

UNIVERZITA KARLOVA

Farmaceutická fakulta v Hradci Králové

Katedra analytické chemie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

NANOVLÁKNA - SLIBNÝ SORBENT PRO SPE

(rešeršní práce)

Vedoucí bakalářské práce: doc. PharmDr. Lucie Chocholoušová Havlíková, Ph.D.

Hradec Králové, 2021

Bc. Nikola Honková, DiS.

„Prohlašuji, že tato práce je mým původním autorským dílem. Veškerá literatura a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a v práci řádně citovány. Práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.“

V Hradci Králové, dne

.....

Bc. Nikola Honková, DiS.

Ráda bych poděkovala své vedoucí bakalářské práce paní doc. PharmDr. Lucii Chocholoušové Havlíkové, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost, cenné rady, zkušenosti a čas, který věnovala při vzniku této práce. Zvláštní poděkování věnuji své rodině, která mi byla oporou v průběhu celého studia.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	5
1 ÚVOD	6
2 CÍL A POPIS ZADÁNÍ PRÁCE.....	7
3 DEFINICE NANOVLÁKEN.....	8
4 VLASTNOSTI NANOVLÁKEN	10
4.1 NANOVLÁKNO A JEHO FORMY	10
4.1.1 Lineární nanovlákn – nitě, příze.....	10
4.1.2 Nanovlákn v plošných strukturách – vrstvy.....	11
4.1.3 Nanovlákn v objemových strukturách – objemné útvary, vaty.....	12
4.1.4 Nanovlákn v dalších formách.....	13
5 VÝROBA NANOVLÁKEN.....	14
5.1 VÝROBA NETKANÝCH NANOVLÁKEN	14
5.1.1 Elektrostatické zvlákňování nanovláken (Elektrospinning).....	14
5.1.2 Paralelní desková geometrie	15
5.1.3 Nanospider	16
5.2 VÝROBA JEDNOTLIVÝCH NANOVLÁKEN	16
5.2.1 Elektrostatické zvlákňování s rotačním válcovým kolektorem.....	17
5.2.2 Elektrostatické zvlákňování s pomocným elektrickým polem.....	17
5.2.3 Elektrostatické zvlákňování s diskem se zúženým okrajem	18
5.2.4 Elektrostatické zvlákňování s rámovým kolektorem	19
6 VYUŽITÍ NANOVLÁKEN	20
6.1 FILTRACE	20
6.2 AKUSTIKA	20
6.3 APLIKACE ZDRAVOTNÍ PÉČE.....	21
6.4 APLIKACE V OBLASTI BIOTECHNOLOGIE A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ	22
6.5 OBRANNÉ A BEZPEČNOSTNÍ APLIKACE	22
6.6 NANOVLÁKENNÉ MATERIÁLY VHODNÉ PRO SPE.....	23
6.6.1 Polyamidy	24
6.6.2 Polyvinylidendifluorid	25
6.7 ANALYZOVANÉ LÁTKY.....	25
6.7.1 Bisfenol A	25
6.7.2 Parahydroxybenzoáty (parabeny).....	26
6.7.3 Mykotoxiny	27
ZÁVĚR	29
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	31
SEZNAM OBRÁZKŮ	37
SEZNAM TABULEK.....	38

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

LLE	Extrakce kapalina-kapalina
SPE	Extrakce na tuhou fázi
MS	Hmotnostní spektrometrie
IgG	Imunoglobulin G
SI	Mezinárodní systém jednotek
PA	Polyamid
PEO	Polyethylenglykol
PVDF	Polyvinylidendifluorid
UV	Ultrafialové záření
UHPLC	Ultra-vysokoučinná kapalinová chromatografie
λ	Vlnová délka
HPLC	Vysokoučinná kapalinová chromatografie
pH	Záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů v roztoku

1 ÚVOD

Extrakce na tuhou fázi (SPE) je široce používanou technikou přípravy vzorků. Abychom vyhověli různým potřebám současných aplikací, je k dispozici stále se zvětšující řada sorbentů na bázi anorganických oxidů, málo specifických (chemicky vázaných, porézních polymerů a uhlíku) a skupinově selektivních materiálů (iontová výměna, smíšený režim, materiály s omezeným přístupem a molekulárně potlačenými polymery). Pokročilé formáty zařízení usnadňují zpracování problémových vzorků v kombinaci s vysokou úrovní automatizace [1].

Hlavními cíli SPE jsou stopové obohacení (koncentrace), zjednodušení matrice (vyčištění vzorku) a výměna média (přenos z matrice vzorku do jiného rozpouštědla nebo do plynné fáze) [1].

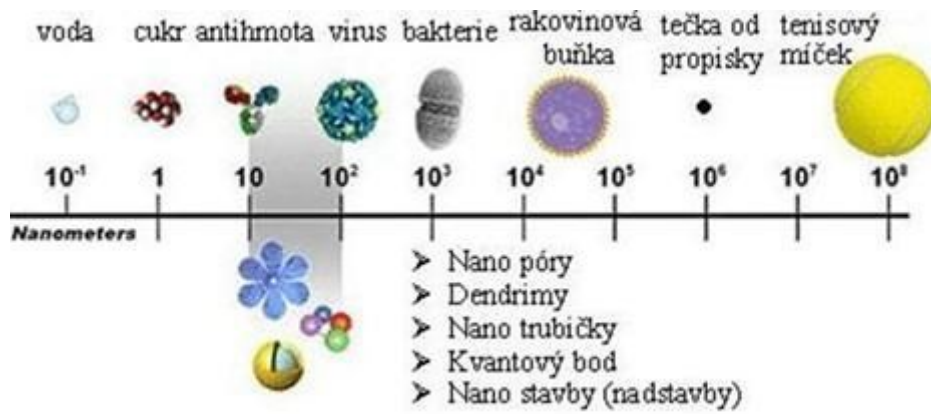
2 CÍL A POPIS ZADÁNÍ PRÁCE

Bakalářská práce se zabývá definicí nanovláken a jejich vlastnostmi, přípravou nanovláken a pojednává o metodách výroby nanovláken. Použití nanovláken jako sorbentu pro SPE bylo zpracováno ve formě tabulky, kde byly uvedeny jednotlivé polymery, analyzovaná látka, online/offline spojení s analytickou metodou, uspořádání SPE a použitá analytická metoda.

3 DEFINICE NANOVLÁKEN

Nanovlákná se v posledním desetiletí stala jedním z hlavních směrů výzkumu v oblasti léčiv a aplikací tkáňového inženýrství. V závislosti na jednoduchosti metody přípravy a vysoké kapacitě náplně léčiva, poskytují nanovlákná mnoho výhod pro terapeutické perspektivy. Systémy nanovláken se používají pro dodání antibiotik, protirakovinných léků, analgetik, hemostatických látek a různých proteinů pro účely tkáňového inženýrství. Kromě toho poskytují různé aplikace, jako je potahování zdravotnických prostředků, nový pohled na klinické použití nanovláken. Nejběžněji používanou technikou pro přípravu nanovláken je elektrostatické zvlákňování, které poskytuje pozadí proveditelnosti pro zvětšení procesu od laboratoře po průmyslové aplikace. Bez ohledu na terapeutický cíl jsou nanovlákná také dokonalými trojrozměrnými strukturami, které jsou vhodné pro regeneraci tkání [2].

Ke správnému definování nanovláken je zapotřebí nejdříve vysvětlit samotný výraz „nanovlákná“. Lze jej rozdělit na předponu a kořen slova, na „nano“ a „vlákná“. Význam prefixu nano je od roku 1960 podle mezinárodně smluvené soustavy jednotek SI pevně stanoven, a to jako hodnota 10^{-9} [3]. Předpona „nano“ je v inženýrské praxi běžně známá a vyjadřuje násobek – jednu miliardtinu (10^{-9}) základní jednotky. Nanotechnologie je relativně nový pojem, který obsahuje jevy, techniky, zařízení nebo struktury, jejichž rozměry odpovídají úrovni nanometrů – jedné miliardtiny metru, tedy atomové a molekulární úrovni. Za nanotechnologie můžeme označit jen takové materiály, systémy, jejich aplikace nebo způsoby tvorby, které splňují určité podmínky. Podmínky jsou následující: mají alespoň jeden rozměr nebo svoji vnitřní strukturu v intervalu velikostí 1 – 100nm (Obr. 1); využívají fyzikální, chemické nebo biologické vlastnosti na úrovni atomů a molekul, tudíž mají neobvyklé charakteristiky v porovnání se stejným materiálem nebo systémem, který nemá složky s nanorozměry a mohou se kombinovat a tím vytvářet makrostruktury [4].



Obr.1: Poměr velikostí různých struktur [5]

4 VLASTNOSTI NANOVLÁKEN

Unikátní vlastnosti nanovláken poskytují obrovský potenciál pro využití v oblasti biomedicínských a zdravotnických aplikací. Mnoho studií prokázalo extrémní potenciál nanovláken před současnými výzvami v oblasti medicíny a zdravotní péče [6].

Nanovláknko má obvykle průměr průřezu v řádu desítek až stovek nanometrů. Z tohoto důvodu má velmi vysoký specifický povrch a poměr povrchu k ploše. Kromě toho mohou nanovláknka vytvářet sítě výjimečně porézních vláken s rozsáhlou propojitelností mezi póry. Nanovláknka mohou být také vyrobená z různých materiálů, např. přírodních a syntetických polymerů, kompozitního materiálu a polovodičového materiálu [7].

Membrána z nanovláken se obvykle vyrábí jako „netkaná“ síť pomocí běžných metod elektrostatického zvlákňování nebo vyfukování z taveniny. Netkaná textilie je vrstva vyrobená ze zapletení a propojení vláken. Netkaná nanovláknka se vyznačují charakteristikami vysokého měrného povrchu, velkého poměru povrchu k objemu, velmi malé velikosti pórů a vynikajících mechanických vlastností [7].

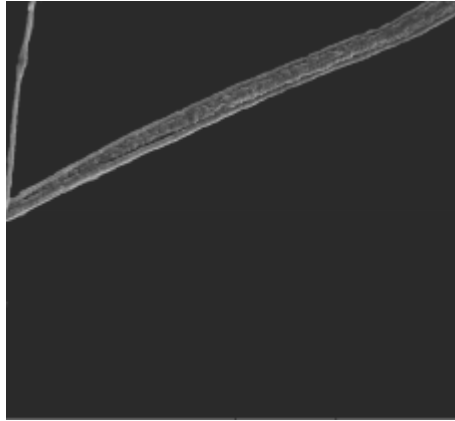
Vlastnosti nanovláken zlepšují materiál z hlediska pevnosti, elektrické a optické kvality, reaktivity a propustnosti vrstvy. Proto mají velký potenciál využití v mnoha oblastech, např. ve vzduchové filtraci, v péči o zdraví nebo při ochraně životního prostředí [7].

4.1 Nanovláknko a jeho formy

Nanovláknka jsou často uspořádána do vyšších strukturních a prostorových celků, se kterými lze reálně manipulovat [8].

4.1.1 Lineární nanovláknko – nitě, příze

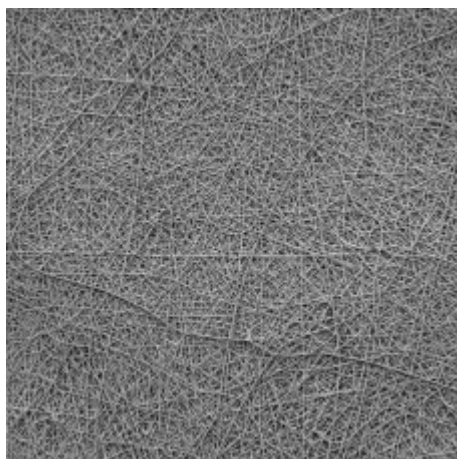
Předpokladem je, že by mohly mít takové útvary velmi dobré mechanické vlastnosti (Obr. 2), např. se používají pro neprůstřelné vesty a vysokopevnostní nosní lana. Za nanovláknenné nitě nelze považovat útvary, které se vyrábí na bázi běžných nití s povrchovým nánosem nanovláken. Tyto útvary patří mezi plošné nanovláknité struktury [8].



Obr.2: Nanovláknenná niť z polyakrylonitrilo-akrylátového kopolymeru vyrobená metodou elektrostatického zvlákňování [8]

4.1.2 Nanovlákneno v plošných strukturách – vrstvy

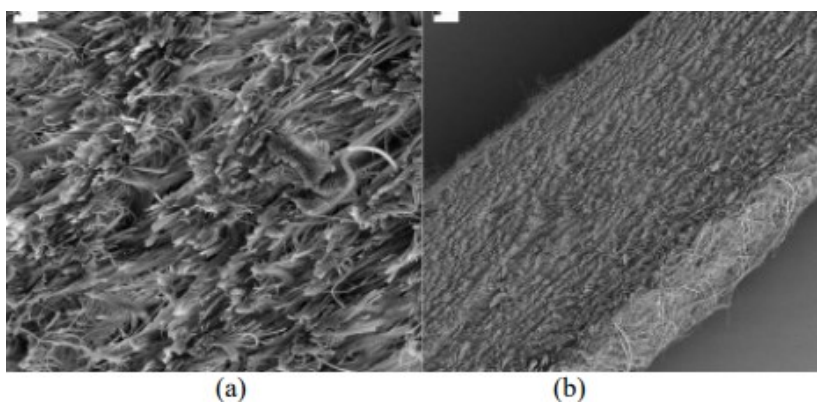
V zásadě se mohou vyskytovat dva základní typy nanovláknenných vrstev a to tzv. netkané textilní útvary a tkané textilní útvary. Společným znakem obou útvarů je, že nanovláknena se položí přes sebe a prakticky nevystoupí z vytvářející roviny. Významně se liší ze strukturního pohledu. U netkaného útvaru jsou vlákna nahodile „rozházena“ přes sebe a žádný ze směrů statisticky nepřevládá (Obr. 3). U tkaného útvaru jsou vlákna organizována do vyššího uspořádání tak, jak je tomu v běžných tkaných textiliích. Příprava tkaných textilií z jednotlivých nanovláken je v současnosti technologicky nereálná. Na druhou stranu netkané nanovláknenné textilie patří pro svou snadnou přípravu mezi nejrozšířenější makroskopické struktury s nanovláknem. Využívají se především ve filtracích, krytí ran, v regenerativní medicíně a v elektrotechnice [8].



Obr. 3: Nanovláknenná vrstva z polyurethanu vyrobená metodou elektrostatického zvlákňování [8]

4.1.3 Nanovlákneno v objemových strukturách – objemné útvary, vaty

Jde o strukturu, která se značně podobá předcházející formě, ale v tomto případě již nanovláknena plnohodnotně vystupují do třetího rozměru. Lze i očekávat celky s uspořádanými a neuspořádanými vlákny. Útvary, které mají strukturně uspořádaná vlákna, nejsou dosud běžné a častější jsou celky s nahodile rozmístěnými vlákny, přičemž žádný ze směrů nepřevládá (Obr. 4). Tento útvar připomíná objemnou vatu větší či menší hustoty. Materiály mohou být uplatňovány při separacích, v chemické katalýze nebo v tkáňovém inženýrství [8].



Obr.4: Nanovláknenný objemný útvar z polystyrenu: a) detail struktury; b) celkový pohled [8]

4.1.4 Nanovlákno v dalších formách

Nanovlákna se vyskytují ve formě povrchového nánosu, kdy jsou jednotlivá vlákna těsně na sebe namačkána a jsou kolmá k podkladu. Další příklad je vlákno roztroušeno v matrici (keramika, plast) [8].

5 VÝROBA NANOVLÁKEN

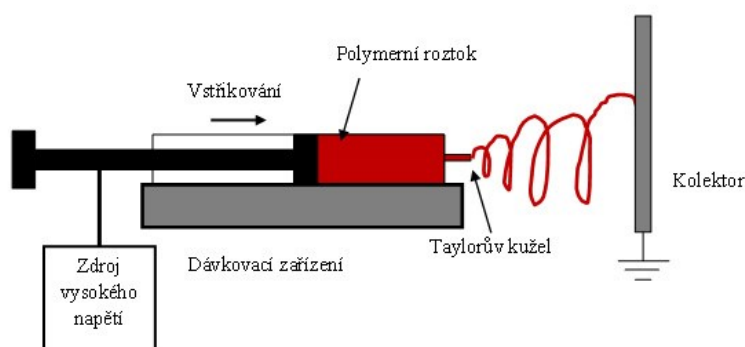
Nejčastějším způsobem výroby nanovláken je elektrostatické zvlákňování (elektrospinning). Elektrostatické zvlákňování je způsob výroby ultra jemných vláken z polymerního roztoku nebo taveniny prostřednictvím elektrostatických sil. Ve většině případů jsou zvlákňovány polymery ve formě roztoku, protože vyšší viskozita polymerních tavenin nedovoluje tvorbu jemných vláken. Touto metodou byly zvlákňovány různé druhy syntetických i přírodních polymerů [9].

5.1 Výroba netkaných nanovláken

5.1.1 Elektrostatické zvlákňování nanovláken (Elektrospinning)

V procesu elektrostatického zvlákňování (Obr. 5) se využívá vysoké napětí k vytvoření elektricky nabitého proudu polymerního roztoku nebo taveniny. Elektroda vysokého napětí je přímo spojena s polymerním roztokem. Roztok je poté zvlákňován kapilárou (zvlákňovací tryskou). Zásluhou vysokého napětí mezi špičkou kapiláry a uzemněným kolektorem vzniká tzv. Taylorův kužel, z kterého jsou produkována vlákna. Následuje vytlačení nabité kapaliny. Po odpaření rozpouštědla vlákna ztuhnou a vytvoří vláknennou vrstvu na povrchu kolektoru ve formě netkané textilie [9].

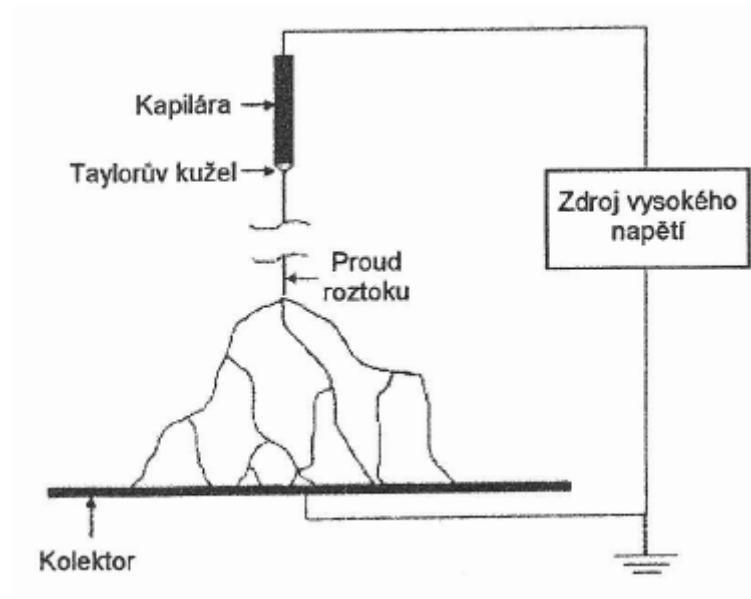
Vzdálenost mezi kapilárou a kolektorem je v rozmezí 15 – 30 cm. Elektrostatické zvlákňování se může provádět při pokojové teplotě, pokud se nevyžaduje tepelné udržování polymeru v kapalném stavu. Konečné vlastnosti nanovláknů jsou závislé na provozních podmínkách a typu polymeru [10].



Obr.5: Schéma principu elektrostatického zvlákňování

[11]

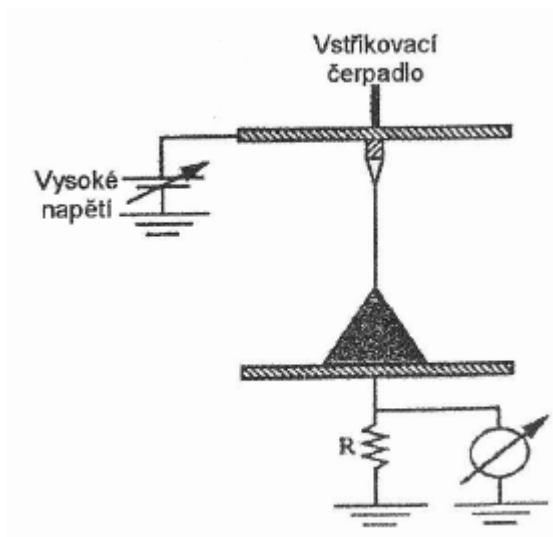
Úpravou elektrostatického zvlákňování je svisle umístěná kapilára a pod ní umístěný kolektor, na který vlivem gravitace odkapává polymerní kapalina z kapiláry, a získaná vlákna se ukládají na kolektoru. Někdy je kapilára nakloněna v definovaném úhlu pro zlepšení kontroly toku. V dalších případech může být kapilára horizontální (Obr. 5) a při uvedení kapky do procesu je použito čerpadlo, které se může použít také u vertikálního podávání (Obr. 6) [9].



Obr. 6: Schéma principu elektrostatického zvlákňování – vertikální kapilára [9]

5.1.2 Paralelní desková geometrie

Použitý přístroj v paralelní deskové geometrii (Obr. 7) je navržen tak, aby pracoval v homogenním elektrickém poli, které je vygenerováno mezi dvěma hliníkovými disky. Dva disky vytváří geometrii kondenzátoru s paralelními silovými čarami. Kapalina je podávána při nepřetržité objemové rychlosti toku ke kapiláře z nerezové oceli nebo trysce ve středu vrchní desky a spodní deska tvoří kolektor. Navíc je spodní deska izolovaná od země a elektrický proud polymerního proudu je měřen jako pokles elektrického napětí přes 10 k Ω rezistor zapojenému do série mezi spodní deskou a zemí [9].



Obr. 7: Schéma principu elektrostatického zvlákňování – paralelní desková geometrie[9]

5.1.3 Nanospider

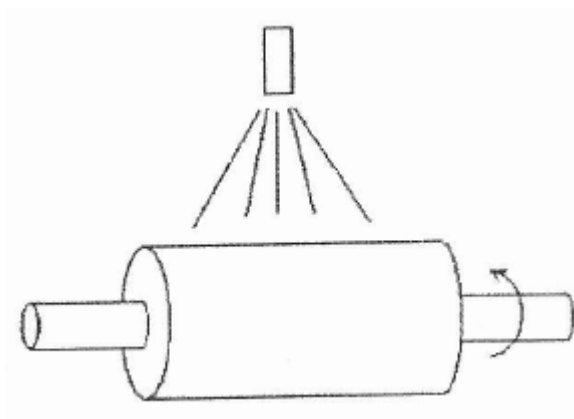
Princip nanospideru spočívá v tom, že Taylorovy kužely je možné vytvářet i na tenké vrstvě polymerního roztoku. Metoda nevyužívá k formování vláken žádné trysky ani kapiláry (bezjehlové zvlákňování). Produktivita metody je mnohem vyšší než u předchozích metod. Jak již bylo řečeno, vlákna jsou formována pomocí elektrostatického pole z tenké vrstvy polymerního roztoku a jsou sebrána z kolektoru ve formě netkané textilie. Průměr vláken se pohybuje v rozmezí 100 – 300 nm a plošná hmotnost je v rozmezí 0,1 – 5 g/m² [9].

5.2 Výroba jednotlivých nanovláken

V předchozí kapitole byla vysvětlena výroba netkaných nanovláken pomocí elektrostatického zvlákňování (Elektrospinning) sloužící k výrobě plošné nanotextilie. Ale protože tyto plošné nanotextilie mají omezené množství použití, vědci se snaží upravit výrobu tak, aby šlo vyrobit jednotlivé vlákno, z kterého by se vyráběla tkaná nanotextilie. Technologickou úpravou elektrostatického zvlákňování můžeme dosáhnout výroby jednotlivých nanovláken nebo jednoosých svazků těchto vláken. Tyto technologické úpravy jsou vysvětleny v následujících podkapitolách [9].

5.2.1 Elektrostatické zvlákňování s rotačním válcovým kolektorem

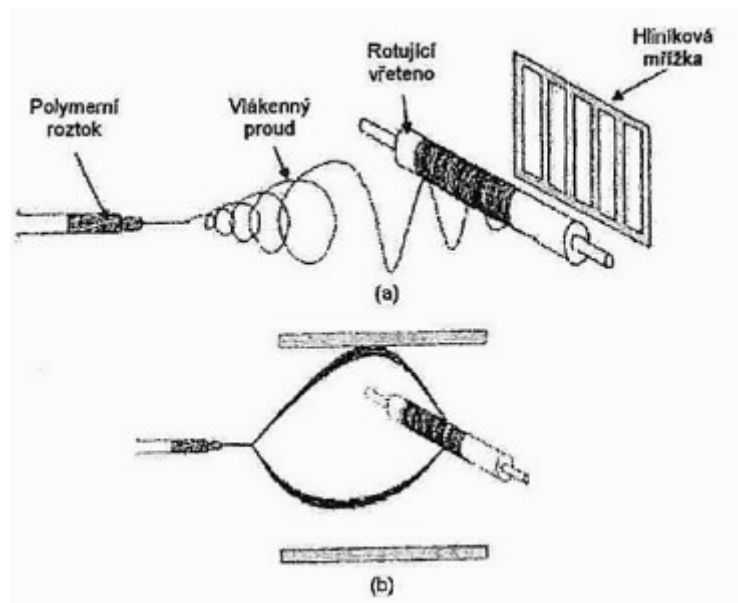
Nanovlákná, která jsou orientována vedením po obvodu kolektoru, mohou být při vysokých otáčkách za minutu elektrostaticky zvlákňována. Rotační kolektor (Obr. 8), který slouží jako zařízení k napínání vláken a zachycování polymerního vlákna na svém povrchu, který se pohybuje stejnou rychlostí. Obvodová rychlost válce musí odpovídat rychlosti ukládání odpařovaného proudu polymeru, jinak by došlo k přetržení vlákna nebo plošnému usazování tkaniny [9].



Obr. 8: Rotační kolektor pro elektrostatické zvlákňování [9]

5.2.2 Elektrostatické zvlákňování s pomocným elektrickým polem

Jedinečným znakem tohoto vynálezu je, že vsazená vlákna mohou být obvodově orientována důkladně aplikací pomocného elektrického pole (Obr. 9). Polymerní proud je obvodově orientován pomocí elektrického pole, které tvoří elektricky nabitá mřížka (Obr. 9a) nebo elektricky nabitá desky (Obr. 9b). U této modifikace pomocí přídavného elektrického pole dochází ke zlepšení zarovnání vláken než u válcového kolektoru, ale pouze se jedná o laboratorně odzkoušenou modifikaci [9].



Obr.9: Elektrostatické zvlákňování s pomocným elektrickým polem [9]

5.2.3 Elektrostatické zvlákňování s diskem se zúženým okrajem

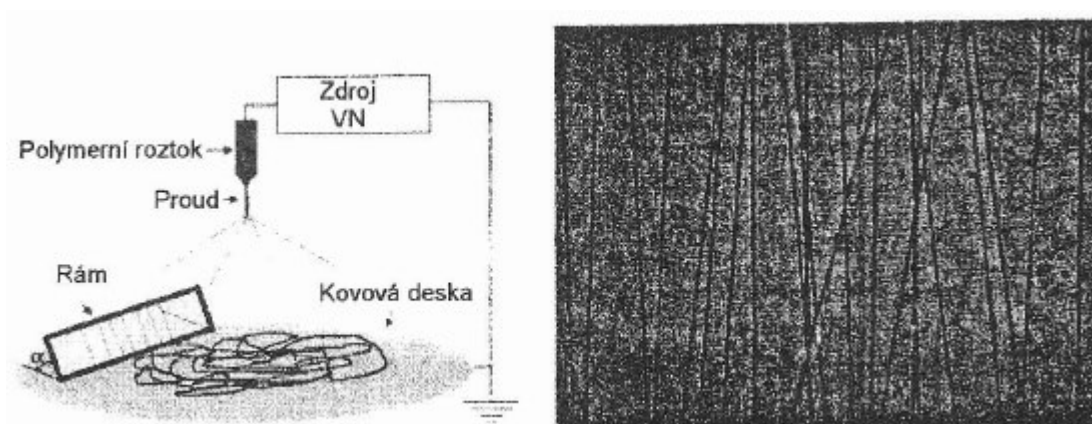
Elektrostatické pole podporuje proces sestavování v kombinaci s procesem elektrostatického zvlákňování za účelem umístění a seřazení jednotlivých nanovláken na zužující se a uzemněné kolo, které slouží jako vřeteno (Obr. 10), při jehož otáčení se zvlákněná nanovláknena navíjí na okraj vřetena. Zúžený okraj soustředí elektrické pole tak, že zvlákněná nanovláknena jsou téměř všechna přitahována a jsou spojitě navinuta na okraji vřetena rotačního kolečka [9].



Obr. 10: Schéma principu elektrostatického zvlákňování – rotující diskový kolektor [9]

5.2.4 Elektrostatické zvlákňování s rámovým kolektorem

Za účelem získání jednotlivých nanovláken, byla vyvinuta další cesta k vláknennému zarovnání umístěním pravoúhlé struktury rámu pod zvlákňovaný proud (Obr. 11). Na Obr. 11 jsou vidět typická zarovnání elektrostaticky zvlákněných PEO vláken sebraných hliníkovým rámem a pozorovaných pod mikroskopem [9].



Obr. 11: Zarovnání vláken z vlákněných výše uvedenou rámovou metodou [9]

6 VYUŽITÍ NANOVLÁKEN

Nanovlákná jsou jedním z jedinečných materiálů, které mají o řád menší velikost než běžná vlákna. Nízký odpor a vylepšený filtrační výkon činí z nanovláken atraktivní materiál pro mnoho aplikací jako je zdravotnictví, filtrace, výroba funkčních textilií, energetika, životní prostředí, analytická chemie a další. Některé z nanotechnologických produktů jsou již komerčně aplikovány pro použití ve výrobcích, jako jsou nátěry, sportovní oblečení, ochranné oděvy, automobilový průmysl, opalovací krémy a textilie [12].

6.1 Filtrace

Filtrační kapacita nanovláknenných materiálů je dána jejich vysokou porozitou, a nastavitelnou velikostí pórů, za zachování dobré prodyšnosti. Vytváření filtrů obsahujících nanovláknenné struktury zahrnuje nejen filtrace skrze nanovlákná samotná, ale hlavně filtrace skrze filtry tvořené z nanovláken implementovaných do jiných filtračních materiálů. V aplikacích pro filtraci vzduchu jsou aktivní uhlí a sklolaminát široce používány kvůli mnoha potenciálním výhodám. Aktivní uhlí se používá k odstranění toxických chemikálií adsorpčním procesem, zatímco filtry s vysokou účinností vzduchu (HEPA) se používají k filtrování částic, jako jsou vlákna a jiné nečistoty ze vzduchu. Materiálem, na kterém je v tomto případě zachycena pevná látka oddělená od filtrátu, je vrstva nanovláken. Způsoby filtrace se tudíž mění z hloubkového záchytu částic na účinný záchyt povrchový. V posledních letech byla provedena řada studií, které popisují využití nanovláken samotných nebo funkcionalizovaných pro odstranění mikrobiologického znečištění vod. Odlišnými způsoby přípravy nanovláknenných materiálů lze dosáhnout požadované velikosti pórů tak, aby bakteriální složka nemohla pronikat do přefiltrované vody [12, 13].

6.2 Akustika

V dnešní době jsou kombinace textilních materiálů běžným řešením v akustických aplikacích jako absorbenty akustických materiálů. Textilní materiály z nanovláken v kombinaci s textilní vlnou zlepšují jejich akustické vlastnosti. Kromě toho tyto druhy kombinací můžeme použít v aplikacích zvukové izolace ke snížení zvukových vln

omezených mezi dvěma stěnami ve více přepážkách nebo v mnoha dalších aplikacích, jako je redukce hluku v klimatizačních systémech nebo v konstrukci elektroakustických systémů. Studovala se aplikace nanovláken jako krytu polyesterových vln, které jsou umístěny pod vyvrtanými panely. Podle studie můžeme tvrdit, že ke zlepšení absorpce zvuku při nízkých frekvencích, stačí zvětšení pouhého 1% tloušťky absorpčního materiálu se závoji z nanovláken [14].

Další aplikace elektrostatických zvláknovaných materiálů je v energetických zařízeních. Řeší se zejména způsoby přeměny a skladování energie alternativní k využívání fosilních paliv, včetně nízkoteplotních a vysokoteplotních palivových článků, skladování vodíku, solárních článků citlivých na barviva, lithných baterií a superkondenzátorů [15].

6.3 Aplikace zdravotní péče

Spolu s nanotechnologií se objevují nové způsoby léčby, které výrazně snižují náklady na lékařskou péči. S nedávným vývojem v oblasti elektrostatického zvláknování lze syntetické i přírodní polymery vyrábět jako nanovlákná s řízenou morfologií a funkcí. Potenciál těchto elektrostaticky zvláknovaných nanovláken v aplikacích zdravotní péče pro člověka je slibný, např. při opravách a regeneraci tkání/orgánů, jako vektorů pro dodávání léčiv a terapeutik, jako biokompatibilních a biologicky odbouratelných lékařských implantátů, v lékařské diagnostice a instrumentaci, jako ochranné tkaniny proti infekčním agens v nemocnicích a v kosmetických a zubních aplikacích. Nejpřitažlivější charakteristikou elektrostatického zvláknování je napodobování vláknité topografie extracelulární matrice (ECM) v nanoměřítku v oblasti tkáňového inženýrství [16, 17].

Opravy a regenerace tkání/orgánů jsou nové cesty pro potenciální léčbu, které obcházejí potřebu dárcovských tkání a orgánů při transplantacích a rekonstrukčních operacích [17].

Ve farmaceutickém a kosmetickém průmyslu jsou nanovlákná slibnými nástroji pro řízené dodávání léků, terapeutik, molekulárních léčiv a doplňků péče o tělo [17].

Nanovlákná lze také vyrobit z materiálů s tvarovou pamětí. Mohou být implantovány do těla pomocí laparoskopu, čímž se minimalizují složité chirurgické postupy. Vlákná poté mění tvar v reakci na zvýšenou teplotu. Taková nanovlákná mají potenciál pro použití

jako vaskulární stenty, výplně kostních dutin, nosiče pro regeneraci kůže a prostředky pro obecné opravy tkání. Vzhledem k velkému poměru povrchu k objemu lze nanovlákná použít také v diagnostice pro rozsáhlé choroby a genetický screening a dokonce jako filtry v lékařských nástrojích pro membránově nepropustné biomolekuly, bakterie a virové částice [17].

6.4 Aplikace v oblasti biotechnologie a životního prostředí

Nanovlákná připravená elektrosvlákňováním mohou vytvářet účinnou membránu pro odstraňování částic z odpadních vod. Membrána z nanovláken vykazuje extrémně účinné odstraňování vzdušných částic s průměrem mezi 1 μm a 5 μm jak fyzickým zachycením, tak adsorpcí. Pokud jde o odstraňování částic z vodného roztoku, tak studie ukazuje, že elektrospunované membrány mohou úspěšně odstraňovat částice o velikosti 3 – 10 μm . Po vyčištění membrány nebyly nalezeny žádné zachycené částice v membráně, takže membrána mohla být po čištění účinně obnovena. Tím se otevírají nové možnosti aplikace elektrospunových membrán pro předúpravu vody před reverzní osmózou [17].

V laboratoři se také testují nanovláknenné membrány jako afinitní membrány. Afinitní membrány jsou širokou třídou membrán, které selektivně zachycují specifické cílové molekuly imobilizací specifického zachycovacího činidla na povrch membrány. V biotechnologii mají afinitní membrány uplatnění při čištění proteinů (např. IgG) a při odstraňování toxinů (např. endotoxinů) z bioproduktů. V životním prostředí mají afinitní membrány uplatnění při odstraňování organického odpadu a odstraňování těžkých kovů při úpravě vody (např. olovo, rtuť, měď a kadmium) [17].

6.5 Obranné a bezpečnostní aplikace

Vojenský, hasičský, policejní a zdravotnický personál vyžaduje vysokou úroveň ochrany při řešení chemických a biologických hrozeb (mezi které patří chemikálie jako nervové látky, hořčičný plyn, krevní látky jako kyanidy a biologické toxiny jako spory bakterií a viry) v mnoha prostředích od bojových po městská, zemědělská a průmyslová. Současný ochranný oděv je založen na plné bariérové ochraně nebo na propustných adsorpčních ochranných oděvech. Zřejmým omezením těchto obleků je zadržování vlhkosti, které uživateli brání v dlouhodobém oblékání. Polymerní

nanovlákná jsou pro tento účel považována za vynikající membránové materiály díky své nízké hmotnosti, vysoké ploše a prodyšné povaze [17].

6.6 Nanovláknenné materiály vhodné pro SPE

V této kapitole jsou uvedeny některé polymery, které jsou vhodné jako sorbenty pro SPE. Tabulka 1 shrnuje analyzovanou látku pro daný polymer, online/offline spojení s analytickou metodou, uspořádání SPE a použitou analytickou metodu.

Tab. 1 Seznam polymerů ve formě nanovláken používaných jako sorbenty pro extrakci na tuhé fázi

Polymer	Analyzovaná látka	Online/offline spojení s analytickou metodou	Uspořádání SPE	Použitá analytická metoda
Polyakrylonitril (PAN)	Polární sloučeniny, nitroaromatické sloučeniny	Online	Pipetovací špička, disky	HPLC [18, 19]
Polyamid (PA)	Fenolové sloučeniny, karboxylové kyseliny, aromatické nitrosloučeniny	Online	Kolonka, disky	HPLC[20]
Polystyren (PS)	Lipofilní, aromatická skupina ve struktuře	Offline	Kolonka, pipetovací špičky, disky	LC – UV, UHPLC – MS, GC – MS [21]

Polymer	Analyzovaná látka	Online/offline spojení s analytickou metodou	Uspořádání SPE	Použitá analytická metoda
Poly(vinylidendifluorid) (PVDF)	Nepolární sloučeniny, lipofilní fenoly	Online	Kolonka	HPLC [22, 23]
Polykaprolakton (PCL)	Polární organické sloučeniny	Online	Kolonka	HPLC [24]
Poly(ethylen) (PE)	Nepolární sloučeniny	Online	Kolonka	HPLC [25]
Poly(ethylenimin)	Nepolární sloučeniny, uhlovodíky, halogenové analyty	Online	Kolonka	HPLC [26]

6.6.1 Polyamidy

Polyamidy jsou lineární polymery, které jsou charakteristické obsahem amidových jednotek (N-H-C=O) v hlavním řetězci. Vyrábí se třemi druhy polymerací: polykondenzací ω -aminokarboxylových kyselin, polymerací jejich cyklických aminů a polykondenzací diaminů s dikarboxylovou kyselinou nebo jejich dichloridy. Kombinace uhlovodíkových řetězců a amidových skupin poskytuje polyamidy se speciální polaritou, které můžeme využít pro extrakční účely. Uhlovodíkový řetězec

umožňuje reagovat s různými chemickými sloučeninami v závislosti na polyamidových monomerech, kdežto amidové skupiny umožňují zvlhčení vláken vodou, která je důležitá pro zvýšení přenosu cílových sloučenin ze vzorku na vlákna [27].

Jejich vlastností je odolnost vůči hoření, chemická a mechanická stabilita, výborné dielektrické vlastnosti, schopnost absorpce vody a nepropustnost pro kyslík [18].

Nylon 6 (polyamid 6) se jeví jako vhodný sorbent pro SPE, který je cenově dostupný a dá se opakovaně použít, což snižuje náklady na prováděné analýzy [18].

6.6.2 Polyvinylidendifluorid

Připravuje se polymerací vinylidendifluoridu. Je vysoce inertní, mimořádně UV stabilní materiál, a odolný i při vyšších teplotách. Kromě sorbentu pro SPE se také používá ve formě membrány, která je hydrofobní a chemicky stabilní a slouží k mikrofiltraci a ultrafiltraci [28, 29, 30].

6.7 Analyzované látky

V následující části práce je představeno několik vybraných látek, pro jejichž analýzu byla použita extrakce na tuhou fázi s využitím nanovláken. Kapitoly 6.5.1 a 6.5.3 jsou příkladem online spojení extrakce na tuhou fázi s HPLC a kapitola 6.5.2 uvádí využití nového nanovláknenného sorbentu v offline uspořádání.

6.7.1 Bisfenol A

Bisfenol A patří mezi organické sloučeniny, které obsahují ve své struktuře dvě fenolické skupiny. Jedná se o nesteroidní sloučeninu, která má estrogení aktivitu. Bisfenol A se v menších dávkách váže na estrogení receptory, ale ve vyšších dávkách také na androgení receptory. Bisfenol A je používán na výrobu plastů (polykarbonátu) a epoxidových pryskyřic a při potahu novin a úctenek [18, 31].

Byla stanovena limitní koncentrace bisfenolu A v říčních vodách, s využitím PA 6 nanovláken on-line metodou SPE HPLC. Polyamidová nanovláknena byla připravena pomocí bezjehlového elektrostatického zvláknění, vložena do kolonky (5 x 4,6 mm) a spojena s HPLC. Při analýze bylo dávkováno 50 µl vzorku. Poté následovala on-line extrakce pomocí nanovláken. Jako analytická kolona byla použita kolona SupelcoAscentis® Express C18 (10 cm x 4,6 mm; 5 µm). Vzhledem k faktu, že bisfenol

A vykazuje fluorescenci a vzhledem k očekávaným nízkým koncentracím ve vzorcích řek, byl zvolen fluorescenční způsob detekce ($\lambda_{\text{ex}} = 225 \text{ nm}$ a $\lambda_{\text{em}} = 320 \text{ nm}$). Linearita byla testována v rozsahu od 2 do 500 $\mu\text{g/l}$ (s použitím devíti kalibračních bodů). Meze detekce a kvantifikace byly 0,6; respektive 2 $\mu\text{g/l}$. Vyvinutá metoda byla úspěšně použita pro stanovení bisfenolu A v různých vzorcích říčních vod v České republice (řeky Ohře, Labe, Nisa, Úpa a Opava). Polyamidová nanovláknina bylo možné opakovaně použít, protože ani po více než 700 analýzách nebyla pozorována žádná mechanická deformace ani změna extrakčních vlastností [18].

6.7.2 Parahydroxybenzoáty (parabeny)

Estery kyseliny para-hydroxybenzoové jsou známé jako parabeny (methylparaben, ethylparaben, propylparaben a butylparaben). Tyto materiály jsou díky širokému antimikrobiálnímu spektru, nízké ceně a chemické stabilitě široce používány jako konzervační látky, antimikrobiální a antifungální látky v nápojových výrobcích, kosmetice a léčivech. Parabeny mohou být absorbovány kůží nebo se mohou dostat do lidského těla polykáním nebo dokonce vdechováním. V případě polykání parabenů obsahujících potraviny (včetně nápojů, ovocných želé, tuků a olejů a mléčných výrobků) jsou parabeny přímo absorbovány gastrointestinálním traktem a rychle se vylučují močí. Z možných vzorků potravin obsahujících paraben je mléko považováno za kompletní potravinu nezbytnou pro lidskou výživu a je široce konzumováno po celém světě. Stanovení parabenu by tedy bylo cenné u všech balených potravinářských výrobků, jako jsou vzorky mléka. Navíc podle některých výzkumných prací byly parabeny detekovány ve vzorcích půdy, vzorcích vody v životním prostředí a čerstvé zelenině. Parabeny proto mohou snadno vstoupit do potravinového řetězce [32].

Studie popisuje použití uhlíkových nanovláken modifikovaných poly(ethyleniminem), (PEI-CNF) zakotvených na celulóзовém papíru (CP), jako nový sorbent pro extrakci parabenů ze vzorků vod. Struktura PEI-CNFs@CP byla ověřena pomocí skenovacího elektronového mikroskopu, transmisní elektronovou mikroskopií a technikami infračervené spektroskopie s Fourierovými transformátory. Byly studovány různé faktory ovlivňující adsorpci a desorpci parabenů na PEI-CNFs@CP a jeho extrakční účinnosti pomocí HPLC-UV analýzy. Za optimálních experimentálních podmínek bylo dosaženo maximální účinnosti extrakce pro cílové parabeny a metoda PEI-CNFs@CP/HPLC-UV vykazovala vynikající linearitu v rozmezí 0,5 – 50 ng/ml .

Prezentovaná metoda prokázala dobrou citlivost s limity kvantifikace v rozmezí 0,5 – 0,75 ng/ml a detekčními limity v rozmezí 0,1 – 0,25 ng/ml. Vyvinutá technika byla použita pro analýzu skutečných vzorků (řeka, jezero, užitková voda a pitná voda z vodovodu). Omezení této metody spočívá v tom, že použitý sorbent je snadno odbouratelný ve vodném roztoku vzorku během prodloužené doby extrakce a není možné jej použít opakovaně. I přes toto omezení, výsledky studie prokázaly, že jde o jednoduchou, rychlou, efektivní, nízkonákladovou a ekologickou metodu pro extrakci a stanovení parabenů ve vzorcích vody v životním prostředí a lze ji použít jako vhodný analytický nástroj v laboratořích pro monitorování životního prostředí a kontrolu kvality [33].

6.7.3 Mykotoxiny

Mykotoxiny jsou toxické sekundární metabolity produkované několika druhy plísní. Růst plísní za různých podmínek prostředí by mohl kontaminovat např. obiloviny, ořechy a koření, což může mít nepříznivý vliv na lidské zdraví. Ze všech známých mykotoxinů jsou aflatoxiny a ochratoxin A nejproblematičtější, přičemž aflatoxin B₁ je nejsilnějším přírodním karcinogenem. Několik studií poskytlo přesvědčivé důkazy o tom, že aflatoxin B₁ a ochratoxin A mají mimo jiné karcinogenní, teratogenní a neurotoxické účinky. Ve všech obilovinách nesmí být aflatoxin B₁ a ochratoxin A přítomny v množství větším než 2, respektive 3 µg/kg. V potravinách a výrobcích na bázi obilovin pro kojence jsou limity pro aflatoxin B₁ a ochratoxin A nižší a nesmí překročit 0,1; respektive 0,5 µg/kg [34].

Studie popisuje stanovení ochratoxinu A v pивní matrici metodou online SPE HPLC. Jako vhodný sorbent pro online extrakci ochratoxinu A ze vzorku piva byl vybrán nový nano/mikro kompozitní sorbent, sestávající z polykaprolaktonových mikrovláken/PVDF nanovláken. K účinné extrakci bylo zapotřebí pouze 45 mg kompozitního sorbentu z nano/mikrovláken a celá analýza včetně kroku extrakce a separace vyžadovala pouze 8 minut. Testované validační parametry měly hodnoty opakovatelnosti v rámci parametru přesnost nižší než 1,48 %, linearitu v rozmezí od 0,5 do 100 µg/l ($r^2 \geq 0,9999$) pro standardní a matricovou kalibrační křivku a výtěžnost v rozmezí 99,1 – 103,9 % na pěti koncentračních úrovních. Dlouhodobá opakovatelnost hodnocená u 31 analýz za období tří měsíců nepřekročila 2,9 % RSD. Na základě výsledků měření bylo potvrzeno, že tento nový materiál je možné opakovaně použít, což

je výhodné oproti klasickým SPE sorbentům, které jsou určeny pouze pro jednu analýzu [35, 36].

K detekci mykotoxinů bylo použito mnoho analytických metod. V posledních letech byly pro rychlý screening mykotoxinů vyvinuty metody založené na imunoafinitě, jako je enzymová imunoanalýza (ELISA). Výsledky testu ELISA však mají určité nevýhody, včetně pseudo-pozitivních výsledků a nepřijatelné přesnosti kvantifikace. Chromatografické techniky založené na tenkovrstvé chromatografii (TLC), kapalinové chromatografii (LC) a plynové chromatografii (GC) se staly nejběžnějšími metodami detekce mykotoxinů. V současné době se kapalinová chromatografie spojená s hmotnostní spektrometrií (LC – MS) nebo tandemovou MS (LC – MS/MS) používá hlavně pro simultánní detekci mykotoxinů díky své vyšší citlivosti, lepší selektivitě a přesnější identifikaci. V mnoha předchozích studiích byla k testování mykotoxinů v obilí, hroznech a víně použita metoda LC – MS/MS. Zde byla vybrána LC – MS/MS pro (polo-)kvantitativní stanovení aflatoxinu B₁ a ochratoxinu A [34].

Pro stanovení mykotoxinů bylo použito několik různých typů metod úpravy vzorku, jako je extrakce kapalina-kapalina (LLE), extrakce superkritickou tekutinou a extrakce na tuhou fázi (SPE). Některé z těchto metod jsou však časově náročné, nákladné a zdlouhavé. Ve srovnání s jinými metodami mají kolonky pro SPE nižší náklady a dosahují rychlejšího oddělení. Kromě toho byla tato metoda široce používána a má historii použití pro předkoncentraci, což umožňuje stanovení a kvantifikaci nižších koncentrací mykotoxinů [34].

ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo vytvořit rešeršní práci o nanovlákních jako slibném sorbentu pro extrakci na tuhé fázi. V současné době se hledají nové sorbenty pro extrakci, které budou selektivní, je snaha po miniaturizaci a snaha po automatizaci metod. Nové sorbenty musí být stabilní, a hlavně jejich použití musí být reprodukovatelné a opakovatelné. Polymerní nanovlákná vykazují velký potenciál použití v extrakčních technikách. Nanovlákná mají velikou plochu, což může pomoci v rychlosti extrakce a zvýšení extrakční kapacity.

V práci byly charakterizovány základní vlastnosti nanovláken, popsány hlavní způsoby jejich výroby a představeny zajímavé oblasti jejich využití se zaměřením na použití v analytické chemii.

V bakalářské práci jsem popsala několik příkladů analyzovaných látek, u kterých se mohou použít nanovlákná jako sorbent pro SPE. Prvním příkladem bylo stanovení limitních koncentrací bisfenolu A v říčních vodách online SPE HPLC metodou, s využitím nanovlákná polyamid 6. Polyamid 6, jako sorbent v SPE, ukázal zvýšenou extrakční účinnost pro lipofilní látky s fenolickými skupinami. Vzhledem k očekávaným nízkým koncentracím ve vzorcích řek, byl zvolen fluorescenční způsob detekce. Výhodou metody byl krátký celkový čas analýzy (4,3 minuty), který zahrnoval i extrakci a dále fakt, že polyamidová nanovlákná bylo možné opakovaně použít (700 analýz).

Druhým příkladem bylo stanovení parabenů ve vzorcích vody metodou PEI-NCFs@CP/HPLC-UV. Úspěšně byl vyvinut nový sorbent na bázi modifikovaných uhlíkových nanovláken a použit pro SPE parabenů. Testovaný sorbent vykazoval vynikající extrakční schopnosti parabenů. Metodou bylo dosaženo nízkých detekčních limitů pro parabeny s přijatelnou přesností. Omezení této metody spočívalo v tom, že sorbent zakotvený na celulózovém papíru nemohl být znovu použit, protože je snadno odbouratelný ve vodném roztoku vzorku.

Dalším příkladem bylo stanovení mykotoxinů, konkrétně ochratoxinuA, ve vzorku piva online SPE HPLC metodou za použití nano/mikro kompozitního sorbentu sestávajícího z polykaprolaktonových mikrovláken/PVDF nanovláken. Bylo prokázáno, že nové kompozitní polymery připravené technologií, která kombinuje proces tavného

vyfukování a elektrostatického zvlákňování, jsou vhodné pro vysokotlaký online systém SPE HPLC a oproti jiným vláknům mají několik výhod. Současně byla potvrzena výborná opakovatelnost a stabilita materiálu, který bylo možné použít pro více než 200 analýz. Díky tomu bylo potvrzeno, že tento materiál je možné opakovaně použít i při extrémním využití, což je výhodné oproti klasickým SPE sorbentům, které jsou určeny pouze pro jednu analýzu.

Výsledky předkládané práce ukazují, že nanovlákná představují potenciál v oblasti analytické chemie a jsou z mého pohledu slibným sorbentem pro SPE. Závisí ovšem na jejich fyzikálních a chemických vlastnostech, i na vlastnostech analyzovaných látek.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] POOLE, Colin F. New trends in solid-phase extraction: Lecture Notes from the 2nd ERCOFTAC Summer school held in Stockholm, 10-16 June, 1998. *TrACTrends in Analytical Chemistry*. 2003, **22**(6), 362-373 [cit. 2021-3-7]. ISSN 01659936. Dostupné z: doi:10.1016/S0165-9936(03)00605-8
- [2] HAIDAR, Mohammad a Hakan EROGLU. Nanofibers: New Insights for Drug Delivery and Tissue Engineering. *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 2017, **17**(13), 1564-1579 [cit. 2020-12-11]. ISSN 15680266. Dostupné z: doi:10.2174/1568026616666161222102641
- [3] GAUTHIER-'VILLARS, Imprimerie.BIPM - Resolution 12 of the 11th CGPM. 1960 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/11/12/>
- [4] HOŠEK, Jan. Úvod do nanotechnologie. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-800-1045-558.
- [5] BARDOŇOVÁ, Lenka. Nanotechnologie na VŠB - TUO. Nanotechnologie. 2007 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <http://nanotechnologie.vsb.cz/>
- [6] RASOULI, Rahimeh, Ahmed BARHOUM, Mikhael BECHELANY a Alain DUFRESNE. Nanofibers for Biomedical and Healthcare Applications. *Macromolecular Bioscience*. 2018, **19**(2) [cit. 2021-5-15]. ISSN 1616-5187. Dostupné z: doi:10.1002/mabi.201800256
- [7] SARBATLY, Rosalam, Jamilah SARIAU a Mohammad FahimInteser ALAM. Advances in nanofiber membrane. *Materials Today: Proceedings*. 2021, **46**, 2118-2121 [cit. 2021-6-18]. ISSN 22147853. Dostupné z: doi:10.1016/j.matpr.2021.05.483
- [8] PETRÁŠ, David at al. Bezpečná nanovlákná. *Chem. listy*. 2009, 103, 1009-1016. 2009 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16292717-Bezpecna-nanovlakna-david-petras-a-dusan-kimmer-a-karel-soukup-b-a-petr-kluson-b-obsah-2-nanovlakno-a-jeho-formy-1-uvod.html>
- [9] RŮŽIČKOVÁ, Jana a Yuqin WANG. Elektrostatické zvlákňování nanovláken: An integrated approach to the theory and applications of fibrous filters. Vyd. 2., nezměn. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-737-2066-3.

- [10] HEGDE, Rahul Rama, A. DAHIYA a Ganesh M. KAMATH. Nanofibers non wovens. 2005 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <http://www.engr.utk.edu/mse/Textiles/Nanofiber%20Nonwovens.htm>
- [11] Nanopharma. 2015 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.nanopharma.cz/cs/produkty-a-technologie/technologie>
- [12] SUNDARRAJAN, Subramanian, KwongLuck TAN, SoonHuat LIM a Seeram RAMAKRISHNA. Electrospun Nanofibers for Air Filtration Applications. *Procedia Engineering*. 2014, **75**, 159-163 [cit. 2021-3-7]. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2013.11.034
- [13] KLOUČKOVÁ, Michaela. Modifikace polymerních nanovláčkových struktur na bázi poly-epsilon-kaprolaktonu a poly-L-mlečné kyseliny pro biomedicínské aplikace. Brno, 2016 [cit. 2021-7-20]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/e38uq/Modifikace_polymernich_nanovlakennych_struktur_na_bazi_poly-epsilon-kaprolaktonu_a_poly-L-mlečne_kyseliny_pro_biomedicinske_aplikace_SKRYT.pdf. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav biochemie.
- [14] RÍOS-GÓMEZ, Julia, Beatriz FRESCO-CALA, María GARCÍA-VALVERDE, Rafael LUCENA a Soledad CÁRDENAS. Carbon Nanohorn Suprastructures on a Paper Support as a Sorptive Phase. *Molecules*. 2018, **23**(6) [cit. 2021-3-7]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules23061252 [15] DING, B a J YU. Electrospun Nanofibers for Energy and Environmental Applications. 2014, 525 s. ISBN 978-3-642-54160-5.
- [16] ROGINA, Anamarija. Electrospinning process: Versatile preparation method for biodegradable and natural polymers and biocomposite systems applied in tissue engineering and drug delivery. *Applied Surface Science*. 2014, 296, 221-230 [cit. 2021-5-15]. ISSN 01694332. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsusc.2014.01.098
- [17] RAMAKRISHNA, Seeram, Kazutoshi FUJIHARA, Wee-Eong TEO, Thomas YONG, Zuwei MA a Ramakrishna RAMASESHAN. Electrospun nanofibers: solving global issues. *Materials Today*. 2006, 9(3), 40-50 [cit. 2021-3-7]. ISSN 13697021. Dostupné z: doi:10.1016/S1369-7021(06)71389-X

- [18] TAVENGWA, Nikita Tawanda, Pardon NYAMUKAMBA, Ewa CUKROWSKA a Luke CHIMUKA. Miniaturized pipette-tip-based electrospun polyacrylonitrile nanofibers for the micro-solid-phase extraction of nitro-based explosive compounds. *Journal of Separation Science*. 2016, 39(24), 4819-4827 [cit. 2021-3-7]. ISSN 16159306. Dostupné z: doi:10.1002/jssc.201600730
- [19] SADA, Kazuki, Kenta KOKADO a Yuki FURUKAWA. Polyacrylonitrile (PAN). *Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, 2014-11-18, 1-7 [cit. 2021-3-7]. ISBN 978-3-642-36199-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-36199-9_249-1
- [20] GAO, Min, Xiaolei WANG, Ming GU, Zhiguo SU, Ye WANG a Jan-Christer JANSON. Separation of polyphenols using porous polyamide resin and assessment of mechanism of retention. *Journal of Separation Science*. 2011, 34(15), 1853-1858 [cit. 2021-3-7]. ISSN 16159306. Dostupné z: doi:10.1002/jssc.201100139
- [21] IL'IN, Mikhail, Vadim Alexandrovich DAVANKOV, Stanislav SYCHEV a Yu. KOSTIKOV. A combination of solid-phase extraction on hypercrosslinked polystyrene with HPLC determination of furan derivatives in transformer oils. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2007, 81(3), 424-427 [cit. 2021-3-7]. ISSN 0036-0244. Dostupné z: doi:10.1134/S0036024407030235
- [22] SHIMOMOTO, Hiroaki. Poly(tetrafluoroethylene) and Other Fluorine-Containing Polymers. *Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021, 2014-8-29, 1-6 [cit. 2021-3-7]. ISBN 978-3-642-36199-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-36199-9_245-1
- [23] SUN, Meng, Qihua WU, Chun WANG a Zhi WANG. Thin-film microextraction for the preconcentration of some endocrine disrupting chemicals in aqueous samples before chromatographic analysis. *Anal. Methods*. 2014, 6(16), 6316-6321 [cit. 2021-3-7]. ISSN 1759-9660. Dostupné z: doi:10.1039/C4AY00284A

- [24] MARCINKOWSKI, Łukasz, Adam KLOSKOWSKI, Agata SPIETELUN a Jacek NAMIEŚNIK. Evaluation of polycaprolactone as a new sorbent coating for determination of polar organic compounds in water samples using membrane–SPME. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2015, 407(4), 1205-1215 [cit. 2021-3-7]. ISSN 1618-2642. Dostupné z: doi:10.1007/s00216-014-8328-0
- [25] HÁKOVÁ, Martina, Lucie Chocholoušová HAVLÍKOVÁ, Jiří CHVOJKA, Jakub ERBEN, Petr SOLICH, František ŠVEC a Dalibor ŠATÍNSKÝ. A comparison study of nanofiber, microfiber, and new composite nano/microfiber polymers used as sorbents for on-line solid phase extraction in chromatography system. *Analytica Chimica Acta*. 2018, 1023, 44-52 [cit. 2021-3-7]. ISSN 00032670. Dostupné z: doi:10.1016/j.aca.2018.04.023
- [26] BAGHERI, Habib, Alireza AKBARINEJAD a Ali AGHAKHANI. A highly thermal-resistant electrospun-based polyetherimide nanofibers coating for solid-phase microextraction. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2014, 406(8), 2141-2149 [cit. 2021-3-7]. ISSN 1618-2642. Dostupné z: doi:10.1007/s00216-013-7407-y &featureToggles=FEATURE_NEW_METRICS_SECTION:1
- [27] ALBA, Jesús, Romina DEL REY, Laura BERTO a Carlos HERVÁS. Use of textile nanofibers to improve the sound absorption coefficient of drilled panels for acoustic applications. 2012 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00810681/document>
- [28] PVDF Polymerové typy – Resinex. Resinex - Distribuce plastů a kaučuků. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.resinex.cz/polymerove-typy/pvdf.html>
- [29] AL-GHARABLI, Samer, Joanna KUJAWA, Musthafa O. MAVUKKANDY a Hassan A. ARAFAT. Functional groups docking on PVDF membranes: Novel Piranha approach. *European Polymer Journal*. 2017, 96, 414-428 [cit. 2021-3-7]. ISSN 00143057. Dostupné z: doi:10.1016/j.eurpolymj.2017.09.029

- [30] CUI, Zhaoliang, Xue LI, Yongxing ZHANG, Zhaohui WANG, Annarosa GUGLIUZZA, Francesca MILITANO, Enrico DRIOLI a Francesca MACEDONIO. Testing of three different PVDF membranes in membrane assisted-crystallization process: Influence of membrane structural-properties on process performance. *Desalination*. 2018, 440, 68-77 [cit. 2021-3-7]. ISSN 00119164. Dostupné z: doi:10.1016/j.desal.2017.12.038
- [31] Bisphenol A. National Library of Medicine. [cit. 2021-4-20]. Dostupné z: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Bisphenol_A#section=Top
- [32] SEIDI, Shahram, Elnaz SADAT KARIMI, Ahmad ROUHOLLAHI, Mahroo BAHARFAR, Maryam SHANEHSAZ a Mohammad TAJIK. Synthesis and characterization of polyamide-graphene oxide-polypyrrole electrospun nanofibers for spin-column micro solid phase extraction of parabens in milk samples. *Journal of Chromatography A*. 2019, 1599, 25-34 [cit. 2021-4-24]. ISSN 00219673. Dostupné z: doi:10.1016/j.chroma.2019.04.014
- [33] PASUPULETI, Raghavendra Rao, Pei-Chien TSAI a Vinoth Kumar PONNUSAMY. Low-cost disposable Poly(ethyleneimine)-Functionalized Carbon Nanofibers Coated Cellulose Paper as efficient solid phase extraction sorbent material for the extraction of Parahydroxybenzoates from environmental waters. *Chemosphere*. 2021, 267 [cit. 2021-4-25]. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2020.129274
- [34] WANG, Lizhi, Zhen WANG, Weiwei GAO, Juan CHEN, Meihua YANG, Ying KUANG, Linfang HUANG a Shilin CHEN. Simultaneous determination of aflatoxin B1 and ochratoxin A in licorice roots and fritillary bulbs by solid-phase extraction coupled with high-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*. 2013, 138(2-3), 1048-1054 [cit. 2021-4-25]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2012.11.066
- [35] HÁKOVÁ, Martina, Lucie CHOCHOLOUŠOVÁ HAVLÍKOVÁ, Jiří CHVOJKA, Jakub ERBEN, Petr SOLICH, František ŠVEC a Dalibor ŠATÍNSKÝ. A comparison study of nanofiber, microfiber, and new composite nano/microfiber polymers used as sorbents for on-line solid phase extraction in chromatography system. *Analytica Chimica Acta*. 2018, 1023, 44-52 [cit. 2021-4-25]. ISSN 00032670. Dostupné z: doi:10.1016/j.aca.2018.04.023

- [36] HÁKOVÁ, Martina. Využití nanovlákných sorbentů pro on-line extrakce v kapalinové chromatografii. Univerzita Karlova, 2020 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z:<https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/117226/140083686.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Disertační práce. Univerzita Karlova, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Poměr velikostí různých struktur [5]</i>	9
<i>Obr. 2: Nanovláknenná nit' z polyakrylonitrilo-akrylátového kopolymeru vyrobená metodou elektrostatického zvlákňování [8]</i>	11
<i>Obr. 3: Nanovláknenná vrstva z polyurethanu vyrobená metodou elektrostatického zvlákňování [8]</i>	12
<i>Obr. 4: Nanovláknenný objemný útvar z polystyrenu: a) detail struktury; b) celkový pohled [8]</i>	12
<i>Obr. 5: Schéma principu elektrostatického zvlákňování [11]</i>	14
<i>Obr. 6: Schéma principu elektrostatického zvlákňování – vertikální kapilára [9]</i>	15
<i>Obr. 7: Schéma principu elektrostatického zvlákňování – paralelní desková geometrie [9]</i>	16
<i>Obr. 8: Rotační kolektor pro elektrostatické zvlákňování [9]</i>	17
<i>Obr. 9: Elektrostatické zvlákňování s pomocným elektrickým polem [9]</i>	18
<i>Obr. 10: Schéma principu elektrostatického zvlákňování – rotující diskový kolektor [9]</i>	19
<i>Obr. 11: Zarovnání vláken z vlákněných výše uvedenou rámovou metodou [9]</i>	19

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Seznam polymerů ve formě nanovláken používaných jako sorbenty pro extrakci na tuhé fázi</i>	<i>23</i>
---	-----------