

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
ÚSTAV CHÉMIE A TECHNOLOGIE
MAKROMOLEKULÁRNÝCH LÁTKOK

**ŠTÚDIUM VLASTNOSTÍ A APLIKÁCIÍ VODIVÝCH
POLYMÉROV V POLYMÉRNÝCH A MEDICÍNSKÝCH
MATERIÁLOCH**
BAKALÁRSKA PRÁCA

Autor: Ivana Divinská

Vedúci práce: prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.

2017

UNIVERSITY OF PARDUBICE
FACULTY OF CHEMICAL TECHNOLOGY
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
MACROMOLECULAR MATERIALS

**STUDY OF THE PROPERTIES AND APPLICATIONS OF
CONDUCTING POLYMERS IN THE POLYMERS AND
MEDICAL MATERIALS**

BACHELOR THESIS

Author: Ivana Divinská

Supervisor: prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.

2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ivana Divinská**
Osobní číslo: **C14488**
Studijní program: **B2830 Farmakochemie a medicínální materiály**
Studijní obor: **Farmakochemie a medicínální materiály**
Název tématu: **Studium vlastností a aplikací vodivých polymerů
v polymerních a medicínálních materiálech**
Zadávající katedra: **Ústav organické chemie a technologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Vodivé polymery a jejich dopované formy a kombinace s dalšími materiály jsou v poslední době v centru zájmu jak základního výzkumu, tak i aplikovaného výzkumu. Spektrum potencionálních aplikací je poměrně široké. Výzkum se neustále zaměřuje na zkoumání nově objevených vlastností vodivých polymerů, zejména vlastností elektrických, dielektrických, optických a tedy i na jejich potencionální aplikace. Důvodem jejich výzkumu jsou i predikovatelné změny jejich vlastností a struktury v závislosti na okolním prostředí. Jejich elektrická vodivost je dána systémem konjugovaných vazeb a přenosem náboje po řetězci, který je vpraven do konjugovaného systému dopováním.

1. Charakterizujte vodivé polymery.
2. Popište strukturu, vlastnosti a možnosti přípravy vybraných vodivých polymerů.
3. Jmenujte využití těchto materiálů, uveďte příklady potencionálního využití těchto látek v oblasti polymerních materiálů a ve farmakochemické nebo medicínální oblasti.
4. Výsledky zpracujte formou závěrečné zprávy.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Všechna dostupná chemická literatura.

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Datum zadání bakalářské práce:

28. února 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. července 2017



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



prof. Ing. Miloš Sedlák, DrSc.
vedoucí katedry

-V Pardubicích dne 28. února 2017

Prehlasujem:

Túto prácu som vypracovala samostatne. Všetky literárne pramene a informácie, ktoré som v práci využila sú uvedené v zozname použitej literatúry. Bola som zoznámená s tým, že sa na moju prácu vzťahujú práva a povinnosti vyplývajúce zo zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, najmä so skutočnosťou, že Univerzita Pardubice má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o použití tejto práce ako školského diela podľa § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tým, že pokiaľ dôjde k použitiu tejto práce mnou alebo bude poskytnutá licencia o použití inému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávnená odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré na vytvorenie diela vynaložila, a to podľa okolností až do ich skutočnej výšky.

Beriem na vedomie, že s súlade s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, a smernicou Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práca zverejnená v Univerzitnej knižnici a prostredníctvom Digitálnej knižnice Univerzity Pardubice.

V Pardubiciach dňa 3.7. 2017

Ivana Divinská

Chcela by som poďakovať hlavne vedúcej mojej bakalárskej práce prof. Ing. Andréi Kalendovej, Dr. za odborné rady a konzultácie počas spracovania bakalárskej práce. Ďalšie ďakujem patrí otcovi, za možnosť spoznať čaro chémie a celej mojej rodine za podporu a trpezlivosť počas celého štúdia.

ANOTÁCIA

Bakalárska práca je zameraná na štúdium vodivých polymérov. Popisuje konjugovaný systém hlavného reťazca, vlastnosti a ich optimalizáciu. Charakterizuje hlavných zástupcov, ako polyanilín, polypyrol, polytiofén a stručne popisuje základné princípy prípravy. Zaoberá sa použitím vodivých polymérov v rôznych oblastiach aplikácie, hlavne v medicínskej a farmaceutickej.

Kľúčové slová

Vodivé polyméry, konjugované polyméry, polyanilín, polypyrol, polytiofén, možnosti prípravy, využitie vodivých polymérov, využitie v medicínskej oblasti

ANNOTATION

The bachelor thesis is focused on the study of the conducting polymers. It describes the main-chain conjugated system, the features as well as their optimization. It characterizes the main representative examples such as polyaniline, polypyrrole, polythiophene, and briefly defines the fundamental principles of preparation. It deals with the application of conducting polymers in different application areas, with a main focus on medical and pharmaceutical field.

Key words

Conducting polymers, conjugated polymers, polyaniline, polypyrrole, polythiophene, possibilities of preparation, applications of conducting polymers, application in medical field

OBSAH

ÚVOD.....	12
1. VODIVÉ POLYMÉRY	13
1.1 HISTÓRIA	13
1.2 KONJUGOVANÉ POLYMÉRY.....	14
1.3 VLASTNOSTI.....	16
1.4 OPTIMALIZÁCIA VLASTNOSTÍ PRE KONKRÉTNU APLIKÁCIU	17
1.4.1 CHEMICKÉ PROCESY OPTIMALIZÁCIE.....	18
2. ZÁSTUPCOVIA VODIVÝCH POLYMÉROV	19
2.1 POLYANILÍN.....	20
2.2 POLYPYROL	22
2.3 POLYTHIOFÉN	22
2.4 MOŽNOSTI PRÍPRAVY	22
3. VYUŽITIE VODIVÝCH POLYMÉROV	25
3.1 BATÉRIE.....	25
3.2 SENZORY	26
3.3 OCHRANA PROTI KORÓZII.....	27
4. VYUŽITIE V MEDICÍNSKEJ A FARMACEUTICKEJ OBLASTI.....	28
4.1 BIOSENZORY	29
4.1.2 TYPY BIOSENZOROV.....	31
4.2 TKANIVOVÉ INŽINIERSTVO	32
4.3 NEURÓNOVÉ SONDY	33
4.4 TRANSPORT LIEKOV.....	34
4.5 BIAKTIVÁTORY.....	36
5. ZÁVER.....	37
6. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	38

ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

Obr. 1 Alan MacDiarmid	13
Obr. 2 Alan J. Heeger	13
Obr. 3 Hideki Shirakawa	13
Obr. 4 Schéma konjugovaného hlavného reťazca	14
Obr. 5 Znázornenie oxidačného a redukčného dopingu	15
Obr. 6 Dopng protónovou kyselinou	16
Obr. 7 Vzorec pre výpočet elektrickej vodivosti	17
Obr. 8 Najdôležitejšie vodivé polyméry	19
Obr. 9 Základné formy polyanilínu	20
Obr. 10 Polyanilín - globulárne častice	21
Obr. 11 Polyanilín - nanovlákná	21
Obr. 12 Polyanilín - nanotrúbice.....	21
Obr. 13 Polyanilín - "kvetinové tvary"	21
Obr. 14 Oxidácia anilínu s peroxydisulfátom amónnym	23
Obr. 15 Všeobecná schéma batérie.....	26
Obr. 16 Schéma biosenzoru	30
Obr. 17 Schéma bioaktívnej sústavy elektród VP	34
Tab. 1 Vodivosť vodivých polymérov s vybraným nosičom náboja.....	15
Tab. 2 Vodivosť vybraných vodivých polymérov	17
Tab. 3 Prehľad substrátov na detekciu.....	32

ZOZNAM SKRATIEK

VP	Vodivé polyméry
PA	Polyacetylén
PPy	Polypyrol
PT	Polytiofén
PP	Polyfenylén
PF	Polyfurán
PANI	Polyanilín
E _g	Pásová medzera
σ	Elektrická vodivosť [S]
ρ	Špecifický odpor [$\Omega \cdot m$]
R	Odpor [Ω]
L	Dĺžka [m]
A	Prierezová plocha [m ²]
LED	Dióda emitujúca svetlo

ÚVOD

Vodivé polyméry predstavujú novú triedu materiálov. Vyznačujú sa konjugovaným systémom dvojitých väzieb, vynikajú jedinečnými oxidačno-redukčnými vlastnosťami, dobrou environmentálnou stabilitou, ľahkou spracovateľnosťou a možnosťou dopovania. Vlastnosti materiálov je možné optimalizovať a preto majú vodivé polyméry široké uplatnenie a využívajú sa v mnohých oblastiach, či už ako batérie, senzory alebo na ochranu proti korózii. Pôsobia aj ako vynikajúce materiály na imobilizáciu molekúl a rýchly prenos elektrónov v medicínskej a farmaceutickej oblasti. Využitie vodivých polymérov ako biomateriály vyvoláva veľký záujem a v súčasnosti sú súčasťou biosenzorov, tkanivového inžinierstva alebo slúžia na transport liekov.

1. VODIVÉ POLYMÉRY

V posledných rokoch prirodzene vodivé polyméry priťahujú veľkú pozornosť ako moderné materiály. Vodivé polyméry, príp. polyméry s vlastnou vodivosťou sú organické alebo polyaromatické zlúčeniny. Vynikajú nezvyčajnými vlastnosťami a schopnosťou viesť elektrický prúd [1]. Špecifickým skeletom je konjugovaný systém za sebou opakujúcich sa jednotiek monoméru danej látky. V porovnaní s polymérnymi materiálmi ich vďaka svojim vlastnostiam radíme medzi vodiče a polovodiče [2].

1.1 HISTÓRIA

Polyméry s vodivým charakterom sú známe od roku 1960, kedy H. A. Pohl a J. E. Katon spolu s výskumným tímom po prvýkrát objavili vysokú vodivosť polysulfunitridu [3].

Novšie štúdiá začínajú od roku 1971, kedy sa profesor Hideki Shirakawa spolu s vedeckým tímom zaujímali o polyacetylén. Zistili, že oxidáciou jódovými, brómovými alebo chlórými parami, má značne vysokú vodivosť v porovnaní s ostatnými organickými látkami. Vodivosť *trans*-polyacetylénu sa zvýšila o niekoľko rádov a dopingová forma mala vodivosť $10^5 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ [2,3]. Za objavenie nových materiálov, označovaných tiež ako „inteligentné“ materiály, bola v roku 2000 udelená Nobelova cena za chémiu americkému chemikovi Alanovi G. MacDiarmidovi, Obr. 1, americkému fyzikovi Alanovi J. Heegerovi, Obr. 2 a japonskému chemikovi Hideki Shirakawovi, Obr. 3 [4].



Obr. 1 Alan MacDiarmid [5]



Obr. 2 Alan J. Heeger [6]

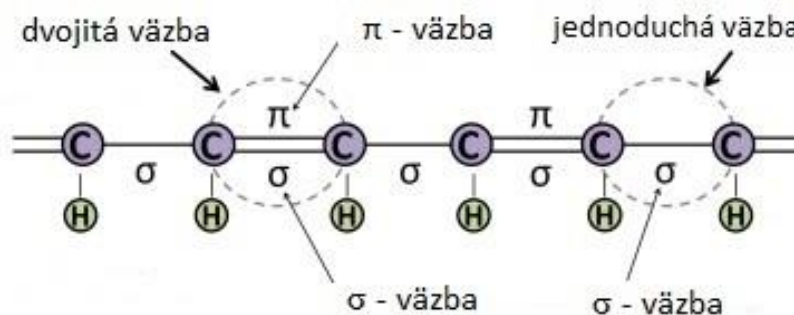


Obr. 3 Hideki Shirakawa [7]

Profesor chémie Alan G. Mac Diarmid pôsobil na Pensylvánskej univerzite. Skúmal prípravu a vlastnosti polyanilínu i jeho oligomérov. Špecializoval sa možnosťami ich využitia ako biosenzorov [5]. Profesor fyziky Alan J. Heeger a riaditeľ Výskumného ústavu polymérov a organických pevných látok pri Kalifornskej univerzite sa zaoberá štúdiom transportu v polovodivých polymérnych látkach, emisiou svetla v týchto materiáloch a využitím vlastností pre konštrukciu diód a laserov [6]. Profesor chémie Hideki Shirakawa pôsobí vo Výskumnom ústave materiálových vied, kde dospel k objavu, že je možné zaviesť do polymérnej látky nositeľ a náboja procesom dopovania [7].

1.2 KONJUGOVANÉ POLYMÉRY

Základom vodivých polymérov je konjugovaný systém, v ktorom sa pravidelne striedajú jednoduché a dvojité väzby v reťazci makromolekuly. Jednoduché i dvojité väzby majú silne lokalizované σ -väzby, pričom dvojité väzba obsahuje menej lokalizovanú π -väzbu. Vďaka vzájomnému prekryvu p -orbitalu dochádza k delokalizácii a k voľnému pohybu elektrónov medzi atómami [8]. Medzi štruktúrne najjednoduchší konjugovaný polymér patrí polyacetylén [4]. Na Obr. 4 je znázornená schéma konjugovaného systému.



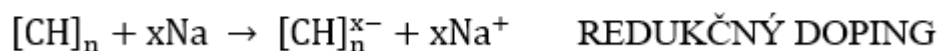
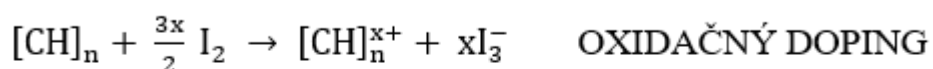
Obr. 4 Schéma konjugovaného hlavného reťazca [8]

Makromolekuly sa vyznačujú vlastnou vysokou elektrickou vodivosťou, ale dôležitou súčasťou k vodivosti konjugovaných materiálov je dotujúca látka v procese dopingu [4]. V Tab. 1 sú zobrazené vybrané polyméry a ich vhodný dotujúci materiál s výslednou vodivosťou polyméru.

Tab. 1 Vodivosť vodivých polymérov s vybraným nosičom náboja [1]

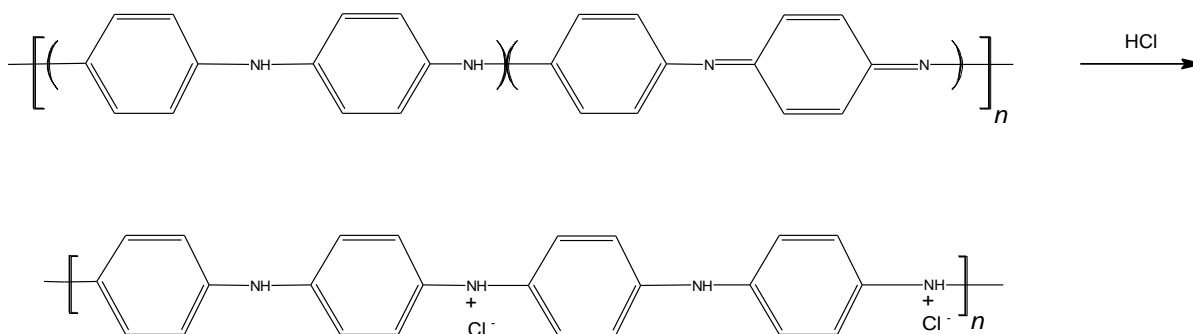
POLYMÉR	DOTUJÚCI MATERIÁL	VODIVOSŤ (S/cm)
Polyacetylén (PA)	I ₂ , LiBr ₂ , Na, AsF ₅	10 ⁴
Polypyrol (PPy)	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻	500 – 7,5 x 10 ³
Polytiofén (PT)	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻ , FeCl ₄ ⁻	10 ³
Polyfenylén (PP)	AsF ₅ , Li, K	10 ³
Polyfurán (PF)	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻	100
Polyanilín (PANI)	HCl	200

Polymérne materiály sú práve vďaka dopovaniu vodivé alebo sa ich vodivosť zvyšuje. Dopujúca látka vo forme extra elektrónov sa vstrekuje do elektrónovej medzery polyméru, dôjde k presunu elektrónov zo susednej polohy a následne k posunu elektrónovej diery. Umožní to migráciu elektrónov na dlhšiu vzdialenosť. Rozlišujú sa dva typy oxidačno-redukčného dopovania. Napr. halogénové dopovanie polyacetylénu nazývame *p*-doping, tiež ako oxidácia, alebo redukčný doping, ako *n*-doping použitím alkalického kovu [9]. Jedná sa o čiastočné pridanie (redukciu) alebo odstránenie (oxidáciu) elektrónov do alebo z π – systému polymérneho reťazca. Pridanie malého množstva dopujúcej látky vedie k zmenám elektronickým, elektrickým, optickým, magnetickým a štruktúrnym vlastnostiam polyméru. Doping je reverzibilný dej za vzniku polyméru s malou alebo žiadnou degradáciou reťazca [10].



Obr. 5 Znázornenie oxidačného a redukčného dopingu [9]

Ďalší spôsob odlišný od redox dopovania je za prítomnosti protónovej kyseliny. Líši sa počtom elektrónov polymérnej kostry, ktorý sa nemení. Príkladom prvého dopovania organického polyméru do vysokých hodnôt vodivosti za prítomnosti kyseliny bola smaragdová bázická forma anilínu. Vznikom protónovej smaragdovej bázy sa vodivosť zvýšila o 3 S/cm [10].



Obr. 6 Doping protónovou kyselinou [10]

1.3 VLASTNOSTI

Vodivé polyméry vykazujú jedinečnú kombináciu vlastností oproti bežným izolačným polymérom. Zaujímavým znakom je možnosť prepínať povahu vlastností. Schopnosť reverzibilne prepínať VP medzi izolačnými a vodivými, neprehľadnými a transparentnými, absorpčnými alebo emisnými vlastnosťami, poháňa väčšinu súčasného výskumu VP. Ďalšou z vlastností je stabilita. Meria sa z hľadiska zmien elektrickej vodivosti. Polypyroly a polyanilíny sú považované za najstabilnejšie, polytiofény vykazujú strednú stabilitu. Polyacetylén je nestabilný pri styku so vzduchom, hoci v inertnom prostredí je vysoko stabilný. Mechanické vlastnosti sa pokladajú za veľmi zlé kvôli vlastnej povahe VP, sú zvyčajne odolné a zle spracovateľné. Vyplýva to z nedostatku ohybných väzieb v hlavnom reťazci polyméru, ako aj z nízkych molekulových hmotností. Spracovateľnosť sa však zlepšila začlenením rozpúšťajúcich zložiek do konjugovaného polymérneho reťazca a tým sa zlepšila aj molekulová hmotnosť, pretože je často obmedzená práve rozpustnosťou. Optické vlastnosti sú spojené s elektronickou štruktúrou, ktorá je určená chemickou štruktúrou polyméru. Vyplávajú z rozdielu energie medzi valenčnými a vodivými pásmami v konjugovaných polyméroch. Tento energetický rozdiel je nazývaný pásovou medzerou (E_g) a jeho rozpätie sa pohybuje od 0,5 do 3,0 eV. Samotná elektrická vodivosť (σ) konjugovaných polymérov sa rovná inverzii jeho špecifického odporu (ρ), čo je miera schopnosti viesť elektrický náboj. Elektrická vodivosť sa určuje meraním odporu R pri prenose náboja známym objemom, kedy L je dĺžka, počas ktorej sa meria odpor a A je prierezová plocha, cez ktorú preteká prúd.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{(R \cdot A)}$$

Obr. 7 Vzorec pre výpočet elektrickej vodivosti [11]

Vyjadruje sa v jednotkách Siemens/cm ($S \cdot cm^{-1}$). Často však majú vodivé polyméry vodivosť aspoň o jeden rad nižšiu ako u najlepších kovoch. V nasledujúcej Tab. 2 je uvedená vodivosť vybraných vodivých polymérov [11].

Tab. 2 Vodivosť vybraných vodivých polymérov [11]

POLYMÉR	VODIVOSŤ (S/cm)
Poly(acetylén) (PA)	$10^3 - 10^5$
Poly(pyrol) (PPy)	$10^2 - 10^3$
Poly(tiofén) (PT)	10^2
Polyanilín (PANI)	$10 - 10^2$
Poly(<i>p</i> -fenylen) (PPP)	$10^3 - 10^4$

Vzhľadom na vodivé polyméry z hľadiska elektrických a elektronických materiálov, môžu byť polyméry zložené z uhlíka a vodíka. Tiež môžu zahŕňať aj iné atómy, ako je kyslík, dusík, síra a pod. Ich vlastnosti potom závisia na tom, aké typy atómov tvoria väzby v molekule. Najcharakteristickejšou vlastnosťou sú dopingové účinky, kedy začlenením akceptorov alebo donorov elektrónov do reťazca polyméru je môže vodivosť meniť, či už od izolátoru až po polovodičovú oblasť a oblasť kovov. V priebehu dopingu sa samozrejme výrazne menia aj iné vlastnosti a preto sú VP tak veľmi obľúbené v rôznych oblastiach použitia [12].

1.4 OPTIMALIZÁCIA VLASTNOSTÍ PRE KONKRÉTNU APLIKÁCIU

Ako už bolo spomenuté, vodivý polymér ponúka veľa výhod oproti iným materiálom, samozrejme elektrická vodivosť je najatraktívnejšou vlastnosťou materiálov. Medzi ostatné,

tiež dôležité vlastnosti pre optimalizáciu materiálov patrí biokompatibilita a redox stabilita. Väčšina výskumov sa však zamerala predovšetkým na biologickú a fyzickú modifikáciu VP

1.4.1 CHEMICKÉ PROCESY OPTIMALIZÁCIE

K začleneniu bioaktívnych molekúl pre optimalizáciu materiálových vlastností, ako drsnosť, pórovitosť, hydrofóbnosť, vodivosť a odbúrateľnosť sa dá docieľiť mnohými technikami. Medzi štyri hlavné chemické procesy patrí fyzikálna adsorpcia, zachytenie, kovalentné viazanie a doping [13].

Pri adsorpcii je roztok s preferovanými vlastnosťami viazaný na polymér slabými medzimolekulovými silami [14]. Táto metóda je jednoduchá, ale citlivá na pH a adsorbovaná molekula sa kvôli slabým väzbám môže oddeliť od materiálu a tým sa stane neaktívnym a ohrozí sa vodivosť materiálu [13].

Zachyteniu molekuly do polyméru sa dosiahne zmiešaním modifikovanej molekuly s monomérom polyméru ešte pred syntézou v blízkosti elektródy, kedy sa začlení do rastúceho polyméru. Technika slúži predovšetkým na použitie väčších molekúl, ako sú napr. enzýmy alebo DNA [15].

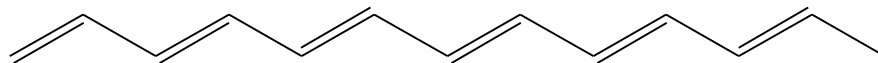
Kovalentné viazanie je ďalšou populárnou technikou k optimalizácii vlastností materiálov. V tomto prípade sa biologická molekula silno viaže k polyméru a nie je uvoľňovaná. Tým sa zvyšuje dlhodobá stabilita výsledného polyméru.

Proces dopingu je dôležitý na získanie alebo zvýšenie vodivosti, ale využitie našiel aj pri úprave vlastností vodivých polymérov a ich zavedenie do požadovanej aplikácie.

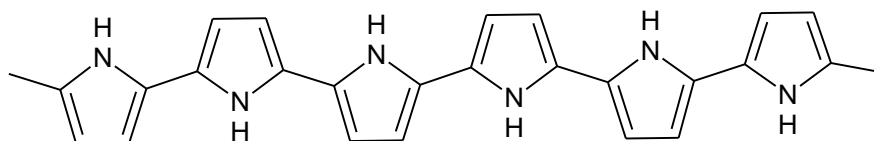
Vhodná kombinácia vodivých polymérov s rôznymi biomolekulami umožnila lepšiu modifikáciu, zlepšila priľnavosť rôznych buniek a ich biologickú kompatibilitu [13].

2. ZÁSTUPCOVIA VODIVÝCH POLYMÉROV

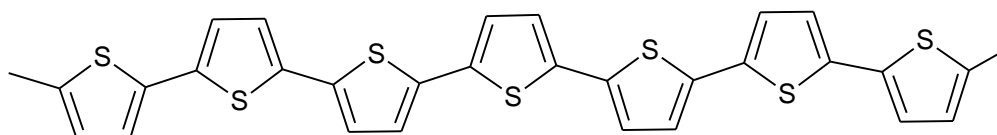
Medzi najznámejšie vodivé polyméry patrí polyanilín (PANI), *trans*-polyacetylén (PA), polypyrol (PPy), polytiofén (PT) alebo poly(*p*-fenylén) (PP) [2].



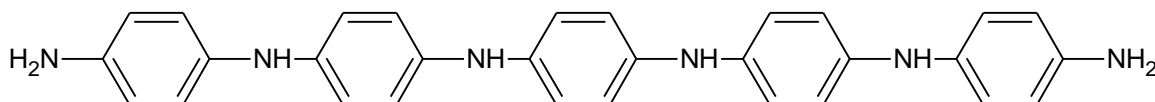
trans - polyacetylén



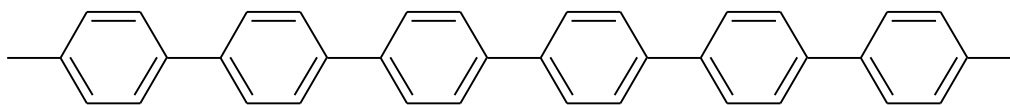
polypyrol



polytiofén



polyanilín



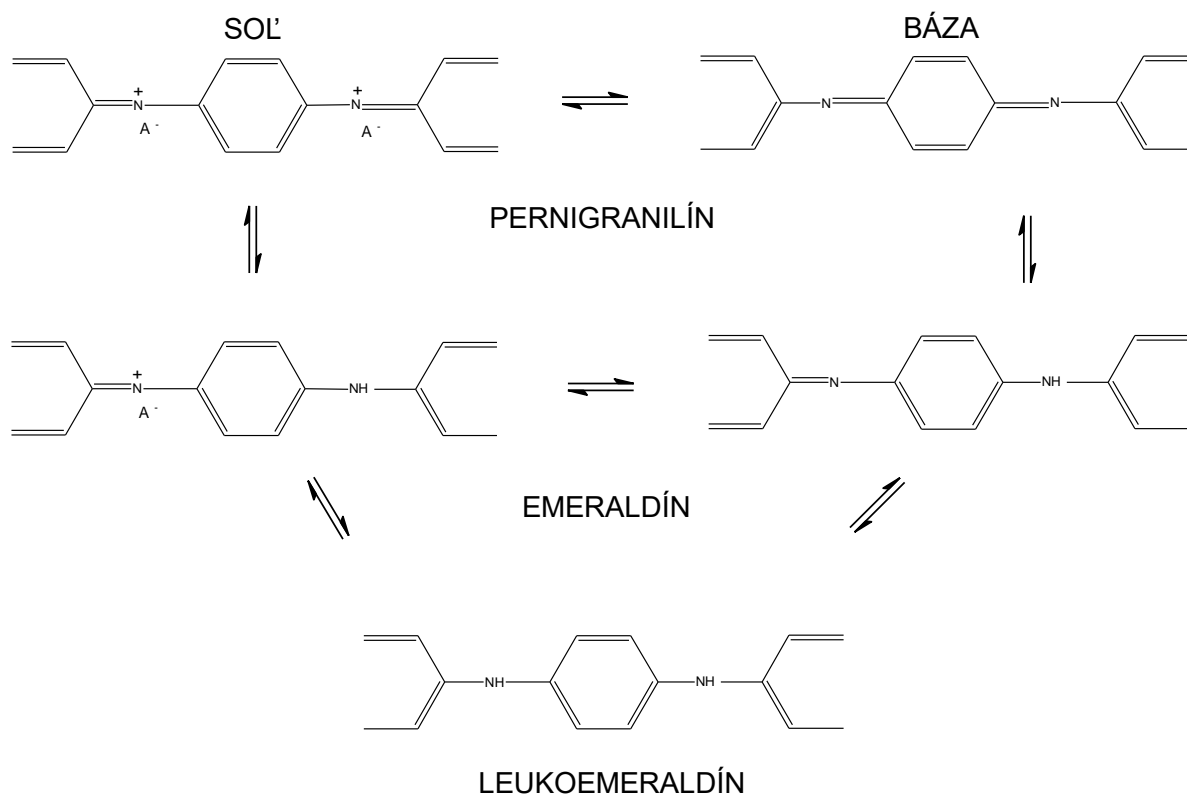
poly(*p*-fenylén)

Obr. 8 Najdôležitejšie vodivé polyméry [2]

2.1 POLYANILÍN

Polyanilín (PANI) je jeden z najdôležitejších vodivých polymérov. História PANI je známa už od roku 1826, kedy sa nemeckému chemikovi Ottovi Unverdorbenovi podarilo získať suchou destiláciou indiga anilín a v roku 1840 C. J. Fritzsche izoloval anilín destiláciou indiga pomocou draselnej bázy [16].

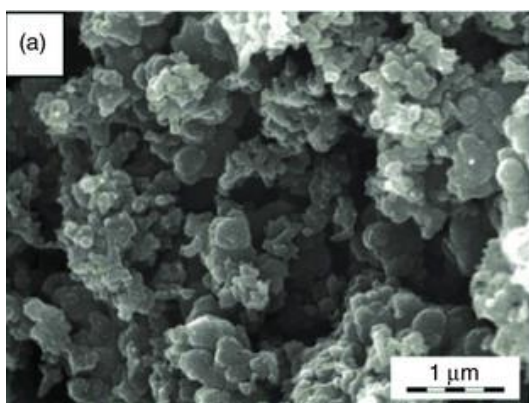
Štúdia vlastností novej chemickej látky zahŕňali aj oxidáciu, ktorá viedla k vzniku zeleného produktu, dnes považovaného za polyanilín. Farebné produkty sa neskôr používali práve na detekciu anilínu. Oxidácia surového anilínu, ktorý obsahoval aj metylanilíny, poskytla prvé syntetické priemyselne vyrábané fialové farbivo, mauveine. Farbivo sa v minulosti používalo na tlač viktoriánskych poštových známok. Neskôr v roku 1910 boli objavené rôzne formy oxidačných produktov anilínu. Existuje predovšetkým ako emeraldínová soľ s kyselinou, ktorá oxidáciou prechádza na modrú pernigranilínovú soľ alebo redukciou na žltý leukohermalín [17]. Na Obr. 9 je zobrazená príslušná soľ spolu s bázami.



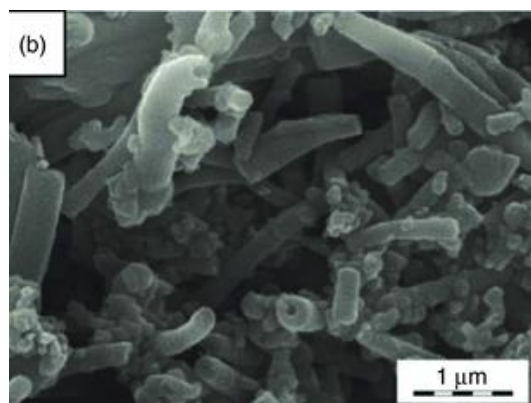
Obr. 9 Základné formy polyanilínu [17]

Dnes sú známe tri základné molekulárne formy anilínu. V závislosti od stupňa oxidácie ich nazývajú ako leukoemeraldín, emeraldín a pernigranilín. Najdôležitejšia vodivá forma emeraldín, získala svoj názov kvôli typickej zelenej farbe pre smaragdy. V tom čase predpokladali, že ide o lineárne anilínové oktaméry a polymérny charakter oxidačných produktov bol zaznamenaný až neskôr. Novšia história polyanilínu sa začala v 80. rokoch a odvtedy sa polyméry, spolu s polyanilínom, stali súčasťou polymérnej vedy [17].

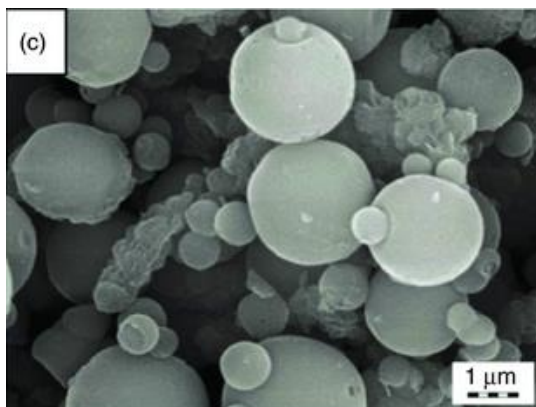
Polyanilín produkuje charakteristické tvary, ako globulárne častice (a), nanovlákná (b) alebo nanotrubičky (c). Tvar je ovplyvňovaný prostredím a priebehom syntézy. Globulárna morfológia je pripravovaná v silne kyslých roztokoch (0,1 M H_2SO_4). Nanotrubičky sú produkované počas oxidácie anilínu v neutrálnom alebo mierne kyslom prostredí (0,4 M H_2SO_4) a oligomérené mikročastice počas oxidácie v alkalickom prostredí (0,2 M NH_4OH). Ak sa oxidácia uskutočňuje za mierne kyslých podmienok a nedôjde k rastu polyanilínového reťazca, anilínové oligoméry sa sami zoskupujú na rôzne „kvetinové tvary“ alebo vlasové mikročastice (d) [17].



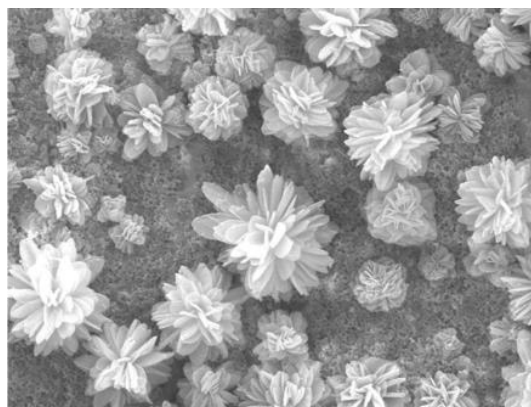
Obr. 10 Polyanilín - globulárne častice [17]



Obr. 11 Polyanilín – nanovlákná [17]



Obr. 12 Polyanilín – nanotrubičky [17]



Obr. 13 Polyanilín - "kvetinové tvary" [17]

Štandardnou oxidačnou polymerizáciou je anilín vyrobený vo forme prášku. Samostatne sa prášok nepoužíva, ale je súčasťou vodivých kompozitných materiálov. Tiež je ľahko stlačiteľný do paliet, ktoré sa zvyčajne používajú na charakterizáciu elektrických vlastností. Polyanilín sa vyskytuje aj vo forme tenkých vrstiev alebo povlakov, ktoré sú oveľa zaujímavejšie pre použitie. V prípade, ak oxidácia anilínu prebieha v prostredí polyméru, ktorý je rozpustný vo vode, ako poly(N-vinylpyrolidon) alebo polyvinylalkohol, vznikajú koloidné polyanilinínové disperzie [17].

2.2 POLYPYROL

Polypyrol ako vodivý polymér je známy od roku 1968, kedy bol objavený jeho vodivý charakter. Pripravený bol oxidáciou monoméru pyrolu v kyseline sírovej ako čierny prášok. Pri izbovej teplote vykazoval hodnotu vodivosti 8 S/cm. Dnes patrí polypyrol medzi najintenzívnejšie študované vodivé polyméry s heterocyklickou štruktúrou [18].

Využívaný je pre svoju dobrú environmentálnu stabilitu, ľahkú syntézu a vyššiu vodivosť. Syntetický PPy je však nerozpustný a tekutý, čo obmedzuje jeho spracovanie a aplikáciu. Napriek tomu má uplatnenie ako biosenzor, plynový senzor, antielektrostatické povlaky, tuhé elektrolytické kondenzátory alebo funkčné membrány, a pod. PPy vo forme povlakov vykazuje výbornú tepelnú stabilitu a preto je vhodný na použitie v uhlíkových kompozitoch. Podrobným skúmaním PPy boli v posledných rokoch zistené nové oblasti aplikácie v oblasti medicíny a biomolekúl. Dnes sa pripravuje oxidačne chemickou alebo elektrochemickou polymerizáciou monoméru pyrolu [19].

2.3 POLYTHIOFÉN

Polytiofény patria medzi najznámejšie heterocyklické vodivé polyméry spolu s polypyrolom. Jeho deriváty sú stabilné či už v dopovaných alebo nenasýtených stavoch [18]. Sú súčasťou tepelne stabilných materiálov, ktoré majú široké využitie v rôznych oblastiach, či už ako elektrické vodiče, nelineárne optické zariadenia, polymérové LED, antistatické povlaky, senzory, batérie, optické zariadenia alebo tranzistory [20].

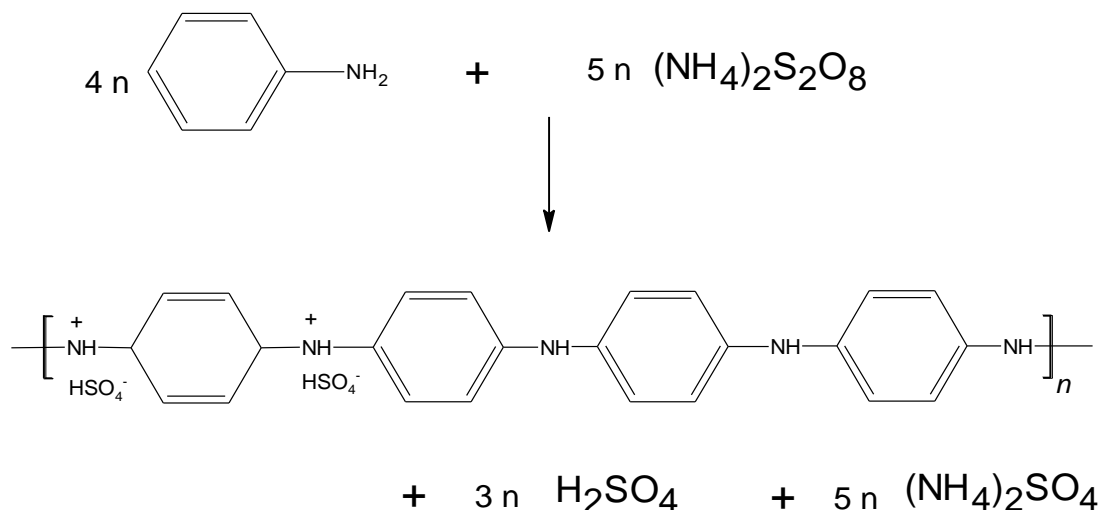
2.4 MOŽNOSTI PRÍPRAVY

V súčasnosti existujú dva hlavné spôsoby syntetizovania vodivých polymérov. Je to chemická alebo elektrochemická polymerizácia. Tieto metódy sa však líšia či už mechanizmom alebo vo výslednej vodivosti polymérov. Vyššiu vodivosť pripravovaných materiálov poskytuje elektrochemická polymerizácia [21].

CHEMICKÁ POLYMERIZÁCIA

Chemická polymerizácia je reakcia, pri ktorej sa monoméry polyméru spájajú do väčších makromolekulárnych látok, bez toho aby vznikol vedľajší produkt. Najrozšírenejší mechanizmus je spojenie radikálových kationov, ktoré vznikajú pomocou oxidačného činidla. Spočíva to v iniciácii monoméru, rozširovaní reťazca, teda propagácii a v terminácii, ukončení reakcie. Ďalším mechanizmom je reakcia radikálového kationu s neutrálnym monomérom. Ako oxidačné činidlo sa zvyčajne používa chlorid železitý alebo peroxidisíran amónny [22].

V prípade polymerizácie anilínu bol mechanizmus študovaný viac ako tri desaťročia a najrozšírenejšou cestou prípravy sa stala oxidácia v kyslom vodnom prostredí s použitím už spomínaného peroxidisíranu amónneho [17]. Reakcia je zobrazená na Obr. 14.



Obr. 14 Oxidácia anilínu s peroxydisulfátom amónnym [17]

ELEKTROCHEMICKÁ POLYMERIZÁCIA

K elektrochemickej polymerizácii dochádza pôsobením elektrického prúdu prostredníctvom elektród, ktoré sú umiestnené do roztoku. V roztoku sa nachádza monomér daného polyméru, rozpúšťadlo a dotujúce činidlo. Elektrický prúd spôsobí, že vložený monomér sa zoxiduje na kladne nabitej pracovnej elektróde, ktorá je tvorená nerozpustnými polymérnymi reťazcami. Elektrochemická polymerizácia však umožňuje len syntézu polyméru, aby sa mohol monomér zoxidovať, musí oxidácia prebiehať za prítomnosti vhodného elektrického potenciálu. Toto kritérium spĺňa väčšina vodivých polymérov [23].

Elektrostatická syntéza môže byť vykonaná za použitia galvanostatickej, potenciostatickej alebo potenciodynamickej metódy. Pri potenciostatickej polymerizácii je potenciál elektródy konštantný, zatiaľ čo prúd sa mení [17]. Elektrický prúd sa môže meniť v závislosti od mnohých faktorov, či už od materiálu elektródy alebo od podmienok pokovovania, preto je potrebné coulometricky kontrolovať množstvo, ktoré je uložené. V galvanostatickej polymerizácii je naopak elektrický prúd konštantný [24,25]. Počas elektrochemickej polymerizácie môžu byť použité dvoj- alebo trojelektrodové systémy. Systém s dvoma elektródami obsahuje pracovnú elektródu z ušľachtilého kovu a referenčnú elektródu, ako napr. kalomelová elektróda alebo elektróda z chloridu strieborného. Trojelektrodové systémy okrem toho obsahujú aj protielektrodu z elektrochemických inertných materiálov, ako je zlato, platina alebo uhlík, ktoré spoločne s pracovnou elektródou poskytujú obvod, cez ktorý sa buď prúd aplikuje alebo meria.

Pri elektropolymerizácii anilínu sa reakcia uskutočňuje vo vodných roztokoch obsahujúcich anorganické kyseliny, napríklad kyselinu sírovú, kyselinu chloristú, kyselinu dusičnú a kyselinu fosforečnú alebo v organických kyselinách, ako napr. v kyseline *p*-toluénsulfónovej. Taktiež môže polymerizácia prebiehať vo vodných roztokoch polymérnych kyselín, ako je poly(styrénsulfónová kyselina) alebo poly(2-akrylamido-2-methyl-1-propánsulfónová kyselina). Dostatočná kyslosť reakcie je predpokladom tvorby polyanilínu. Samotná reakcia a výsledok reakcie závisia od koncentrácie anilínu, prúdovej hustoty alebo vlastností použitého rozpúšťadla. Najčastejšie používané rozpúšťadlá sú acetonitril a dichlórmetán [17]. V konečnom dôsledku umožňuje elektrochemická syntéza rýchle ukladanie vodivých polymérov in situ. Avšak, množstvo pripravovaných polymérov tu je obmedzený. Dôvodom je prítomnosť elektródy a veľkosť. Oproti tomu, chemická polymerizácia umožňuje jednoduché vytváranie polymérnych kompozitov [24,25].

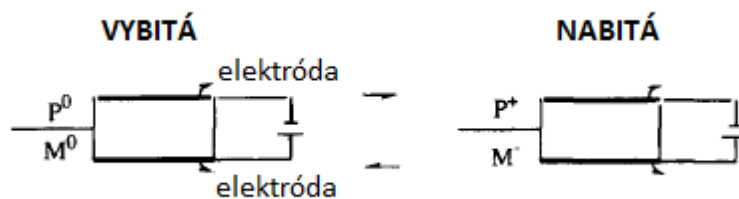
3. VYUŽITIE VODIVÝCH POLYMÉROV

Vodivé polyméry nemajú len elektrické vlastnosti kovov, ale aj vlastnosti polymérov. Sú to ľahkosť, pružnosť, odolnosť voči korózii alebo nízke náklady. Môžu byť prispôbené špecifickým aplikáciám, ktoré sú považované za dôležité kritéria. Vďaka dôležitosti sa vodivé polyméry za posledné roky dostali do pozornosti a sú využívané v mnohých oblastiach [26]. Na rozdiel od kovov nie sú toxické a sú šetrnejšie k životnému prostrediu [3]. V súčasnosti sa vodivé polyméry využívajú vo forme ľahkých nabíjajúcich batérii, chemických alebo tepelných senzorov, kondenzátorov, diód emitujúcich svetlo, organických solárnych článkoch alebo v medicínskej a farmakochemickej oblasti [26].

3.1 BATÉRIE

Využitie vodivosti polymérov z hľadiska ich elektrochemických a fyzikálnych vlastností v oblasti nabíjajúcich batérií malo veľký úspech. Dôležitý bol výber správneho dostupného vodivého polyméru, ale aj stabilita elektrolytov a ich kompatibilita s materiálom, ktorá ovplyvňovala výkon batérie. Vďaka nízkej hustote vodivých polymérov sa predpokladal oveľa vyšší výkon ako v prípade olovenej alebo kyselinovej batérie [3].

Polymérne elektrolyty našli uplatnenie najmä v lítiových batériách. Označujeme ich tiež ako Li-pol. Umožňujú dobrú životnosť pri nízkych teplotách a odolávajú zvýšenému tlaku počas prevádzky batérie [27]. Príkladom je polymérová tenkovrstevná batéria Li/O₂. Batéria je tvorená membránou elektrolytu vodivého organického polyméru, ktorá je usporiadaná z kovovej fólie lítia a uhlíkovou vrstvou s veľkou povrchovou plochou, na ktorej je kyslík. Kyslík slúži ako katódový aktívny materiál. Batéria funguje na princípe oxidácie a redukcie polymérneho reťazca. Výhodou prítomnosti kyslíka je jeho prístup z prostredia a počas redukcie generuje elektrickú energiu. Membrána organického polyméru elektrolytu slúži ako separátor, ktorý izoluje katódu od anódy a médium, cez ktoré sa prenášajú ióny lítia z anódy do kyslíkovej katódy počas vybíjania batérie. Použitím bezvodého elektrolytu je Li/O₂ batéria nabíjateľná a vďaka jej konštrukčným vlastnostiam je vhodná na použitie pre napájanie malých prenosných zariadení [28]. Na Obr. 15 je znázornená jednoduchá schéma batérie.



Obr. 15 Všeobecná schéma batérie [3]

3.2 SENZORY

Ďalším príkladom využitia vodivých polymérov vďaka ich vlastnostiam sú chemické senzory. Medzi najjednoduchšie senzory patria indiferentné elektródy pokryté vodivými polymérmi pre potenciometrické alebo vodivé merania. Elektródy sú ponárané do polyméru, ktorý obsahuje vhodné monoméry a sú schopné polymerizácie. Predovšetkým aromatické látky, ako monomér pyrolu, anilínu, tiofenu, furánu, fenolu a ich derivátov, ale aj látky obsahujúce vinylovú skupinu.

Senzory sa zvyčajne pripravujú elektrickou anodickou oxidáciou, menej často sa využíva redukčná katódová elektropolymerácia. Chemická oxidácia použitím peroxodisíranu, dichromanu draselného, chloridu železitého a iných oxidačných činidiel je taktiež využívaná len výnimočne. Pri elektrochemickej oxidácii sa polymér lepšie upevní na elektródový povrch bez ohľadu na tvar alebo veľkosť. Ďalšou výhodou je možnosť riadiť rýchlosť tvorby polyméru a kontrola regulácie hrúbky filmu množstvom prechádzajúceho náboja. Vyhovujúcim prostredím pre elektropolymerizácie sú vodné roztoky, ktoré umožňujú rozpustenie organického rozpúšťadla, ako napr. roztok kyseliny sírovej, chloridu a chloristanu lítneho i sodného alebo organické rozpúšťadlá, najčastejšie dichlormetán a acetonitril.

Vodivé polyméry figurujú ako iónový alebo elektrónový vodič vďaka kladnému náboju oxidovaného centra polyméru, ktorý je kompenzovaný opačným iónom z roztoku elektrolytu, ktorý je použitý pri príprave. Následne poskytujú aniónovú alebo kationovú potenciometrickú odozvu. Tá je ovplyvnená práve prenosom elektrónov na rozhraní polyméru a roztoku. Elektrochemická polymerizácia má využitie aj v pH senzoch. K prvým pH senzoch patrí platinová elektróda pokrytá poly(1,2-fenyldiaminom). Neskôr boli použité polymérne filmy na báze diaminobifenyly, komplexu (4-hydroxyfenyl)porfyrinu s kobaltom, aminoantracenu a iné. Úspech elektród pokrytých vodivými polymérmi bol aj v plynových senzoch a nové možnosti poskytli aj pre biosenzory, ktoré sú spomenuté v ďalšej kapitole [29,30].

3.3 OCHRANA PROTI KORÓZII

Na ochranu kovov, hlavne oceľových konštrukcií sa dodnes používajú organické povlaky s obsahom zinku. Súčasné metódy ochrany kovov však netrývajú veľmi dlho a sú predmetom zvýšenej kontroly agentúry na ochranu životného prostredia. Dôvodom je rozpustenie oxidovaného zinku pomocou vlhkosti vzduchu alebo vodou a tým aj samotná toxicita. Obavy o životné prostredie sú týmto opodstatnené a použitie chrómu alebo kadmia pre antikoročné povlaky bude čoskoro zakázané.

Koročné vlastnosti vodivých polymérov boli zmienené spoločnosťou MacDarmin v roku 1985 a v tom roku sa štúdiá začali venovať skúmaniu hlavne PANI, ale aj iným konjugovaným polymérom, ako náteru proti korózii.

Existuje niekoľko spôsobov ochrany proti korózii. V prípade PANI zistili, že môže byť polymerizovaný priamo na kovovom substráte ako ochranný základný film alebo môže byť použitý ako prísada v zmesi s izolačnými polymérmi. Tieto zmesi sú výhodné, pretože požadované mechanické vlastnosti povlakov môžu byť poskytnuté správnym výberom hostiteľskej polymérnej matrice. Príkladom je jednoduchý galvanický proces, kedy polymér má nižší oxidačný potenciál než kov, ktorý chráni. Ochrana proti korózii by mala tak trvať dlhšie. Dôvodom je prvotná oxidácia polyméru, ktorý je na rozdiel od zinku zvyčajne nerozpustný vo vode. V prípade ak polymér reaguje s povrchom kovu, je potrebné aby mal polymér vyšší oxidačný potenciál než má oxid kovu. Vytvorená pasivujúca vrstva zabraňuje ďalšej korózii, či už vytvorením bariéry pomocou kovovými kationmi a dopingovými aniónmi uvoľňovanými PANI alebo anodickým charakterom, t.j. zmenou povrchového potenciálu kovu v pozitívnom smere a do oblasti pasivácie, kde je korózný prúd veľmi nízky.

Nevýhodou použitia PANI je, že schopnosť ochrany proti korózii závisí od pH. V kyslom alebo neutrálnom prostredí koroduje materiál pokrytý PANI pomalšie. Keďže pH morskej vody sa pohybuje okolo 8-9,4; nie je možné poskytnúť dostatočnú ochranu pre oceánske plavidlá [3,31].

4. VYUŽITIE V MEDICÍNSKEJ A FARMACEUTICKEJ OBLASTI

Elektroaktívne biomateriály sa stali súčasťou novej generácie „chytrých“ biomateriálov umožňujúcich priame dodávanie elektrickej, elektrochemickej a elektromechanickej stimulácie do buniek. Súčasťou elektroaktívnych biomateriálov sú aj vodivé polyméry. Umožňujú vynikajúcu kontrolu elektrického stimulu. Vynikajú svojimi elektrickými a optickými vlastnosťami, vysokou vodivosťou a biokompatibilitou. Sú biologicky odbúrateľné a porézne. Ich chemické, elektrické a fyzikálne vlastnosti môžu byť prispôbené špecifickým potrebám pri začlenení protilátok, enzýmov a iných biologických skupín [8].

Okrem vodivých polymérov sa v biologických aplikáciách využívajú aj ďalšie elektroaktívne materiály. Príkladom sú elektretové materiály (materiály s kvázi trvalým povrchovým nábojom, ktoré poskytujú zachytené nosiče náboja) a piezoelektrické materiály (materiály, ktoré pri mechanickej deformácii vytvárajú prechodné elektrické náboje), ktoré sa využívajú v tkanivovom inžinierstve ako nervové vedenie alebo kovy a polovodiče, ako zlato, irídium a kremík v nervových sondách a snímačoch. Vodivé polyméry sú však oproti týmto materiálom výhodnejšie a ponúkajú veľa nových možností [13].

BIOKOMPATIBILITA

Dobrá bunková odpoveď na biomateriál je nevyhnutná pre mnohé biomedicínske aplikácie. Preto je dôležité, aby sa ukázalo, že mnohé typy vodivých polymérov, napríklad PPy alebo PANI podporujú rast veľkého množstva buniek. Biokompatibilita je preto dôležitý parameter, ktorý definuje možnosť využitia akéhokoľvek syntetického materiálu v ľuďom tele a vyjadruje priaznivé vlastnosti materiálu. Všeobecne platí, že akýkoľvek cudzí materiál v organizme spúšťa množstvo reakcií, ktoré sa týkajú imunitnej odozvy alebo odpovede hostiteľa, ktoré sú súčasťou obranného mechanizmu organizmu. Pri niektorých polyméroch je podozrenie, že materiály spôsobujú toxicitu v tkanivách, preto je skúmaná povrchová modifikácia polymérov na zlepšenie ich biokompatibilných vlastností. Povrchová modifikácia polymérov vyvoláva priaznivé interakcie tkanivového polyméru z hľadiska väzby a znižuje reakcie cudzích teliesok. Ak je však biokompatibilita vodivých polymérov nedostačujúca, ľahko sa môže zlepšiť prostredníctvom väzby biokompatibilných molekúl, segmentov a postranných reťazcov na polymér. Napriek tomu, že v niektorých prípadoch bola spochybnená biokompatibilita PPy, bolo preukázané, že podporuje in vitro adhéziu, rast a diferenciáciu

širokého spektra bunkových typov, vrátane kostí, neurónov a buniek endotelu. Dobrá biokompatibilita bola preukázaná aj na zvieracích modeloch. Štúdia, ktoré sa zameriavali na chemicky syntetizovaný PPy, nepotvrdili cytotoxickú alebo alergickú odpoveď. Nezmenili sa ani slezinové, pečenné, ani obličkové indexy zvierat v dôsledku implantácie PPy. Preukázalo sa tiež, že nespôsobuje hemolýzu ani zmeny koagulácie krvi [8,32].

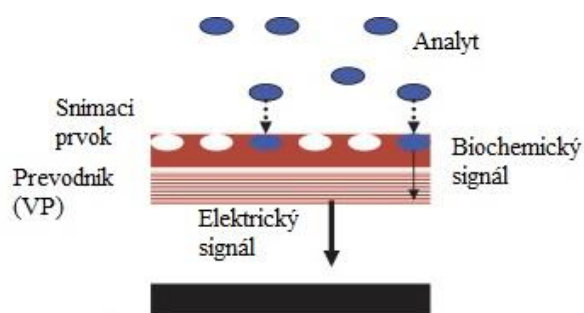
Existujú aj prípady zníženej biologickej biokompatibility. Bolo zistené, že ľudské mezenchymálne kmeňové bunky rastú v menšom množstve na vláknach, ktoré sú pokryté PPy, alebo endotelové bunky majú slabšiu adhéziu so zvýšenou hrúbkou povlaku PPy. V prípade biokompatibility PANI bolo potvrdené, že podporuje rast buniek, zabezpečuje prijateľnú adhéziu, udržiava dostatočnú biologickú kompatibilitu a nespôsobuje zápal [32].

U väčšiny vodivých polymérov je množstvo dôležitých výhod pre biomedicínske aplikácie vrátane biokompatibility. Schopnosti zachytávať a kontrolovateľne uvoľňovať biologické molekuly, tj. reverzibilný doping, schopnosť prenášať náboj z biochemickej reakcie a možnosť ľahko meniť elektrické, chemické, fyzikálne a iné vlastnosti VP. Charakteristiky by tak lepšie vyhovovali povahe konkrétnej aplikácie. Tieto jedinečné vlastnosti nám umožňujú ich využitie v mnohých biomedicínskych aplikáciách, ako sú biosenzory, tkanivové inžinierstvo, neurónové sondy, zariadenie na transport liekov alebo bioaktívatory [13].

4.1 BIOSENZORY

Záujem o vývoj a využívanie analytických zariadení na detekciu, kvantifikáciu a monitorovanie metabolitov viedlo k vzniku biosenzorov. Prvé biosenzorové zariadenie bolo vytvorené integráciou enzýmu do elektródy, čím sa dosiahol veľký pokrok v oblasti diagnózy. Odhad metabolitov, ako je glukóza, močovina, cholesterol, hormóny, protilátky alebo laktát v krvi, má v klinickej diagnostike kľúčový význam. Biosenzory tým predstavujú nový trend [13].

Biosenzory sú zariadenia skladajúce sa zo snímacieho prvku a prevodníka. Ich cieľom je vytvorenie digitálneho elektronického signálu, ktorý je úmerný koncentrácii konkrétneho analytu. Princípom vytvorenia signálu je interakcia sensorového prvku (napr. enzýmu) s analytom, ktorý je predmetom záujmu. Interakciou vznikne chemický signál, ktorý sa prenáša do prevodníka (vodivého polyméru) a ten ho transformuje a následne produkuje digitálny elektrický signál. Vodivé polyméry majú v biosenzoroch využitie práve ako prevodníky. Na Obr. 16 nižšie je zobrazená schéma biosenzoru [13].



Obr. 16 Schéma biosenzoru [13]

PREVODNÍKY

Biochemický prevodník alebo biokomponent dodáva biosenzoru selektivitu a špecifickosť. Úlohou prevodníku je premena chemického signálu na elektrický signál, ktorý môže byť elektronicky zosilnený, uložený a zobrazený. Prevodníky bývajú v biosenzoroch prispôsobené od povahy biochemickej interakcie s predmetom záujmu a môžu sa líšiť v závislosti od elektrochemickej, spektroskopickej, tepelnej, piezoelectrickej a povrchovo akustickej vlny [33].

BIOKOMPONENT

Biokomponenty fungujú ako biochemické prevodníky. Môžu to byť rôzne enzýmy, tkanivá, baktérie, kvasinky, protilátky/antigény, lipozómy alebo organely. Rozpoznávací biomolekula má v biosenzore vynikajúcu selektivitu. Je citlivá na extrémne podmienky ako je teplota, pH alebo iónová sila. Väčšina biologických molekúl má však veľmi krátku životnosť v roztoku. Preto musia byť fixované vo vhodnom matrixe, čo má za následok zníženu enzýmovú aktivitu. Tá je závislá od plochy povrchu, pórovitosti, hydrofilného charakteru imobilizačnej matrice, reakčných podmienok a zvolenej metodiky imobilizácie. Na znehybnenie enzýmov sa používajú rôzne matrice, ale väčší záujem je navrhnuť také elektródy, ktoré sú kompatibilné s biologickou zložkou a vodivé polyméry sú pre tieto aplikácie vhodné [33].

ROZDELENIE BIOSENZOROV

Biosenzory sa delia do troch generácií v závislosti od stupňa integrácie. V prvej generácii je biokatalyzátor viazaný alebo zachytený v membráne, ktorá je fixovaná na povrchu snímača. V biosenzoroch druhej generácie je zahrnutá adsorpcia kovalentnej fixácie biologicky aktívnej zložky na povrch snímača, ktorá umožňuje elimináciu semipermeabilnej membrány.

A posledná tretia generácia biosenzorov spočíva v priamej väzbe biokatalyzátoru na elektrické zariadenie, ktoré prenáša a zosilňuje signál. Konkrétne biosenzory na báze vodivých polymérov radíme do tretej generácie [33].

4.1.2 TYPY BIOSENZOROV

AMPEROMETRICKÉ BIOSENZORY

Amperometrické biosenzory sú najčastejšie používané spomedzi elektrochemických biosenzorov. Vynikajú vysokou citlivosťou a širokým lineárnym rozsahom. Založené sú na monitorovaní prúdu, ktorý je spojený s oxidáciou alebo redukciou elektroaktívnej látky v procese rozpoznávania. Najdôležitejším faktorom je prenos elektrónov medzi katalytické molekuly, zvyčajne oxidázy alebo dehydrogenázy a povrch elektródy pokrytý polymérom. V prípade stanovenia glukózy amperometrickým biosenzorom sa využíva enzým glukosoxidáza spolu s polypyrolom, u stanovenia cholesterolu je využívaný enzým cholesterol oxidáza a cholesterol esteráza s polypyrolom alebo pri kyseline močovej je enzýmom urikáza a polymérom polyanilín.

POTENCIOMETRICKÉ BIOSENZORY

Potenciometria, ako detekčná metóda v biosenzoroch s imobilizovanými enzýmami v elektrolitickej polymérnej vrstve sa využíva len zriedka. Aj keď boli preukázané výhody oproti amperometrickej detekcii, potenciometrické biosenzory majú veľmi pomalú reakciu.

KONDUKTOMETRICKÉ

Konduktometrické biosenzory sú založené na meraní zmeny vodivosti medzi dvoma kovovými elektródami biologických zložiek. Zmena vodivosti sa prejaví zmenou redox potenciálu alebo pH prostredia v polymérnej matrici.

Vodivé polyméry sa používajú pri výrobe biosenzorov v rôznych oblastiach. Najčastejšie v oblasti zdravotníctva, konkrétne v lekárskej diagnóze (glukózové, fruktózové, laktátové, etanolové, cholesterolové alebo močovínové biosenzory). Využívajú sa pre stanovenie rôznych analytov a sú dôležité pre skrining a liečenie celého radu chorôb. Taktiež v oblasti pri detekcii rôznych genetických porúch (senzory DNA), ktoré majú široké uplatnenie v klinickej diagnostike dedičných ochorení. Sú schopné rýchlej detekcie patogénnych infekcií a skriningu cDNA kolónií požadovaných v molekulárnej biológii. Uplatnenie nájdú aj v oblasti

monitorovania životného prostredia alebo v analýze potravín. V Tab. 3 sú zobrazené vybrané substráty určené na detekciu. K substrátu je prídelený enzým spolu s potrebným vodivým polymérom a použitá vhodná detekcia [33].

Tab. 3 Prehľad substrátov na detekciu [33]

SUBSTRÁTY NA DENEKCIU	ENZÝM	POLYMÉR	DETEKCIA
Glukóza	Glukózooxidáza	Polypyrol	Amperometria
		Poly(N-metylpyrol)	Potenciometria
		Polyanilín	Amperometria
		Polyindol	Amperometria
	Glukózodehydrogenáza	Polypyrol	Amperometria
Cholesterol	Cholesterol oxidáza a cholesterol esteráza	Polypyrol	Amperometria
Glutamát	Glutamát dehydrogenáza	Polypyrol	Amperometria
Fruktóza	Fruktóza dehydrogenáza	Polypyrol	Amperometria
Hemoglobín	Pepsín	Polyanilín	Konduktometria
Lipidy	Lipáza	Polyanilín	Konduktometria
Močovina	Ureáza	Polypyrol	Amperometria
			Potenciometria
			Konduktometria

4.2 TKANIVOVÉ INŽINIERSTVO

Vlastnosti vodivých polymérov ako vodivosť, reverzibilná oxidácia, redox stabilita, biokompatibilita, trojrozmerná geometria, hydrofóbnosť alebo povrchová topografia sú požadované pre aplikácie tkanivového inžinierstva. VP sú široko používané práve vďaka schopnosti podrobiť bunky elektrickej stimulácii [34].

Tkanivové inžinierstvo poskytuje novú lekársku terapiu ako alternatívu k bežným metódam transplantácie. Reguluje správanie buniek a progresiu tkaniva prostredníctvom vývoja a konštrukcie nového syntetického extracelulárneho matrixu, nových biomaterálov a regeneráciu tkaniva [35]. Záujem o elektrickú stimuláciu vzniká práve z rastúcich znalostí elektrických vlastností tkanív a buniek. Živé bunky využívajú vlastnosti z elektrických systémov. Vytváranie elektromotorickej sily, udržiavanie potrebného rozdielu v potenciály,

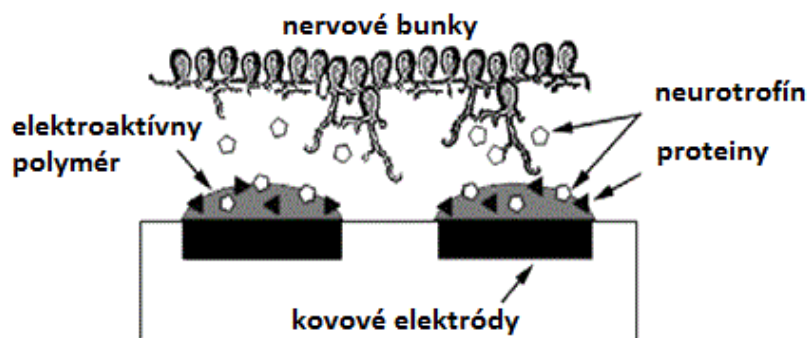
prepínanie prúdu, ovládanie alebo odstránenie toku prúdu a uloženie náboja. Elektrické signály silno ovplyvňujú správanie buniek, iónový prílív cez bunecnú membránu, zmenu membránového potenciálu alebo stabilizujú intracelulárny signál transdukčných dráh. Elektrický potenciál je možné udržiavať pri konštantnej hodnote alebo elektrickými zmenami dochádza k akčnému potenciálu. Pokiaľ je akčný potenciál vyvolaný zmenou elektrického potenciálu nervovej bunky vyvolaním elektrického náboja do buniek, nazýva sa tento proces elektrická stimulácia. Je to relatívne jednoduchá, flexibilná a uskutočniteľná metóda pre *in vivo* aj *in vitro* dvojrozmerné (2D) aj trojrozmerné (3D) tkanivá [35].

Použitie vodivých polymérov v tkanivovom inžinierstve umožní lokálne dodať elektrický impulz, poskytnú rast buniek, obnovu tkanív a umožnia presnú vonkajšiu kontrolu nad úrovňou a trvaním stimulácie. Sú široko používané v biologických systémoch. K najčastejšie využívaným vodivým polymérom v oblasti tkanivového inžinierstva patrí PPy a PANI [35]. PPy patrí k prvým študovaným vodivým polymérom v oblasti účinkov na cicavčie bunky [36]. Disponuje širokým použitím v medicínskej oblasti. Podporuje bunkovú adhéziu, rast mnohých typov buniek a jeho interakcia s biologickými tkanivami je výborná. Priebeh skúmania PANI pre aplikácie tkanivového inžinierstva postupoval pomalšie, než vývoj PPy. Štúdia hodnotili *in vivo* odpoveď na implantáty polyanilínu v rôznych oxidačných stavov. Neboli spozorované žiadne zápaly v mieste implantátu ani známky abnormality svalových a tukových tkanív. Biokompatibilita polyméru vyvoláva veľký záujem v oblasti tkanivového inžinierstva [35].

4.3 NEURÓNOVÉ SONDY

Neurónové sondy sú viackanálikové elektródové sústavy, ktoré uľahčujú funkčnú stimuláciu a zaznamenávanie neurónov v periférnom a centrálnom nervovom systéme [37]. Využívajú sa materiály s veľkým povrchom a dostatočne hydrofóbne. Potrebná je aj špecifickosť buniek na zlepšenie a udržanie vhodného pomeru signálu k šumu pre detekciu neurónových signálov. Typické implantáty sú zvyčajne vyrobené z platiny, zlata alebo zliatiny týchto kovov. Minimálna interakcia týchto materiálov s nervovými tkanivami však obmedzuje ich schopnosť poskytovať optimálnu stimuláciu a záznam z nervových buniek. Pre zachovanie kvality signálu a aktivácie nervových buniek je ideálne aby neurónové rozhranie bolo v blízkom kontakte [34]. Pri dlhodobých implantáciách je potrebná úprava povrchu na udržanie stabilného spojenia medzi elektródami a neurónmi. Toto stabilné spojenie zabezpečuje vodivý polymér, ako napr. polypyrol spolu so syntetickým peptidom. Spoločne sa ukladajú na povrch elektródy elektrochemickou polymerizáciou [37]. Okrem modifikácie povrchu môže byť

funkčnosť elektród ovplyvnená aj začlenením bunkových adhézných peptidov, proteínov alebo protizápalových liečiv. Optimalizácia rozhrania elektród však vyžaduje kompromis medzi požadovanými elektrickými, mechanickými, chemickými a biologickými vlastnosťami. Na Obr. 17 je zobrazená schéma požadovanej bioaktívnej sústavy elektród VP s prispôbenou bunkovou odpoveďou pre adhéziu a rast neurónových buniek [34].



Obr. 17 Schéma bioaktívnej sústavy elektród VP [34]

Neurónové sondy spolu s elektrickou stimuláciou majú klinické uplatnenie pri strate sluchu, ako kochleárne implantáty alebo pri Parkinsonovej chorobe, ako hlboké mozgové stimulátory. Bolo zistené, že rast neuritov sa zlepší, ak sa PPy nanáša na substrát, na ktorom sa rozvíjajú kochleárne explantáty. Práve materiály na báze vodivých polymérov poskytujú biokompatibilný substrát na skladovanie a uvoľňovanie neurotrofinov a tiež pomáhajú chrániť sluchové neuróny pred degradáciou po sensorineurálnej strate sluchu a podporujú rast neuritov smerom k elektródam [34].

4.4 TRANSPORT LIEKOV

V lekárskej a farmaceutickej oblasti je kladený dôraz na kontrolované dodávanie chemických zlúčenín. Použitie vodivých polymérov ako podkladový materiál pre ovládateľné zariadenia na transport liekov má veľa výhod. Molekuly sú viazané v polyméroch pomocou dopingu a môžu byť vylučované použitím redukčného (negatívneho) elektrického potenciálu. Ďalším dôvodom použitia vodivých polymérov na uvoľňovanie liekov je skutočnosť, že môžu byť pórovité, majú delokalizované nosiče náboja a pomáhajú pri difúzii naviazaných molekúl. V systémoch pre zavádzanie liekov sa s obľubou využívajú hydrogély [38].

Polymérne hydrogély sú trojrozmerné polymérne siete z vysoko hydrofilných monomérov, schopné absorbovať veľké množstvo vody [39]. Môžu byť v rôznych formách, vrátane dosky, mikročastíc, nanočastíc, povlakov alebo vo forme filmu. Bežne sú využívané v klinickej praxi a experimentálnej medicíne pre širokú škálu aplikácií, či už v tkanivovom inžinierstve, regeneratívnej medicíne alebo v diagnostike. Unikátne vlastnosti hydrogélů vyvolali záujem hlavne v aplikáciách pre dodávanie liečiv. Ich pórovitosť umožňuje vloženie liekov do gélovej matrice a následné uvoľňovanie lieku. Vo všeobecnosti sú biokompatibilné a prejavuje sa to v použití v pobrušnici a iných miest *in vivo*. Hydrogély majú tiež niekoľko nevýhod. Nízka pevnosť v ťahu obmedzuje ich použitie v nosných aplikáciách a môže viesť k predčasnému rozpusteniu alebo uvoľneniu hydrogélů z cieľného miesta. Avšak v prípade dodávania liečiv podkožnými injekciami nie je toto obmedzenie dôležité. Nevýhodou sa môže stať aj vysoký obsah vody, čo vedie v niektorých prípadoch k rýchlejšiemu uvoľňovaniu liečiva [40].

V experimentoch sa používa veľa terapeutických liečiv, ako je 2-ethylhexylfosfát, dopamin, naproxén, heparín a dexametazón. Liečivá boli viazané a preukázali úspešné uvoľnenie pomocou elektrickej stimulácie z polymérov. Heparín bol uvoľnený z poly(vinylalkohol) hydrogélů pripraveného na PPy filme pri elektrickom potenciály 0,4 – 0,7 V za dobu 90 sekúnd. Protizápalové liečivo dexametazon bol úspešne uvoľnený za použitia cyklickej voltametrie. Uvoľňovanie je úmerné počtu stimulačných cyklov a prebieha v niekoľkých minútach, čo sa považuje za výhodu alebo nevýhodou vodivých polymérov, v závislosti od aplikácie. Existuje však niekoľko faktorov, ktoré obmedzujú použitie vodivých polymérov. Molekuly vložené do polyméru majú tendenciu sa vylučovať difúziou a sú nahradené inými molekulami z prostredia polyméru. Táto pasívna strata sa zhoršuje tým, že len relatívne malé množstvo liečiva môže byť viazané v polyméri. Prekonať sa to dá použitím biotín streptavidínovej väzby. Biotín pôsobí ako prímes, zatiaľ čo biologicky aktívna molekula je kovalentne viazaná na biotín a molekula je uvoľnená s elektrickou stimuláciou. Ďalším problémom použitia vodivých polymérov je ich opotrebovateľnosť s opakovanými cyklami elektrickej stimulácie. Opakované cykly môžu spôsobiť nevratnú oxidáciu polyméru a zníženie vodivosti. Príkladom je PPy kompozit, ktorý preukázal len 5 % svojej pôvodnej vodivosti pri aplikácii 0,4 V elektrického potenciálu po dobu 16 hodín. Stimulačné cykly nepôsobia len na funkčné problémy, ale spôsobujú aj štrukturálne zmeny, ako napr. trhliny alebo celkovú degradáciu polyméru [8]. Aj napriek nevýhodám pri použití sú systémy na

dodanie liečiv predmetom vedeckého záujmu na liečbu rakoviny alebo pre niektoré nervové a kardiovaskulárne aplikácie [34].

4.5 BIAKTIVÁTORY

Bioaktivátory sú zariadenia, ktoré sa využívajú na vytvorenie mechanickej sily, ktorá slúži ako umelý sval. Konštrukcia je tvorená z dvoch vodivých polymérov, medzi ktorými je nevodivý materiál. Prúd prechádza cez vrstvy vodivých polymérov, ktoré sa oxidujú alebo redukujú. Oxidovaná vrstva expanduje v dôsledku prínosu dotovaných iónov, zatiaľ čo redukovaná vrstva vylučuje prímese iónov a ióny vstupujú do polyméru v oxidovanom alebo v redukovanom stave. Kombinovaný účinok je prenesený do mechanickej sily, ktorá ohýba polymér a tým napodobňuje účinnosť svalov v biologických systémoch. V prípade zmeny smeru prúdu dôjde k pohybu v opačnom smere. Vodivé polyméry disponujú viacerými funkciami, vďaka ktorým sú ideálne na použitie pre umelé svaly. Sú elektricky ovládateľné, majú veľké napätie, ktoré je priaznivé pre lineárne, objemové alebo ohýbacie pohony a nízke napätie využívajú na ovládanie. Výhodou je schopnosť fungovať pri izbovej alebo fyziologickej teplote a ich schopnosť pracovať s tekutými elektrolytmi, ako sú telesné tekutiny. K vodivým polymérom pre bioaktivátory ako pohony patria kompozity PPy, PPy-PANI a kompozity týchto polymérov s uhlíkovými nanotrúbkami (CNT), t.j. PANI-CNT a PANI-CNT-PPy. Najvyššiu silu pre jeden cyklus produkoval PPy-PANI. Tiež sa vyrábajú pohony, v ktorých sú mechanické sily vyrobené dopingom [34].

5. ZÁVER

Táto bakalárska práca sa zaoberá vlastnosťami a využitím vodivých polymérov. Analyzuje základných zástupcov, ich chemické, elektrické a fyzikálne vlastnosti, možnosti optimalizácie vlastností pre konkrétnu aplikáciu a biokompatibilitu. Opisuje dva hlavné procesy prípravy a schopnosť dopovania materiálov pre zvýšenie ich vodivosti. V ďalších dvoch kapitolách je práca zameraná na možné využitie vodivých polymérov v konkrétnych aplikáciách, či už ako batérie, senzory, ochrana proti korózii alebo v medicínskej a farmaceutickej oblasti, kde sú vodivé polyméry súčasťou biosenzorov, tkanivového inžinierstva, neurónových sond alebo na transport liekov.

Vodivé polyméry sú veľmi obľúbenými materiálmi a ich povedomie sa neustále zvyšuje. Dnes sú významné hlavne v medicíne vďaka jedinečným vlastnostiam a biokompatibilite, kde sú nevyhnutnou súčasťou rôznych zariadení a zlepšujú náš život.

6. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] KUMAR, D., SHARMA R. C. Advances in conductive polymers. *European Polymer Journal*. **1998**, 34 (8), 1053-1060. ISSN 0014-3057.
- [2] PROKEŠ, Ján, STEJSKAL, Jaroslav, OMASTOVÁ, Mária. Polyanilin a polypyrrol - dva predstaviteľé vodivých polymerů. *Chemické listy* 95. **2001**, 1, 484-492.
- [3] STENGER-SMITH, John D. Intrinsically Electrically Conducting Polymers. Synthesis, Characterization and their Application. *Progress in Polymer Science*. **1998**, 23 (1), 57-79. ISSN 0079-6700.
- [4] PROKEŠ, Jan, NEŠPŮREK, Stanislav, STEJSKAL, Jaroslav. Vodivé polymery. *Vesmír*. **2001**, 1, 35-38. Dostupné z: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/vodive-polymery>
- [5] MACDIARMID, Alan – Autobiography. Nobelprize.org. 20.4. 2017. Dostupné z: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/macdiarmid-facts.html
- [6] HIGGERS, Alan – Autobiography. Nobelprize.org. 20.4. 2017. Dostupné z: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/heeger-facts.html
- [7] SHIRAKAWA, Hideki – Autobiography. Nobelprize.org. 20.4. 2017. Dostupné z: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/shirakawa-facts.html
- [8] BALINT, Richard, CASSIDY, Nigel J., CARTMELL, Sarah H. Conductive polymers: Toward a smart biomaterial for tissue engineering. *Acta Biomaterialia*. **2014**, 10 (6), 2341-2353. ISSN 1742-7061.
- [9] NORDÉN, Bengt. Conductive polymers. *The Nobel Prize in Chemistry*. **2000**, 1-16.
- [10] MACDIARMID, Alan G. „Synthetic Metals“: A Novel Role for Organic Polymers (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie – International Edition*. **2001**, 40 (14), 2581-2590. ISSN 1433-7851.
- [11] ZARRAS, Peter, IRVIN, Jennifer. Electrically Active Polymers. *Encyclopedia of Polymer Science*. Wiley, **2003**, 88-135.

- [12] ONODA, Mitsuyoshi, ABE, Yayoi, TADA, Kazuya, KAWAKITA, Yusuke, FUJISATO, Toshia, UTO, Sadahito. Conductive Polymers as Bioelectronic Materials. *Electronics and Communications in Japan*. **2013**, 96 (12), 24-31. ISSN 1942-9533.
- [13] GUIMARD, Nathalie K., GOMEZ, Natalia, SCHMIDT, Christine E. Conducting polymers in biomedical engineering. *Progress in Polymer Science*. **2007**, 32 (8-9), 876-921. ISSN 0079-6700.
- [14] AHUJA, Tarushee, MIR, Ifran, Ahmad, KUMAR, Devendura, RAJESH. Biomolecular immobilization on conducting polymers for applications. *Biomaterials*. **2007**, 28 (5), 791-805. ISSN 0142-9612.
- [15] COSNIER, Serge. Biomolecule immobilization on electrode surfaces by entrapment or attachment to electrochemically polymerized films. *Biosensors and Bioelectronics*. **1999**, 14 (5), 443-456. ISSN 0956-5663.
- [16] NGUYEN, Minh Tho. General and theoretical aspects of anilines. *The chemistry of Anilines, Part 1*. Wiley, **2007**, 75-78. ISBN 978-0-470-87171-3.
- [17] STEJSKAL, Jaroslav, TRCHOVÁ, Miroslava, BOBER, Patrycja, HUMPOLÍČEK, Petr, KAŠPÁRKOVÁ, Věra. Conducting Polymers: Polyaniline. *Encyklopedia of Polymer Science and Technology*. Wiley, **2015**, 1-44.
- [18] PATIL, A. O., HEEGER, A. J., WUDL, F. Optical Properties of Conducting Polymers. *Chem. Rev.* **1988**, 88, 183-200. ISSN 0009-2665.
- [19] CHOUGULE, Manik A., PAWAR, Shailesh G., GODSE, Prasad R., MULIK, Ramesh N., SEN, Shashwati, PATIL, Vikas B. Synthesis and Characterization of Polypyrrole (PPy) Thin Films. *Soft Nanoscience Letters*. **2011**, 1 (1), 6-10.
- [20] KOYUNCU, Sermet, KAYA, Ismet, KOYUNCU, Fatma Baycan, OZDEMIR, Eyup. Electrochemical, optical and electrochromic properties of imine polymers containing thiophene and carbazole units. *Synthetic Metals*. **2009**, 159 (11), 1034-1042. ISSN 0379-6779.
- [21] GRZYBOWSKI, Marek, SKONIECZNY, Kamil, BUTENSCHON, Holger, GRYKO, Daniel T. Comparison of Oxidative Aromatic Coupling and the Scholl Reaction. *Angewandte Chemie International Edition*. **2013**, 52 (38), 9900-9930. ISSN 1433-7851.

- [22] TAN, Yang, GHANDI, Khashayar. Kinetics and mechanism of pyrrole chemical polymerization. *Synthetic Metals*. **2013**, 175, 183-191. ISSN 0379-6779.
- [23] WANG, Baochen, TANG, Jisong a WANG, Fosong. Electrochemical polymerization of aniline. *Synthetic Metals*. **1987**, 18, (1-3), 323-328. ISSN 0379-6779.
- [24] WALLACE, G. G., SMYTH M., ZHAO, H. Conducting electroactive polymer-based biosensors. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. **1999**, 18 (4), 245-251. ISSN 0165-9936.
- [25] ZHOU, David. D., CUI, Tracy X., HINES, Amy, GREENBERG, Robert J. Conducting Polymers in Neural Stimulation Applications. *Implantable neural prostheses 2. Springer*, **2010**, 217-252. ISBN 978-0-387-98119-2.
- [26] JABUR, Akram R. Effect of polyaniline on the electrical conductivity and activation energy of electrospun nylon films. *International Journal of Hydrogen Energy*. **2017**.
- [27] STEPHAN, A. Manuel. Review on gel polymer electrolytes for lithium batteries. *European Polymer Journal*. **2006**, 42 (1), 21-42. ISSN 0014-3057.
- [28] ABRAHAM, K. M., JIANG, Z. A Polymer Electrolyte-Based Rechargeable Lithium/Oxygen Battery. *Journal of the Electrochemical Society*. **1996**, 143 (1), 1-5. ISSN 0013-4651.
- [29] OSAKA, Tetsuya, KOMABA, Shinichi, MOMMA, Toshiyuki. Conductive polymers: Electroplating of organic films. In: SCHLESINGER, Mordechai, PAUNOVIC, Milan. *Modern Electroplating*. Wiley, **2010**, 421-432. ISBN 0-470-60263-5.
- [30] BRONCOVÁ, Gabriela, SHISHKANOVA, Tatiana V., KRONĎÁK, Martin, VOLF Radko, KRÁL, Vladimír. Potenciometrické senzory založené na vodivých polymerech: Příprava, mechanismus odezvy a aplikace. *Chem. Listy 103*. **2009**, 795-799.
- [31] JAFARZADEH, Shadi, CLAESSE, Per M., SUNDELL, Per-Erik, TYRODE, Eric, JINSHAN, Pan. Active corrosion protection by conductive composites of polyaniline in a UV-cured polyester acrylate coating. *Progress in Organic Coating*. **2016**, 90, 154-162. ISSN 0300-9440.

- [32] KAMALESH, Sengothi, TAN, Peicheng, WANG, Jianjun, LEE, Timothy, KANG, En-Tang, WANG, Chi-Hwa. Biocompatibility of electroactive polymers in tissues. *Journal of Biomedical Materials Research*. **2000**, 52 (3), 467-478. ISSN 0021-9304.
- [33] GERARD, Manju, CHAUBEY, Asha a MALHOTRA, B.D. Application of conductive polymers to biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*. **2002**, 17 (5), 345-359. ISSN 0956-5663.
- [34] RAVICHANDRAN, Rajeswari, SUNDARRAJAN, Subramanian, VENUGOPAL, Jayarama Reddy, MUKHERJEE, Shayanti, RAMAKRISHNA, Seeram. Applications of conducting polymers and their issues in biomedical engineering. *Journal of the Royal Society*. **2010**, 559-579. ISSN 1742-5689.
- [35] GHASEMI-MOBARAKEH, Laleh, PRABHAKARAN, Molamma P., MORSHED, Mohammad, NASR-ESFAHANI, Mohammad Hossein, BAHARVAND, Hossein, KIANI, Sahar, AL-DEYAB, Salem S., RAMAKRISHNA, Seeram. Application of conductive polymers, scaffolds and electrical stimulation for nerve tissue engineering. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*. **2011**, 5 (4), 17-35. ISSN 1932-6254.
- [36] WONG, Joyce Y., LANGER, Robert, INGBER, Donald E. Electrically Conducting Polymers can Noninvasively Control the Shape and Growth of Mammalian Cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. **1994**, 91 (8), 3201-3204. ISSN 0027-8424.
- [37] CUI, Xinyan, WILER, James, DZAMAN, Marta, ALTSCHULER, Richard A., MARTIN, David C. In vivo studies of polypyrrole/peptide coated neural probes. *Biomaterials*. **2003**, 24 (5), 777-787. ISSN 0142-9612.
- [38] GUISEPPI-ELIE, Anthony. Electroconductive hydrogels: Synthesis characterization and biomedical applications. *Biomaterials*. **2010**, 31 (10), 2701-2716. ISSN 0142-9612.
- [39] AHMED, Enas H. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications. *Journal of Advanced Research*. **2015**, 6 (2), 105-121. ISSN 2090-1232.
- [40] HOARE, Todd R., KOHANE, Daniel S. Hydrogels in drug delivery: Progress and challenges. *Polymer*. **2008**, 49 (8), 1993-2007. ISSN 0032-3861.

ÚDAJE PRE KNIŽNIČNÚ DATABÁZU

Názov práce	Štúdium vlastností a aplikácií vodivých polymérov v polymérnych a medicínálnych materiáloch
Autor práce	Ivana Divinská
Odbor	Farmakochémia a medicínske materiály
Rok obhajoby	2017
Vedúci práce	prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.
Anotácia	Bakalárska práca je zameraná na štúdium vodivých polymérov. Popisuje konjugovaný systém hlavného reťazca, vlastnosti a ich optimalizáciu. Charakterizuje hlavných zástupcov, ako polyanilín, polypyrol, polytiofén a stručne popisuje základné princípy prípravy. Zaoberá sa použitím vodivých polymérov v rôznych oblastiach aplikácie, hlavne v medicínskej a farmaceutickej.
Kľúčové slová	Vodivé polyméry, konjugované polyméry, polyanilín, polypyrol, polytiofén, možnosti prípravy, využitie vodivých polymérov, využitie v medicínskej oblasti