtrovala túto bakteriálnu kultúru skrz nanovláknové membrány pomocou filtrácie za zníženého tlaku za použitia vákua a zmerala ich optickú hustotu pri 600 a 650 nm a údaje som štatisticky vyhodnotila.

4.1 Príprava nanovlákien

V rámci praktickej časti som mala možnosť ísť do Univerzitného centra energeticky efektívnych budov ČVUT, kde som sa zoznámila s postupom prípravy nanovlákien, s obsluhou prístroja Nanospider™ NS 1S500U, prípravou preparátu a vyhodnotením kvality nanovlákná pomocou elektrónového mikroskopu VEGA 3 SBU.



Obrázok 5: Nanospider (vlastný zdroj)



Obrázok 6: Nanovlákná pozorované mikroskopom (vlastný zdroj)

4.2 Kultivácia baktérie *Escherichia coli*

Pomôcky a chemikálie

- Laboratórna váha, navažovacia lodička, uzatvárateľná nádoba, laboratórna lyžička, odmerný valec, skúmavky, pipeta a náhradné špičky, inokulačná kľučka, inkubátor, laminárny box, buničina, autokláv Micro 8 od výrobcu J.P. Selecta
- Yeast extract, beef extract, pepton, chlorid sodný, destilovaná voda
- *Escherichia coli*

Baktériu *Escherichia coli* mi poskytlo školské laboratórium vypestovanú na agare v Petriho miske. Z primokultúry som preočkovala kolóniu na nový pevný agar a nechala kultivovať 24 hodín pri 37 °C.

Pripravila som si tekuté médium pre kultiváciu baktérie: navážení 0,5 g beef extractu, 1 g Yeast extractu, 2,5 g peptonu a 2,5 g NaCl a pridala ich do 500 ml destilovanej vody do uzatvárateľnej nádoby a dobre premiešala.

Zmes som vysterilizovala v autokláve, pri 121 °C po dobu 30 minút pri tlaku 1,5 baru.



Obrázok 7: Autokláv (vlastný zdroj)

Po sterilizácii som zmes nechala vychladnúť a pomocou pipety som do dvoch skúmaviek preniesla 13 ml média.

Pomocou inokulačnej kľučky som naočkovala kolóniu baktérie z agaru a preniesla ju do skúmaviek s tekutým médiom.

Skúmavky som zazátkovala buničinou a dala kultivovať do inkubátoru pri 37 °C po dobu 24 hodín.

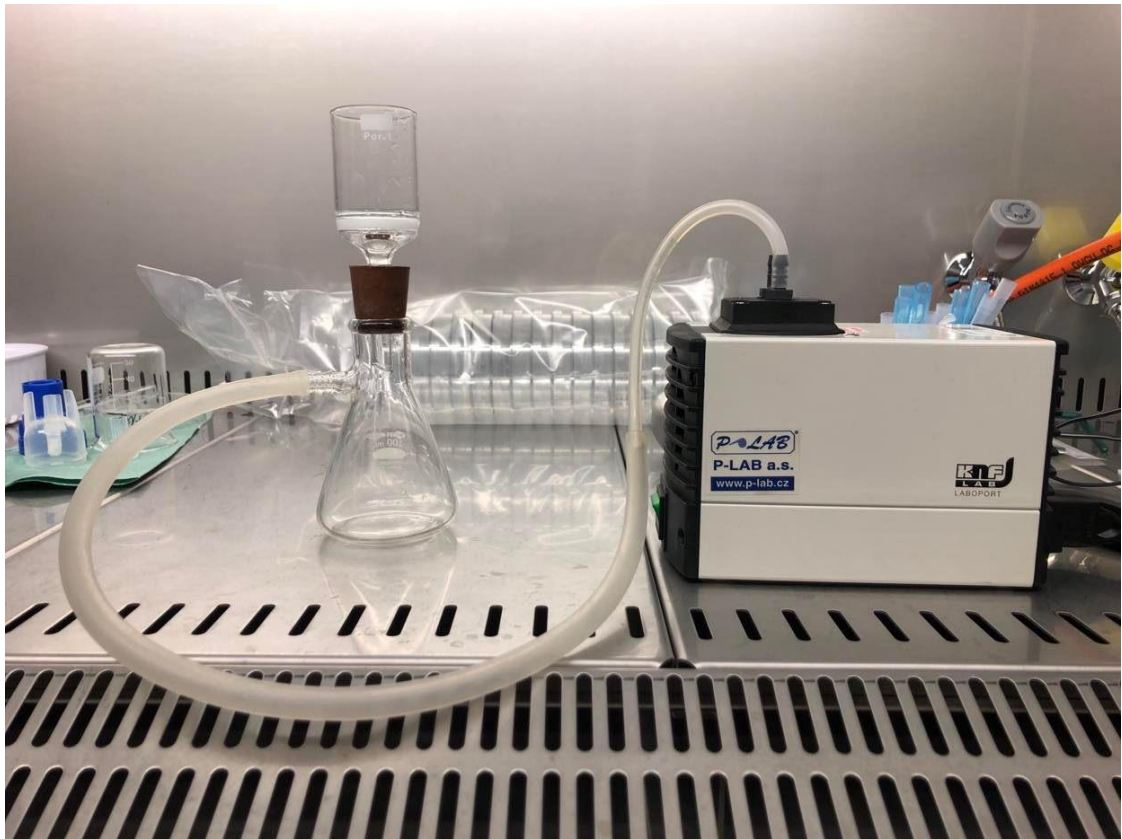
4.3 Filtrácia bakteriálnej kultúry a meranie optickej hustoty

Pomôcky a chemikálie

- Vortex, pipety a náhradné špičky, kyvety, fix, liehová fixka, UV-Vis-NIR spektrofotometer UV-3600 Plus od výrobcu Shimadzu, odsávací banka, gumová zátku, nuč s fritou pórovitosť S1, gumová hadička, vata, vákuová výveva N86 KN.18 od výrobcu KNF, nožnice, pinzeta
- Nanovláknové textílie PAN (vyrobené z polyakrylonitrilu) o plošnej hustote 1,34 g/m², 2,68 g/m² a 4,02 g/m² zhotovené na spundbond textílií, 1,34 g/m² na alobale dodané od UCEEB ČVUT (Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT)
- Kultúra *Escherichia coli* v tekutom médiu, čisté tekuté médium

Zostavila som si filtračnú aparatúru nasledujúcim spôsobom:

1. Do odsávacej banky som vložila gumovú zátku s dierou, ktorá mala rozmer taký, aby sa do nej vošla fritu a zároveň, aby bola fritu utesnená a neprenikal do nej vzduch.
2. Odsávaciu banku som gumovou hadičkou pripojila k vákuovej výveve, aby som vytvorila filtráciu za zníženého tlaku, do gumovej hadičky som umiestnila malý kúsok vaty, ktorá slúžila ako filter, aby sa žiadna prípadná tekutina nedostala do vákuovej vývevy.



Obrázok 8: Filtračná aparatúra (vlastný zdroj)

Po 24-hodinovej inkubácii baktérie *Escherichie coli* v tekutom médiu som bakteriálnu kultúru dôkladne pretrepala pomocou vortexu.

Do kyvety som si preniesla pomocou pipety 1,5 ml bakteriálnej kultúry a zmerala optickú hustotu na spektrofotometri pri vlnovej dĺžke 600 a 650 nm.

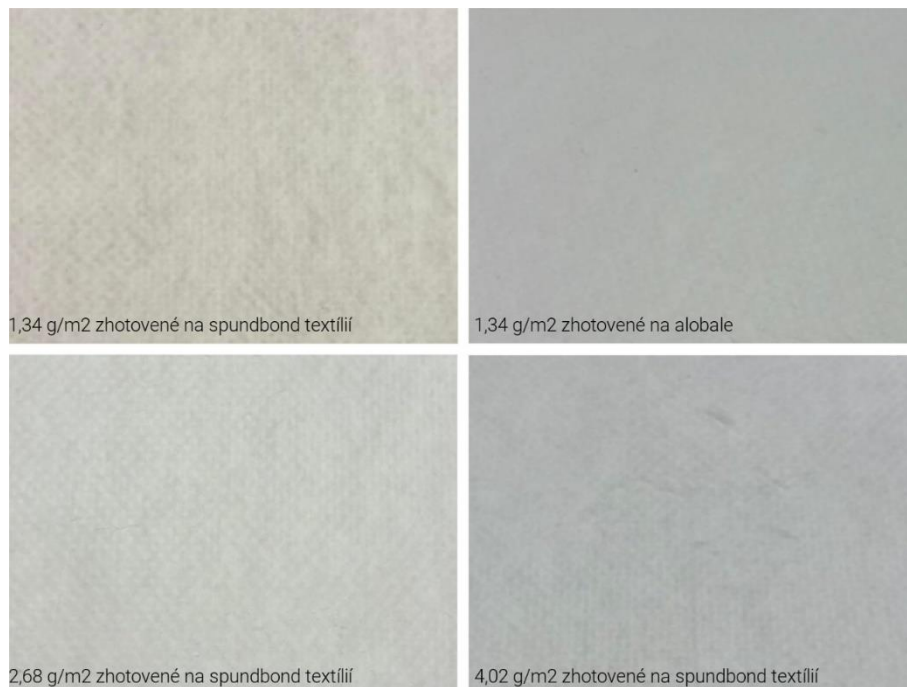
Odobrala som si rovnaké množstvo bakteriálnej kultúry a prefiltrovala ho cez fritu s pórovitosťou S1, prefiltrovaný obsah som si preniesla do kyvety a zmerala optickú hustotu pri 600 a 650 nm, aby som zistila aké množstvo baktérií zachytí samotná fritu.

Merania som opakovala 3x pre každú vzorku.



Obrázok 9: Spektrofotometer (vlastný zdroj)

Z každej NV textílie som si vystrihla kruhové časti tak, aby pokrývali celý povrch dna frity, celkovo som vystrihla 3 kusy z každého druhu NV textílií, ktoré som následne použila v pokuse.

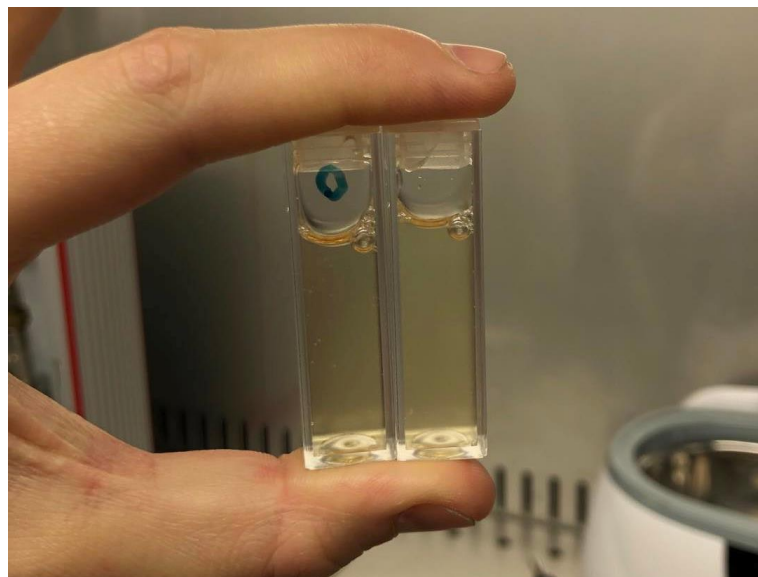


Obrázok 10: NV textílie (vlastný zdroj)

Do čistej frity som jej dno pomocou pinzety položila NV textíliu a pomocou pipety som nasala 1,5 ml bakteriálnej kultúry, ktorú som prefiltrovala cez každý druh NV textílie.

Prefiltrované obsahy som preniesla do kyviet a zmerala ich optickú hustotu pri 600 a 650 nm, ako štandard pre optickú hustotu 0 som použila nekontaminované tekuté médium.

Filtračnú aparatúru som po každom filtrovaní prepláchla destilovanou vodou a etanolom, prebytočné množstvo som vysala, aby fritka bola pre každé nové filtrovanie dekontaminovaná.



Obrázok 11: Prefiltrovaná bakteriálna kultúra a čisté tekuté médium (vlastný zdroj)

4.4 Štatistické vyhodnotenie

Všetky výsledky sú použité z vlastného pokusu, ktorý som vykonávala v školských laboratóriách ČVUT FBMI. Namerané hodnoty som následne spracovala a vyhodnotila. Na spracovanie nameraných hodnôt som použila program Microsoft Office Excel.

Z nameraných hodnôt optickej hustoty pri vlnovej dĺžke 600 a 650 nm z tabuľky 2 som si vypočítala priemer, smerodajnú odchýlku a následne urobila T-test pre vlákna s rovnakou plošnou hustotou 1,34 g/m², ale rozdielnym podkladovým materiálom, aby som porovnala stredné hodnoty jednej skupiny so strednými hodnotami druhej skupiny.

Smerodajná odchýlka je štatistický ukazovateľ, ktorý udáva rozptyl hodnôt v danom súbore dát. Konkrétne sa jedná o priemernú vzdialenosť hodnôt od priemeru súboru. V tomto prípade boli hodnoty veľmi nízke, to znamená, že boli pomerne blízko priemeru a majú nízku mieru variability.

T-test je štatistická metóda používaná k porovnávaniu priemerov dvoch vzoriek dát a testovaniu, či sú tieto vzorky štatisticky významne odlišné. Pomocou T-testu potvrdzujem alebo zamietam nulovú hypotézu, moja nulová hypotéza bola, či obe NV textílie s rovnakou plošnou hustotou majú schopnosť zachytiť rovnaké množstvo baktérií.

Hodnotu významnosti α som zvolila na 0,05, to znamená, že výsledok testu určí 95% pravdepodobnosť, či sú tieto 2 skupiny štatisticky významne odlišné. Výpočet T-testu som urobila v programe Microsoft Excel pomocou funkcie =T.test(), vyšli mi hodnoty 0,834019 pri 600 nm a 0,561438 pri 650 nm, tieto hodnoty sú pravdepodobnosti, nazývané tiež hodnoty p.

Pokiaľ je hodnota p vyššia než stanovená hladina významnosti, znamená to, že neexistuje dostatočný dôkaz na to, aby bol pozorovaný rozdiel medzi dvoma súbormi dát štatisticky významný. V tomto prípade platí $0,834019 > 0,05$ a $0,561438 > 0,05$, takže nezamietam nulovú hypotézu. Vypočítané hodnoty sú poznačené v Tabuľke 3 a 4.

Z tabuľky 3 a 4 som si vypočítala aké množstvo baktérii zachytili jednotlivé NV textílie. Od priemernej hodnoty optickej hustoty prefiltrovanej bakteriálnej kultúry cez fritu som odpočítala priemerné hodnoty optickej hustoty prefiltrovaných kultúr cez jednotlivé NV textílie, hodnotu som vynásobila 100 a vydělila priemernou hodnotou optickej hustoty prefiltrovanej bakteriálnej kultúry cez fritu. Tieto hodnoty sú popísané v tabuľke 5.

Na výpočet lineárnej regresie logaritmu som použila výpočet podielu jednotlivých priemerných hodnôt optickej hustoty kultúry prefiltrovanej cez NV textíliu a priemernej hodnoty optickej hustoty kultúry prefiltrovanej cez fritu. Tento výpočet udáva množstvo baktérií, ktoré prešli filtrom.

Pre tieto hodnoty som vypočítala hodnotu lineárnej regresie, tak že som si vytvorila ďalší stĺpec, v ktorom som tieto hodnoty zlogaritmovala pomocou funkcie =LOG10(), týmto som dostala súbor nezávislých premenných.

Ako súbor závislých premenných som použila hodnoty plošnej hustoty jednotlivých NV textílií.

Pomocou funkcie =LINEST((hodnoty nezávislých premenných);(hodnoty závislých premenných)) som vypočítala koeficienty lineárnej regresie. Tieto koeficienty som použila vo výpočte, v ktorom som vypočítala akú plošnú hustotu, by mala mať NV textília, aby zachytila 95, 98, 99 a 99,9 % baktérií.

5 VÝSLEDKY

5.1 Namerané hodnoty optickej hustoty

Namerané hodnoty optickej hustoty sú popísané v Tabuľke 1 a Tabuľke 2. Tieto hodnoty som štatisticky spracovala a výsledky sú popísané v ďalších tabuľkách.

Tabuľka 1: Optická hustota pôvodnej a prefiltrovanej bakteriálnej kultúry

Bakteriálna kultúra	Optická hustota pri 600 nm	Optická hustota pri 650 nm
Pôvodná bakteriálna kultúra	0,507	0,473
	0,514	0,478
	0,510	0,476
Prefiltrovaná kultúra cez fritu bez nanovláknového filtra	0,422	0,410
	0,426	0,414
	0,425	0,414

Tabuľka 2: Optická hustota prefiltrovanej bakteriálnej kultúry cez nanovláknové textílie

Plošná hustota NV filtra [g/m ²]	Optická hustota pri 600 nm	Optická hustota pri 650 nm
1,34	0,028	0,019
	0,024	0,016
	0,025	0,018
1,34 (na alobale)	0,025	0,017
	0,027	0,018
	0,024	0,016
2,68	0,016	0,010
	0,015	0,009
	0,015	0,008
4,02	0,009	0,005
	0,010	0,006
	0,008	0,005

5.2 Štatisticky spracované hodnoty

Tabuľka 3: Vypočítané hodnoty priemernej optickej hustoty, smerodajnej odchýlky a T.test pri 600nm

Meranie pri 600 nm	Priemerná optická hustota	Smerodajná odchýlka	T.test
Pôvodná bakt. kultúra	0,510333	0,002867	
Prefiltrovaná bakt. kultúra	0,424333	0,0017	
NV 1,34 g/m ²	0,025667	0,0017	0,834019
NV 1,34 g/m ² na alobale	0,025333	0,001247	
NV 2,68g/m ²	0,015333	0,000471	
NV 4,02 g/m ²	0,009	0,000816	

Tabuľka 4: Vypočítané hodnoty priemernej optickej hustoty, smerodajnej odchýlky a T.test pri 650nm

Meranie pri 650 nm	Priemerná optická hustota	Smerodajná odchýlka	T.test
Pôvodná bakt. kultúra	0,475667	0,002055	
Prefiltrovaná bakt. kultúra	0,412667	0,001886	
NV 1,34 g/m ²	0,017667	0,001247	0,561438
NV 1,34 g/m ² na alobale	0,017000	0,000816	
NV 2,68g/m ²	0,009000	0,000816	
NV 4,02 g/m ²	0,005333	0,000471	

Tabuľka 5: Zachytené množstvo baktérií na NV textíliách

Plošná hustota nanovláknového filtra [g/m ²]	Množstvo zachytených baktérií pri 600 nm [%]	Množstvo zachytených baktérií pri 650 nm [%]
1,34	93,95	95,72
1,34 na alobale	94,03	95,88
2,68	96,39	97,82
4,02	97,88	98,71

Tabuľka 6: Množstvo baktérií, ktoré prešlo skrz NV textílie a ich logaritmus pri 600 nm

Množstvo baktérií, ktoré filter nezachytil	Množstvo baktérií, ktoré filter nezachytil [%]	Log10 hodnôt nezachytených baktérií
0,060487	6,0487	-1,21834
0,059701	5,9701	-1,22401
0,036135	3,36135	-1,44207
0,02121	2,121	-1,67346

Tabuľka 7: Množstvo baktérií, ktoré prešlo skrz NV textílie a ich logaritmus pri 650 nm

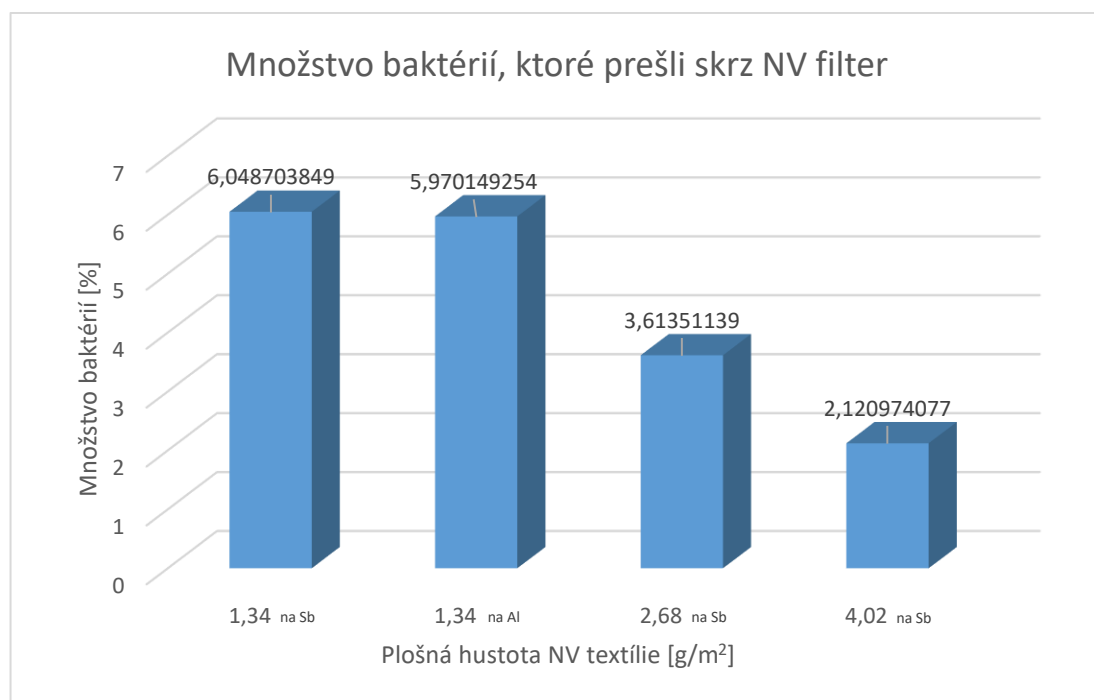
Množstvo baktérií, ktoré filter nezachytil	Množstvo baktérií, ktoré filter nezachytil [%]	Log10 hodnôt nezachytených baktérií
0,042811	4,2811	-1,36844
0,041195	4,1195	-1,38515
0,021809	2,1809	-1,66136
0,012924	1,2924	-1,88860

Tabuľka 8: Vypočítaná lineárna regresia logaritmu

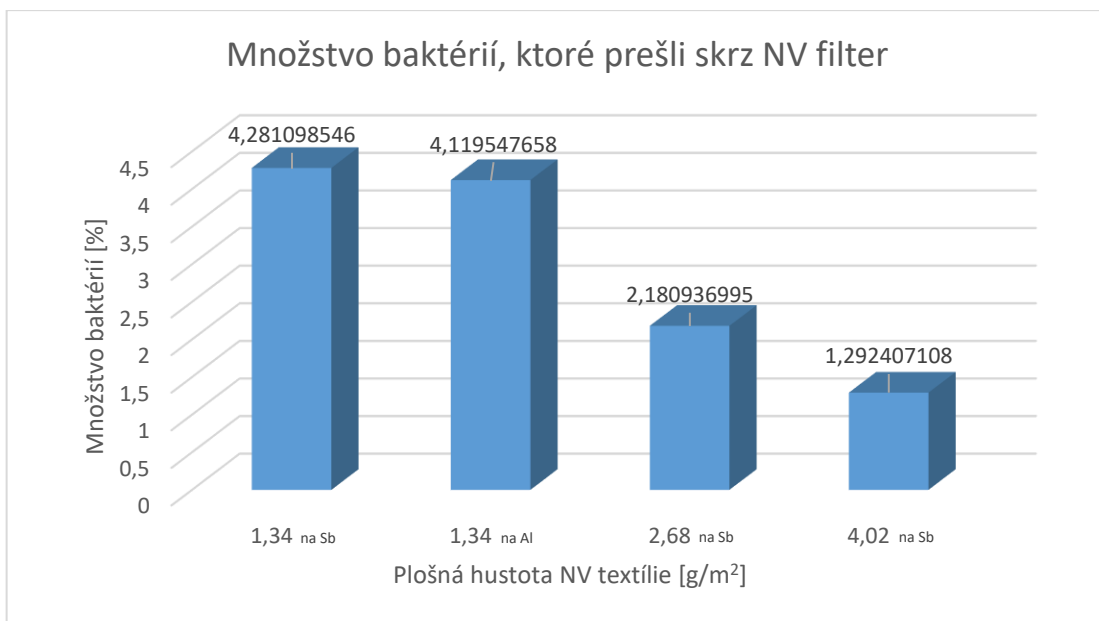
Lineárna regresia logaritmu pri 600 nm	
-5,93642	-5,90349
Lineárna regresia logaritmu pri 650 nm	
-5,16292	-5,79118

Tabuľka 9: Výpočet plošnej hustoty NV textílie pre účinnosť 95, 98, 99 a 99,9 %

Plošná hustota pri rôznych účinnostiach pri 600 nm				
Účinnosť	95 %	98 %	99 %	99,9 %
Plošná hustota [g/m ²]	4,03	6,39	8,18	14,12
Plošná hustota pri rôznych účinnostiach pri 650 nm				
Účinnosť	95 %	98 %	99 %	99,9 %
Plošná hustota [g/m ²]	2,85	4,90	6,46	11,62



Graf 1: Závislosť plošnej hustoty NV filtra pri záchyťe baktérií pri 600 nm



Graf 2: Závislosť plošnej hustoty NV filtra pri záchytc baktérií pri 650 nm

6 DISKUSIA

Problém znečistenia životného prostredia, konkrétne ovzdušia a vody, predstavuje veľké riziko pre ľudí. Každoročne má mnoho krajín problém so zásobami pitnej vody, ktorá je kontaminovaná mikroorganizmami. Mikroorganizmy prenášané kvapôčkami alebo aerosólom môžu predstavovať problém až globálneho výskytu. Tieto problémy sú závažne hlavne pre ľudí pracujúcich v zdravotníctve a ich pacientov, kde vplyv mikroorganizmov, ktoré kontaminujú pracovné prostredie môže byť veľmi nebezpečné pre ich zdravotný stav. Preto je dnes populárne prichádzať na trh s novými metódami, ktoré eliminujú mikroorganizmy z prostredia, medzi ktoré patria rôzne typy filtrácie.

Čoraz viac sa do popredia dostáva metóda filtrácie cez nanovláknové textílie. Pretože NV sú schopne zachytiť častice veľmi malých rozmerov, medzi ktoré patria baktérie a vírusy. Existuje mnoho metód a dostupných materiálov na výrobu nanovláknien, hlavne materiály na báze biopolymérov, ktoré sa získavajú z prírodných a obnoviteľných zdrojov. Cieľom tejto práce bolo otestovať schopnosť nanovláknových textílií pri záchyťe baktérií.

Mojou modelovou baktériou bola *Escherichia coli*. V pokuse som zistila, že už aj najnižšia plošná hustota 1,34 g/m² nanovláknovej textílie, ktorá bola použitá pre filtráciu zachytí viac ako 93 % baktérií.

Zmerala som optickú hustotu pre bakteriálne kultúry a ich filtráty pri vlnovej dĺžke 600 a 650 nm. Výpočty, ktoré vyšli pri 650 nm vykazujú vyššiu účinnosť filtrácie od záchyťu 95,72 % baktérií až po 98,71 %. Vlnová dĺžka 600 nm sa používa ako štandard pre meranie optickej hustoty u baktérie *E. coli*. Dalo by sa predpokladať, že keďže *E. coli* nie je pigmentovaná, na výbere vlnovej dĺžky nezáleží. Ako je však známe z viacerých pokusov publikovaných vo vedeckých časopisoch, medzi nepigmentovanými baktériami vykazovala *E. coli* najväčšiu

variáciu, ktorá neustále klesala so zvyšujúcou sa vlnovou dĺžkou. K tomuto poklesu dochádza, keď sa približuje Rayleighov režim, kde rozptyl nasleduje inverznú štvrtú mocninu s vlnovou dĺžkou. To znamená, že pri použití vyšších vlnových dĺžok sa zníži citlivosť metódy [65]. Pre väčšinu baktérií je štandardizovaná vlnová dĺžka, pri ktorej sa meria optická hustota bakteriálnej kultúry. Vlnová dĺžka 650 nm sa napríklad využíva pri meraní kultúr *Streptococcus thermophilus* [66]. Preto výsledky pri 650 nm vykazujú falošne lepšiu účinnosť záchytu baktérií. Je dôležité dbať na štandardy používané vo výskumných oblastiach, aby neboli publikované nepravdivé výsledky, ktoré v skutočnosti nedosahujú dané hodnoty. Výsledky v mojej práci preto hodnotím a považujem za správne pri 600 nm.

Ako som predpokladala so zvyšujúcou sa plošnou hustotou NV textílie stúpa účinnosť filtrácie. NV textílie s rozdielnou plošnou hustotou, ktoré mali ako podkladový materiál spundbond textíliu zachytili v priemere od 93,95 % do 97,88 % baktérií. NV textília s plošnou hustotou 1,34 g/m², ktorá mala ako podkladový materiál alobal zachytila 94,03 % baktérií. Z týchto hodnôt môžeme usudzovať, že pre účinnosť filtrácie je dôležitá plošná hustota NV a nie podkladový materiál.

Na webovej stránke covid portál, ktorú spravuje Ministerstvo zdravotníctva Českej republiky, v sekcii „roušky a respirátory“, sa uvádzajú informácie, že respirátory sa odlišujú svojimi filtračnými vlastnosťami, takže aj označením. Označenie je viazané na technickú normu, podľa ktorej je respirátor certifikovaný a je skúšaná jeho funkčnosť. Respirátory podľa európskej certifikácie sa značia napr. FFP2 a FFP3 . Skratka FFP vychádza z anglického termínu „filtering face piece“ (filtračná maska na tvár), číslo za týmto označením značí mieru ochrany, respektíve mieru priepustnosti respirátoru podľa Európskej normy. Respirátory triedy FFP2 musia zachytiť aspoň 94 % častíc nachádzajúcich sa vo vzduchu.

U respirátorov triedy FFP3 je to 99 % [67]. V tomto prípade, by sa dalo povedať, že tri zo štyroch testovaných NV textílií spĺňajú túto požiadavku respirátorov triedy FFP2. Dopočítala som si akú plošnú hustotu, by musela mať NV textília, aby sa dala použiť na výrobu respirátoru triedy FFP3, plošná hustota by musela byť 8,18 g/m², aby NV textília zachytila 99 % baktérií.

Podľa európskeho štandardu EN 14683:2019, ktorý určuje štandardné požiadavky na chirurgické masky sa tieto masky delia do 3 typov a to typ I, typ II a typ IIR. Rovnako existuje aj štandard pre Spojené štáty americké a ten delí masky tiež do 3 typov a to úroveň 1, úroveň 2 a úroveň 3. Nasledujúca tabuľka 8 popisuje účinnosť bakteriálnej filtrácie pre jednotlivé typy.

Tabuľka 8: Účinnosť bakteriálnej filtrácie podľa jednotlivých typov masiek

	US ASTM F2100-19			Európa EN 14683:2019		
	Úroveň 1	Úroveň 2	Úroveň 3	Typ I	Typ II	Typ IIR
Účinnosť bakteriálnej filtrácie [%]	≥95	≥98	≥98	≥95	≥98	≥98

Z mojich otestovaných NV textílií vyhovujú dve zo štyroch odskúšaných NV textílií požiadavke účinnosti bakteriálnej filtrácie úrovne 1 a typu I a to NV textílie s plošnou hustotou 2,68 g/m² a 4,02 g/m². Výpočet plošnej hustoty NV textílie pri záchyte 95 % baktérií vyšiel na 4,03 g/m². Hoci sa to prvotne môže zdať ako nesprávna hodnota, na tento výpočet som použila priemernú hodnotu optickej hustoty filtrátu bez NV textílie. Táto hodnota udáva presne spoľahlivú hodnotu plošnej hustoty bez ohľadu na materiál a typ NV textílie, aj keď v mojom pokuse NV textília o plošnej hustote 4,02 g/m² zachytila až 97,88 % baktérií, nemuselo by sa to vzťahovať na každý typ NV textílie. Preto je tento údaj

všeobecný. Plošná hustota pre záchyt aspoň 98 % baktérií by musela byť 6,39 g/m².

Podľa noriem schválenia respirátorov pre masky KF a respirátory FFP sa masky delia do nasledujúcich tried, ktoré sú vypísané v tabuľke 9.

Tabuľka 9: Účinnosť filtrácie v % pre respirátory v Európe a Kórei

	Kórea			Európa		
	KF80	KF94	KF99	FFP1	FFP2	FFP3
Účinnosť filtrovania [%]	≥80	≥94	≥99	≥80	≥94	≥99

[68]

Požiadavky účinnosti filtrovania pre KF80 a FFP1 respirátory splňujú všetky moje otestované NV textílie, účinnosť pre KF94 a FFP2 tri zo štyroch testovaných NV textílií a pre účinnosť KF99 a FFP3 by NV textília musela mať plošnú hustotu 8,18 g/m².

Samozrejme požiadavky na respirátory a chirurgické masky zahŕňajú omnoho viac požadovaných parametrov, ktoré nemôžem zaručiť, že splňajú tieto otestované NV textílie. Otestované NV textílie buď splňajú alebo nespĺňajú len požiadavku pre účinnosť bakteriálnej filtrácie.

Nákazy sa šíria predovšetkým kvapôčkami, aj keď boli NV textílie testované v tekutom prostredí, baktérie majú v každom prostredí rovnakú veľkosť a sú šírené predovšetkým vo forme kvapôčok, preto sa účinnosť NV textílií vzťahuje aj na záchyt v ovzduší.

7 ZÁVER

Cieľ tejto práce bol dosiahnutý. V teoretickej časti bola charakterizovaná baktéria *Escherichia coli*, výroba nanovláknien a ich využitie.

V praktickej časti bola zistená schopnosť jednotlivých nanovláknových textílií zachytiť baktérie *E. coli* z tekutého prostredia pomocou filtrácie. Výsledky nám ukázali, akú vysokú účinnosť záchytu baktérií majú nanovláknové textílie. Výsledky boli štatisticky spracované a bolo dopočítané akú plošnú hustotu musia mať jednotlivé nanovláknové textílie, aby eliminovali čo najväčšie množstvo baktérií z prostredia a aby zachytili množstvo rovnajúce sa štandardom záchytu baktérií pre chirurgické masky a respirátory pre dané krajiny. Pokusom a následným výpočtom bolo preukázané, že je možné regulovať množstvo zachytených mikroorganizmov zvolením vhodnej plošnej hustoty nanovláknovej textílie a to až na záchyt 99,9 % mikroorganizmov. V diskusii sú porovnané získané hodnoty so štandardmi, ktoré sú používané v Európe, Spojených štátoch amerických a Kórei. Väčšina testovaných nanovláknových textílií splňuje požiadavku na záchyt jednotlivého množstva baktérií pre dané chirurgické masky a respirátory.

Je overené, že nanovláknové textílie majú výbornú schopnosť eliminovať mikroorganizmy z prostredia. Ich čoraz väčšia dostupnosť na trhu, môže v budúcnosti výrazne prispieť ich využitím vo výrobe bežne používaných zdravotníckych pomôcok.

8 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
LPS	lipopolysacharid
InPEC	črevná patogénna <i>Escherichia coli</i>
ExPEC	extraintestinálna patogénna <i>Escherichia coli</i>
ETEC	enterotoxigénna <i>Escherichia coli</i>
EPEC	enteropatogénna <i>Escherichia coli</i>
EHEC	enterohemoragická <i>Escherichia coli</i>
EIEC	enteroinvazívna <i>Escherichia coli</i>
EAEC	enteroagregatívna <i>Escherichia coli</i> a
DAEC	difúzne adherentná <i>Escherichia coli</i>
UPEC	uropatogénna <i>Escherichia coli</i>
NMEC	<i>Escherichia coli</i> novorodeneckej meningitídy
APEC	vtáčia patogénna <i>Escherichia coli</i>
CDEC	<i>Escherichia coli</i> oddeľujúca sa od buniek
UTI	infekcie močových ciest
antigén O	somatický antigén

antigén K	kapsulárny antigén
antigén H	bičíkový antigén
sMac	Sorbitol MacConkey agar
PCR	polymerázová reťazová reakcia
CFU	jednotka tvoriaca kolónie
HlyA	α -hemolyzín
EHEC-HlyA	enterohemoragický hemolyzín <i>Escherichie coli</i>
ECM	extracelulárna matrica
PLA	kyselina polymliečna
PGA	kyselina polyglykolová
PVA	polyvinylalkohol
PU	polyuretán
PVP	polyvinylpyrolidón
PLGA	kyselina polymliečna-ko-glykolová
CNF	celulóзовé nanovlákná
UCEEB ČVUT	Univerzitné centrum energeticky efektívnych budov ČVUT
NV	nanovláknó

Al alobal

Sb spunbond

9 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] MARTINSON, Jonathan a Seth WALK. Escherichia coli residency in the gut of healthy human adults. *EcoSal Plus* [online]. 2020, 9(1) [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: doi:10.1128/ecosalplus.ESP-0003-2020
- [2] MELTER, Oto, Rute CASTELHANO, ed. *The MicroBook: Clinical Microbiology for Medical Students* [online]. First edition. Praha: Karolinum Press, 2019 [cit. 2022-12-26]. ISBN 978-80-246-3896-6. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/kniha/the-microbook-clinical-microbiology-for-medical-students-5818/>
- [3] LAN, Ruiting a Peter REEVES. Escherichia coli in disguise: molecular origins of Shigella. *Microbes and Infection* [online]. Elsevier, 2002, 4(11) [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: doi:10.1016/S1286-4579(02)01637-4
- [4] HOLVOET, Kevin, Imca SAMPERS, Benedicte CALLENS, Jeroen DEWULF a Mieke UYTENDAELE. Moderate Prevalence of Antimicrobial Resistance in Escherichia coli Isolates from Lettuce, Irrigation Water, and Soil. *Applied and Environmental Microbiology* [online]. 2013, 79(21), 6677-6683 [cit. 2023-03-14]. ISSN 0099-2240. Dostupné z: doi:10.1128/AEM.01995-13
- [5] GORDON, David M., David A. RASKO, ed. The Influence of Ecological Factors on the Distribution and the Genetic Structure of Escherichia coli. *EcoSal Plus* [online]. 2004, 1(1) [cit. 2023-03-14]. ISSN 2324-6200. Dostupné z: doi:10.1128/ecosalplus.6.4.1

- [6] GORDON, David a Ann COWLING. The distribution and genetic structure of *Escherichia coli* in Australian vertebrates: host and geographic effects. *Microbiology* [online]. 2003, **149**(12), 3575-3586 [cit. 2023-03-14]. ISSN 1350-0872. Dostupné z: doi:10.1099/mic.0.26486-0
- [7] YU, Daniel, Graham BANTING a Norman NEUMANN. A review of the taxonomy, genetics, and biology of the genus *Escherichia* and the type species *Escherichia coli*. *Canadian Journal of Microbiology* [online]. 2021, **67**(8), 553-571 [cit. 2023-03-20]. ISSN 0008-4166. Dostupné z: doi:10.1139/cjm-2020-0508
- [8] VALENTINI, Francesco, Giulia ROCCHI, Umberto VESPASIANI-GENTILUCCI, Michele GUARINO, Annamaria ALTOMARE a Simone CAROTTI. The Origins of NAFLD: The Potential Implication of Intrauterine Life and Early Postnatal Period. *Cells* [online]. 2022, **11**(3) [cit. 2023-03-20]. ISSN 2073-4409. Dostupné z: doi:10.3390/cells11030562
- [9] GORDON, David M., Michael S. DONNENBERG, ed. *Escherichia coli : pathotypes and principles of pathogenesis: The ecology of Escherichia coli* [online]. Second edition. Amsterdam: Academic Press, 2013 [cit. 2023-03-14]. ISBN 9780123970480. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=wcvvJFj_hPwC&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [10] TITILAWO, Yinka, Larry OBI a Anthony OKOH. Occurrence of virulence gene signatures associated with diarrhoeagenic and non-diarrhoeagenic pathovars of *Escherichia coli* isolates from some selected rivers in South-Western Nigeria. *BMC Microbiology* [online]. 2015, **15**(1)

[cit. 2023-03-28]. ISSN 1471-2180. Dostupné z: doi:10.1186/s12866-015-0540-3

- [11] NESTA, Barbara, Glen SPRAGGON, Christopher ALTERI et al. FdeC, a Novel Broadly Conserved Escherichia coli Adhesin Eliciting Protection against Urinary Tract Infections. *MBio* [online]. 2012, 3(2) [cit. 2023-02-28]. ISSN 2161-2129. Dostupné z: doi:10.1128/mBio.00010-12
- [12] BARTOLETTI, Riccardo, Tommaso CAI, Florian WAGENLEHNER, Kurt NABER a Truls BJERKLUND JOHANSEN. Treatment of Urinary Tract Infections and Antibiotic Stewardship. *European Urology Supplements* [online]. 2016, 15(4) [cit. 2023-02-28]. ISSN 1569-9056. Dostupné z: doi:10.1016/j.eursup.2016.04.003
- [13] ORSKOV, Ida, Frits ORSKOV, Barbara JANN a Klaus JANN. Serology, chemistry, and genetics of O and K antigens of Escherichia coli. *Bacteriological Reviews* [online]. 1977, 41(3), 667-710 [cit. 2023-02-21]. ISSN 0005-3678. Dostupné z: doi:10.1128/br.41.3.667-710.1977
- [14] SCHOLL, Dean, Scott ROGERS, Sankar ADHYA a Carl MERRIL. Bacteriophage K1-5 Encodes Two Different Tail Fiber Proteins, Allowing It To Infect and Replicate on both K1 and K5 Strains of Escherichia coli. *Journal of Virology* [online]. 2001, 75(6), 2509-2515 [cit. 2023-02-28]. ISSN 0022-538X. Dostupné z: doi:10.1128/JVI.75.6.2509-2515.2001
- [15] REISNER, Andreas, Mario MAIERL, Michael JORGER, Robert KRAUSE, Daniela BERGER, Andrea HAID, Dijana TESIC a Ellen ZECHNER. Type 1 Fimbriae Contribute to Catheter-Associated Urinary Tract Infections Caused by Escherichia coli. *Journal of Bacteriology*

- [online]. 2014, **196**(5) [cit. 2023-03-02]. ISSN 0021-9193. Dostupné z: doi:10.1128/JB.00985-13
- [16] BHAKDI, Sucharit, Nigel MACKMAN, Gianfranco MENESTRINA, Lindsay GRAY, Ferdinand HUGO, Werner SEEGER a I. HOLLAND. The hemolysin of escherichia coli. *European Journal of Epidemiology* [online]. 1988, **4**(2) [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: doi:10.1007/BF00144740
- [17] TORRES, Alfredo, Peter REDFORD, Rodney WELCH a Shelley PAYNE. TonB-Dependent Systems of Uropathogenic Escherichia coli: Aerobactin and Heme Transport and TonB Are Required for Virulence in the Mouse. *Infection and Immunity* [online]. 2001, **69**(10) [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: doi:10.1128/IAI.69.10.6179-6185.2001
- [18] FURRER, Jason, Douglas SANDERS, India HOOK-BARNARD a Mark MCINTOSH. Export of the siderophore enterobactin in Escherichia coli: involvement of a 43 kDa membrane exporter. *Molecular Microbiology* [online]. 2002, **44**(5) [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: doi:10.1046/j.1365-2958.2002.02885.x
- [19] BRAUN, Volkmar. Iron uptake by Escherichia Coli. *Frontiers in Bioscience* [online]. 2003, **8**(6), 1414 [cit. 2023-02-28]. ISSN 10939946. Dostupné z: doi:10.2741/1232
- [20] SLAVCHEV, Georgi, Emiliya PISAREVA a Nadya MARKOVA. Virulence of uropathogenic Escherichia coli. *Journal of Culture Collections* [online]. 2009, **6**(1), 6-7 [cit. 2023-02-28]. ISSN 1310-8360. Dostupné z: <http://www.nbimcc.org/JCC/2009/JCC0961/JCC0961S.htm>

- [21] CRÉPIN, Sébastien, Sébastien HOULE, Marie-Ève CHARBONNEAU, Michaël MOUREZ, Josée HAREL a Charles DOZOIS. Decreased Expression of Type 1 Fimbriae by a pst Mutant of Uropathogenic Escherichia coli Reduces Urinary Tract Infection. *Infection and Immunity* [online]. 2012, 80(8) [cit. 2023-03-02]. ISSN 0019-9567. Dostupné z: doi:10.1128/IAI.00162-12
- [22] GUNTHER, Nereus, Virginia LOCKATELL, David JOHNSON a Harry MOBLEY. In Vivo Dynamics of Type 1 Fimbria Regulation in Uropathogenic Escherichia coli during Experimental Urinary Tract Infection. *Infection and Immunity* [online]. 2001, 69(5) [cit. 2023-03-02]. ISSN 0019-9567. Dostupné z: doi:10.1128/IAI.69.5.2838-2846.2001
- [23] VIMONT, Sophie, Anders BOYD, Alexandre BLEIBTREU et al. The CTX-M-15-Producing Escherichia coli Clone O25b: H4-ST131 Has High Intestine Colonization and Urinary Tract Infection Abilities. *PLoS ONE* [online]. 2012, 7(9) [cit. 2023-03-03]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0046547
- [24] CHEN, Swaine, Meng WU, Jeffrey HENDERSON, Thomas HOOTON, Michael HIBBING, Scott HULTGREN a Jeffrey GORDON. Genomic Diversity and Fitness of E. coli Strains Recovered from the Intestinal and Urinary Tracts of Women with Recurrent Urinary Tract Infection. *Science Translational Medicine* [online]. 2013, 5(184) [cit. 2023-03-03]. ISSN 1946-6234. Dostupné z: doi:10.1126/scitranslmed.3005497
- [25] KUDINHA, Timothy, Amidou SAMIE, ed. The Pathogenesis of Escherichia coli Urinary Tract Infection. In: *Escherichia coli - Recent Advances on Physiology, Pathogenesis and Biotechnological Applications*

[online]. First. Croatia: IntechOpen, 2017, s. 46-47 [cit. 2023-03-03]. ISBN 978-953-51-3330-8. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/56154>

- [26] COKER, Timothy a Daniel DIERFELDT. Acute Bacterial Prostatitis: Diagnosis and Management. *American family physician* [online]. 2016, **93**(2), 114-120 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.aafp.org/pubs/afp/issues/2016/0115/p114.html>
- [27] JACOBSEN, Sandra, David STICKLER, Harry MOBLEY a Mark SHIRTLIFF. Complicated Catheter-Associated Urinary Tract Infections Due to *Escherichia coli* and *Proteus mirabilis*. *Clinical Microbiology Reviews* [online]. 2008, **21**(1), 26-59 [cit. 2023-03-13]. ISSN 0893-8512. Dostupné z: doi:10.1128/CMR.00019-07
- [28] SHARMA, Shweta, Nirmaljit KAUR, Shalini MALHOTRA, Preeti MADAN, Wasim AHMAD a Charoo HANS. Serotyping and Antimicrobial Susceptibility Pattern of *Escherichia coli* Isolates from Urinary Tract Infections in Pediatric Population in a Tertiary Care Hospital. *Journal of Pathogens* [online]. 2016, **2016**, 1-4 [cit. 2023-03-13]. ISSN 2090-3057. Dostupné z: doi:10.1155/2016/2548517
- [29] STENUTZ, Roland, Andrej WEINTRAUB a Göran WIDMALM. The structures of *Escherichia coli* O-polysaccharide antigens. *FEMS Microbiology Reviews* [online]. 2006, **30**(3), 382-403 [cit. 2023-03-28]. ISSN 1574-6976. Dostupné z: doi:10.1111/j.1574-6976.2006.00016.x

- [30] GREENWOOD, David, Richard SLACK, Michael BARER a Will IRVING. *Medical Microbiology*. Eighteenth edition. London: Churchill Livingstone, 2012. ISBN 9780702040900.
- [31] SRINIVASAN, Usha, Sreelatha PONNALURI, Lisa VILLAREAL et al. Gram Stains: A Resource for Retrospective Analysis of Bacterial Pathogens in Clinical Studies. *PLoS ONE* [online]. 2012, 7(10) [cit. 2023-03-13]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0042898
- [32] KEHL, Sue C. Role of the Laboratory in the Diagnosis of Enterohemorrhagic Escherichia coli Infections. *Journal of Clinical Microbiology* [online]. 2002, 40(8), 2711-2715 [cit. 2023-03-13]. ISSN 0095-1137. Dostupné z: doi:10.1128/JCM.40.8.2711-2715.2002
- [33] HOOTON, Thomas, Pacita ROBERTS, Marsha COX a Ann STAPLETON. Voided Midstream Urine Culture and Acute Cystitis in Premenopausal Women. *New England Journal of Medicine* [online]. 2013, 369(20), 1883-1891 [cit. 2023-03-13]. ISSN 0028-4793. Dostupné z: doi:10.1056/NEJMoal302186
- [34] LUNA-GIERKE, Ruth, Patricia GRIFFIN, L. GOULD, Karen HERMAN, Cheryl BOPP, Nancy STROCKBINE a Rajal MODY. Outbreaks of non-O157 Shiga toxin-producing Escherichia coli infection: USA. *Epidemiology and Infection* [online]. 2014, 142(11), 2270-2280 [cit. 2023-03-13]. ISSN 0950-2688. Dostupné z: doi:10.1017/S0950268813003233
- [35] TADESSE, Daniel, Shaohua ZHAO, Emily TONG, Sherry AYERS, Aparna SINGH, Mary BARTHOLOMEW a Patrick MCDERMOTT. Antimicrobial Drug Resistance in Escherichia coli from Humans and

- Food Animals, United States, 1950–2002. *Emerging Infectious Diseases* [online]. 2012, **18**(5), 741-749 [cit. 2023-03-14]. ISSN 1080-6040. Dostupné z: doi:10.3201/eid1805.111153
- [36] GIEDRAITIENĖ, Agnė, Astra VITKAUSKIENĖ, Rima NAGINIENĖ a Alvydas PAVILONIS. Antibiotic Resistance Mechanisms of Clinically Important Bacteria. *Medicina* [online]. 2011, **47**(3), 137-144 [cit. 2023-03-14]. ISSN 1648-9144. Dostupné z: doi:10.3390/medicina47030019
- [37] JENKINS, Stephen a Audrey SCHUETZ. Current Concepts in Laboratory Testing to Guide Antimicrobial Therapy. *Mayo Clinic Proceedings* [online]. 2012, **87**(3), 290-308 [cit. 2023-03-14]. ISSN 00256196. Dostupné z: doi:10.1016/j.mayocp.2012.01.007
- [38] MIRSEPASI-LAURIDSEN, Hengameh, Zhengyu DU, Carsten STRUVE, Godefroid CHARBON, Jurgen KARCZEWSKI, Karen KROGFELT, Andreas PETERSEN a Jerry WELLS. Secretion of Alpha-Hemolysin by *Escherichia coli* Disrupts Tight Junctions in Ulcerative Colitis Patients. *Clinical and Translational Gastroenterology* [online]. 2016, **7**(3) [cit. 2023-03-27]. ISSN 2155-384X. Dostupné z: doi:10.1038/ctg.2016.3
- [39] LUDWIG, Albrecht, Christine VON RHEIN, Susanne BAUER, Christian HUTTINGER a Werner GOEBEL. Molecular Analysis of Cytolysin A (ClyA) in Pathogenic *Escherichia coli* Strains. *Journal of Bacteriology* [online]. 2004, **186**(16), 5311-5320 [cit. 2023-03-27]. ISSN 0021-9193. Dostupné z: doi:10.1128/JB.186.16.5311-5320.2004
- [40] CANALLI BORTOLASSI, Ana, Vádila GUERRA, Mônica AGUIAR, Laurence SOUSSAN, David CORNU, Philippe MIELE a Mikhael

BECHELANY. Composites Based on Nanoparticle and Pan Electrospun Nanofiber Membranes for Air Filtration and Bacterial Removal. *Nanomaterials* [online]. 2019, 9(12) [cit. 2023-04-13]. ISSN 2079-4991. Dostupné z: doi:10.3390/nano9121740

- [41] FAHIMIRAD, Shohreh, Zahra FAHIMIRAD a Mika SILLANPÄÄ. Efficient removal of water bacteria and viruses using electrospun nanofibers. *Science of The Total Environment* [online]. 2021, 751 [cit. 2023-04-13]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141673
- [42] HASSAN, Enas, Mohammad HASSAN, Ragab ABOU-ZEID, Linn BERGLUND a Kristiina OKSMAN. Use of Bacterial Cellulose and Crosslinked Cellulose Nanofibers Membranes for Removal of Oil from Oil-in-Water Emulsions. *Polymers* [online]. 2017, 9(12) [cit. 2023-03-30]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym9090388
- [43] UNGUR, Ganna a Jakub HRŮZA. Modified Nanofibrous Filters with Durable Antibacterial Properties. *Molecules* [online]. 2021, 26(5) [cit. 2023-03-30]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules26051255
- [44] O nanovláknách: Co jsou to nanovlákná?. In: *Navigate Park* [online]. Česká republika: © Navigate Park s.r.o., 2021 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.navigatepark.cz/o-nanovlaknach/>
- [45] SHAHRIAR, S., Jagannath MONDAL, Mohammad HASAN, Vishnu REVURI, Dong LEE a Yong-Kyu LEE. Electrospinning Nanofibers for Therapeutics Delivery. *Nanomaterials* [online]. 2019, 9(4) [cit. 2023-04-04]. ISSN 2079-4991. Dostupné z: doi:10.3390/nano9040532

- [46] ZHAO, Ying, Yihui QIU, Huanhuan WANG, Yu CHEN, Shaohua JIN a Shuseng CHEN. Preparation of Nanofibers with Renewable Polymers and Their Application in Wound Dressing. *International Journal of Polymer Science* [online]. 2016, **2016**, 1-17 [cit. 2023-04-06]. ISSN 1687-9422. Dostupné z: doi:10.1155/2016/4672839
- [47] JAIN, Ritu, Saritha SHETTY a Khushwant YADAV. Unfolding the electrospinning potential of biopolymers for preparation of nanofibers. *Journal of Drug Delivery Science and Technology* [online]. 2020, **57** [cit. 2023-04-06]. ISSN 1773-2247. Dostupné z: doi:10.1016/j.jddst.2020.101604
- [48] HASSAN, Mohammad, Ragab ABOU-ZEID, Enas HASSAN, Linn BERGLUND, Yvonne AITOMÄKI a Kristiina OKSMAN. Membranes Based on Cellulose Nanofibers and Activated Carbon for Removal of Escherichia coli Bacteria from Water. *Polymers* [online]. 2017, **9**(12) [cit. 2023-03-30]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym9080335
- [49] SHAK, Katrina, Yean PANG a Shee MAH. Nanocellulose: Recent advances and its prospects in environmental remediation. *Beilstein Journal of Nanotechnology* [online]. 2018, **9**, 2479-2498 [cit. 2023-03-30]. ISSN 2190-4286. Dostupné z: doi:10.3762/bjnano.9.232
- [50] FANG, Jian, Xungai WANG a Tong LIN. Functional applications of electrospun nanofibers. In: *Nanofibers - Production, Properties and Functional Applications* [online]. 14. China: InTech, 2011, s. 287-302 [cit. 2023-04-16]. ISBN 978-953-307-420-7. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?hl=sk&lr=&id=9XSfDwAAQBAJ&oi=fnd>

&pg=PA287&ots=VK_wGcCDEe&sig=elSg0cTtPykA497tuhuv77RqmgA
&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- [51] ROBERT, Berly a Gobi NALLATHAMBI. A concise review on electrospun nanofibres/nanonets for filtration of gaseous and solid constituents (PM2.5) from polluted air. *Colloid and Interface Science Communications* [online]. 2020, **37** [cit. 2023-04-13]. ISSN 22150382. Dostupné z: doi:10.1016/j.colcom.2020.100275
- [52] SARBATLY, Rosalam, Jamilah SARIAU a Mohammad ALAM. Advances in nanofiber membrane. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2021, **46**, 2118-2121 [cit. 2023-04-04]. ISSN 22147853. Dostupné z: doi:10.1016/j.matpr.2021.05.483
- [53] KAI, Dan, Sing LIOW a Xian LOH. Biodegradable polymers for electrospinning: Towards biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C* [online]. 2014, **45**, 659-670 [cit. 2023-04-06]. ISSN 09284931. Dostupné z: doi:10.1016/j.msec.2014.04.051
- [54] KAUR, Satinderpal, Subramanian SUNDARRAJAN, Dipak RANA, Radhakrishnan SRIDHAR, Renuga GOPAL, Takeshi MATSUURA a Seeram RAMAKRISHNA. Review: the characterization of electrospun nanofibrous liquid filtration membranes. *Journal of Materials Science* [online]. 2014, **49**(18), 6143-6159 [cit. 2023-03-30]. ISSN 0022-2461. Dostupné z: doi:10.1007/s10853-014-8308-y
- [55] FADIL, Fatirah, Nor AFFANDI, Mohd MISNON, Noor BONNIA, Ahmad HARUN a Mohammad ALAM. Review on Electrospun

- Nanofiber-Applied Products. *Polymers* [online]. 2021, **13**(13) [cit. 2023-03-31]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym13132087
- [56] SARKAR, Kamal, Carlos GOMEZ, Steve ZAMBRANO, Michael RAMIREZ, Eugenio DE HOYOS, Horacio VASQUEZ a Karen LOZANO. Electrospinning to Forcespinning™. *Materials Today* [online]. 2010, **13**(11), 12-14 [cit. 2023-03-31]. ISSN 13697021. Dostupné z: doi:10.1016/S1369-7021(10)70199-1
- [57] HEIKKILÄ, Pirjo a Ali HARLIN. Parameter study of electrospinning of polyamide-6. *European Polymer Journal* [online]. 2008, **44**(10), 3067-3079 [cit. 2023-04-06]. ISSN 00143057. Dostupné z: doi:10.1016/j.eurpolymj.2008.06.032
- [58] AL-ABDULJABBAR, Abdulhamid a Irfan FAROOQ. Electrospun Polymer Nanofibers: Processing, Properties, and Applications. *Polymers* [online]. 2023, **15**(1) [cit. 2023-04-06]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym15010065
- [59] SUBBIAH, Thandavamoorthy, G. BHAT, R. TOCK, S. PARAMESWARAN a S. RAMKUMAR. Electrospinning of nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2005, **96**(2), 557-569 [cit. 2023-04-04]. ISSN 0021-8995. Dostupné z: doi:10.1002/app.21481
- [60] XIE, Xianrui, Yujie CHEN, Xiaoyu WANG et al. Electrospinning nanofiber scaffolds for soft and hard tissue regeneration. *Journal of Materials Science & Technology* [online]. 2020, **59**, 243-261 [cit. 2023-03-31]. ISSN 10050302. Dostupné z: doi:10.1016/j.jmst.2020.04.037

- [61] FRENOT, Audrey a Ioannis CHRONAKIS. Polymer nanofibers assembled by electrospinning. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* [online]. 2003, 8(1), 64-75 [cit. 2023-04-04]. ISSN 13590294. Dostupné z: doi:10.1016/S1359-0294(03)00004-9
- [62] VALIZADEH, Alireza a Samad MUSSA FARKHANI. Electrospinning and electrospun nanofibres. *IET Nanobiotechnology* [online]. 2014, 8(2), 83-92 [cit. 2023-04-06]. ISSN 1751-8741. Dostupné z: doi:10.1049/iet-nbt.2012.0040
- [63] HASSAN, Mohammad, Bong YEOM, Arnold WILKIE, Behnam POURDEYHIMI a Saad KHAN. Fabrication of nanofiber meltblown membranes and their filtration properties. *Journal of Membrane Science* [online]. 2013, 427, 336-344 [cit. 2023-04-04]. ISSN 03767388. Dostupné z: doi:10.1016/j.memsci.2012.09.050
- [64] YALCINKAYA, Fatma. Preparation of various nanofiber layers using wire electrospinning system. *Arabian Journal of Chemistry* [online]. 2019, 12(8), 5162-5172 [cit. 2023-04-06]. ISSN 18785352. Dostupné z: doi:10.1016/j.arabjc.2016.12.012
- [65] MYERS, John, Brandon CURTIS a Wayne CURTIS. Improving accuracy of cell and chromophore concentration measurements using optical density. *BMC Biophysics* [online]. 2013, 6(1) [cit. 2023-05-05]. ISSN 2046-1682. Dostupné z: doi:10.1186/2046-1682-6-4
- [66] ZOTTA, Teresa, Annamaria RICCIARDI, Rocco ROSSANO a Eugenio PARENTE. Urease production by *Streptococcus thermophilus*. *Food*

Microbiology [online]. 2008, **25**(1), 113-119 [cit. 2023-05-12]. ISSN 07400020.
Dostupné z: doi:10.1016/j.fm.2007.07.001

[67] ROUŠKY A RESPIRÁTORY: Druhy ochrany. In: *Covid Portál* [online].
Česká republika: Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2022 [cit.
2023-05-01]. Dostupné z: <https://covid.gov.cz/situace/rouskey-respiratory/druhy-ochrany>

[68] PARK, Sun Hee. Personal Protective Equipment for Healthcare Workers during the COVID-19 Pandemic. *Infect Chemother* [online]. 2020, **52**(2), 165–182 [cit. 2023-05-02]. ISSN 2093-2340. Dostupné z: doi:10.3947/ic.2020.52.2.165

10 ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV

Obrázok 1: Klasifikácia biopolymérov na báze polysacharidov a proteínov používaných na výrobu nanovlákien	22
Obrázok 2: Schéma zariadenia na elektrostatické zvlákňovanie	28
Obrázok 3: Rôzne typy elektrostatických dýz	30
Obrázok 4: Schéma procesu elektrostatického zvlákňovania.....	32
Obrázok 5: Nanospider (vlastný zdroj)	34
Obrázok 6: Nanovláčna pozorované mikroskopom (vlastný zdroj).....	35
Obrázok 7: Autokláv (vlastný zdroj)	36
Obrázok 8: Filtračná aparatura (vlastný zdroj).....	38
Obrázok 9: Spektrofotometer (vlastný zdroj)	39
Obrázok 10: NV textílie (vlastný zdroj).....	39
Obrázok 11: Prefiltrovaná bakteriálna kultúra a čisté tekuté médium (vlastný zdroj).....	40

11 ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK

Tabuľka 1: Optická hustota pôvodnej a prefiltrovanej bakteriálnej kultúry	43
Tabuľka 2: Optická hustota prefiltrovanej bakteriálnej kultúry cez nanovláknové textílie	43
Tabuľka 3: Vypočítané hodnoty priemernej optickej hustoty, smerodajnej odchýlky a T.test pri 600nm	44
Tabuľka 4: Vypočítané hodnoty priemernej optickej hustoty, smerodajnej odchýlky a T.test pri 650nm	44
Tabuľka 5: Zachytené množstvo baktérií na NV textíliách.....	45
Tabuľka 6: Množstvo baktérií, ktoré prešlo skrz NV textílie a ich logaritmus pri 600 nm.....	45
Tabuľka 7: Množstvo baktérií, ktoré prešlo skrz NV textílie a ich logaritmus pri 650 nm.....	45
Tabuľka 8: Vypočítaná lineárna regresia logaritmu.....	46
Tabuľka 9: Výpočet plošnej hustoty NV textílie pre účinnosť 95, 98, 99 a 99,9 %	46