

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Intelligentní oblečení – řešení a návrh nových snímačů

Smart Clothes - Research and Design of New Sensors

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Tereza Nemcová**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: **Inteligentní oblečení – řešerše a návrh nových snímačů
Smart Clothes - Research and Design of New Sensors**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou šíření a vzniku biopotenciálů.
2. Seznámení se s problematikou měření biopotenciálů.
3. Návrh a realizace elektrod pomocí alternativních materiálů pro měření biopotenciálů.
4. Provedení měření a testů.
5. Zhodnocení výsledků měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] CHMELAR, M., A. DRASTICH a J. ROZMAN. *Lékařská přístrojová technika 2*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství techn. lit., 1984. 179 s.
- [2] CHMELAR, Milan. *Lékařská přístrojová technika I*. Brno: CERM, 1995. 192 s. ISBN 978-8085867633.
- [3] BRONZINO, Joseph D. et al.(eds.) *The biomedical engineering handbook*. Boca Raton(USA): CRC Press, 1995. 2896 s. ISBN 0849383463/978-0849383465.
- [4] SVATOŠ, Josef. *Biologické signály I*. Praha: ČVUT Praha, 1998. 202 s. ISBN 8001018229/978-8001018224.
- [5] PENHAKER, M., M. IMRAMOVSKÝ a P. TIEFENBACH. *Lékařské diagnostické přístroje: učební texty*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 320 s. ISBN 8024807513/978-8024807515.
- [6] CARR, Joseph J. a John M. BROWN. *Introduction to biomedical equipment technology*. 4th ed. Upper Saddle River(USA): Prentice Hall, 2001. 743 s. ISBN 978-0130104922.
- [7] MACKAY, Stuart R. *Bio-Medical Telemetry: Sensing and Transmitting Biological Information from Animals and Man*. 2nd Edition. Wiley-IEEE Press, 1998. ISBN 978-0-7803-4718-2.
- [8] FRANDEN, Jacob. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Design, and Applications*. 4th edition. New York: Springer Science, 2010. 663 s. ISBN 978-1441964656.
- [9] WEBSTER, John G. *Medical instrumentation : application and design*. Hoboken (USA): Wiley, c2009. ISBN 978-0471676003
- [10] PEREZ, Reinaldo. *Design of medical electronic devices*. San Diego (USA): Academic Press, 2002. ISBN 978-0125507110.
- [11] MALMIVUO, Jaakko a Robert PLONSEY. *Bioelectromagnetism -Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields*. New York: Oxford University Press, 1995. ISBN 0195058232/978-0195058239.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

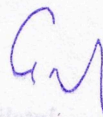
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Penhaker, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



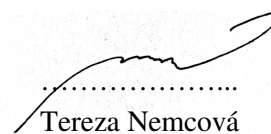
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.



Tereza Nemcová

Datum odevzdání bakalářské práce: 7. 5. 2015

V Ostravě

dne 7. 5. 2015

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Marku Penhakerovi, Ph.D., který mi poskytnul spoustu cenných rad jak při psaní, tak při realizaci mé práce. Dále patří velké poděkování panu RNDr. Jaroslavu Stejskalovi, CSc. a jeho týmu z Ústavu makromolekulární chemie AV ČR v Praze, díky kterým jsem mohla realizovat část týkající se vodivých polymerů a kteří mi poskytli základní informace o této problematice. A v neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a svým blízkým za obrovskou podporu a pomoc s realizací mé bakalářské práce.

Abstrakt

V teoretické části své bakalářské práce se věnuji poznatkům o snímání biopotenciálů a základním informacím o vodivých polymerech. V praktické části se zaměřuji na realizaci snímače EKG ve formě vodivých polymerů, které se poté zakomponují do vlněného trika buď jako polyanilinové nebo polypyrrolové bioelektrody.

Klíčová slova

EKG, snímač, vodivé polymery, polyanilin, polypyrrol, biopotenciál, bioelektroda

Abstract

In the theoretical part of my thesis I deal with the findings of sensing biopotentials and basic information on conducting polymers. In the practical part I concentrate on the implementation of ECG sensor in the form of conducting polymers, which will be incorporated into a woollen T-shirt either as polyaniline or polypyrrol bioelectrode.

Key words

ECG, sensor, conductive polymers, polyaniline, polypyrrol, biopotentials, bioelectrode

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Vodivé polymery.....	11
2.1	Historie vodivých polymerů.....	11
2.2	Polyanilin	12
2.2.1	Historie polyanilinu.....	12
2.2.2	Příprava polyanilinu	13
2.2.3	Formy polyanilinu	14
2.2.4	Morfologie polyanilinu	15
2.3	Polypyrrol.....	15
2.3.1	Historie polypyrrolu	15
2.3.2	Vlastnosti polypyrrolu.....	15
3	Biologické signály.....	16
3.1	Bioelektrické signály.....	16
3.2	Elektrické děje na buněčné membráně.....	16
3.3	Akční potenciál	16
4	Elektrokardiografie.....	17
4.1	Srdce.....	17
4.2	Převodní system srdeční.....	18
4.3	EKG svody	18
4.4	Elektrody	19
4.4.1	Povrchové elektrody.....	19
4.5	Význam EKG	20
4.6	Elektrokardiogram.....	20
5	Realizace bioelektrod a snímání EKG	23
5.1	Příprava bioelektrod pomocí polyanilinu a polypyrrolu	25
5.1.1	Pracovní postup při výrobě 1 litru polyanilinu, pokrytí skleněných filtrů a rezné nitě ..	25
5.1.2	Pracovní postup při výrobě 1 litru polypyrrolu a pokrytí skleněných filtrů.....	26
5.2	Výroba vodivého trika.....	29
5.2.1	Realizační pokus číslo 1	29

5.2.2	Realizační pokus číslo 2.....	30
5.2.3	Realizační pokus číslo 3.....	31
5.2.4	Realizační pokus číslo 4.....	31
5.2.5	Realizační pokus číslo 5.....	32
5.2.6	Realizační pokus číslo 6.....	33
5.2.7	Realizační pokus číslo 7.....	34
5.2.8	Realizační pokus číslo 8.....	34
5.2.9	Realizační pokus číslo 9.....	35
5.2.10	Realizační pokus číslo 10.....	35
5.2.11	Realizační pokus číslo 11.....	36
6	Závěr	38
7	Použitá literatura	39

1 Úvod

V posledních pár desetiletích přinesl vývoj v oblasti zdravotnictví důraz na prevenci a včasnou diagnostiku, aby bylo možné si včas vybrat vhodnou léčbu potřebnou k vitalitě člověka. Současná doba tlačí svým hektickým a rychlým životním stylem lidi k rychlému překonávání zdravotních problémů v závislosti na pracovních povinnostech. Proto by tyto problémy mohly být zdrojem mnoha běžných onemocnění. Zdravotní obtíže mohou být způsobeny špatným životním stylem, a pokud nebudeme onemocnění včas detekovat, jsou s tím pak ruku v ruce spojeny náklady na léčebnou péči a ne vždy včasná pomoc odborníků. Chceme-li jevy odstranit, nastal ten správný čas pro zlepšení zdravotní péče pomocí inteligentních a automatizovaných systémů.

Monitorování pomocí bio signálů je oblast, která v poslední době zaznamenala velký boom a to zejména co se týká inteligentních zařízení ve formě mobilních telefonů, náramkových hodinek, tabletů atd. Ovšem pro dlouhodobé monitorování potřebujeme něco, co bude plně autonomní a bez nutnosti údržby za přítomnosti odborníka. Systém by měl být přizpůsoben pro laickou veřejnost při minimu údržby, zajišťovat komfort, minimalizovat zátěž pro lidské tělo a přesně měřit bio signály. Pro splnění těchto kritérií je nutné opustit Ag/AgCl elektrody, u kterých je používán vodivý gel, jež po určité době vysychá a začít používat vodivé elektrody vetkané přímo do oblečení. V kombinaci s malou elektronikou pro digitalizaci analogových signálů je tato vize velmi atraktivní. Ve své bakalářské práci se budu zabývat oblastí vodivých elektrod a vodivým médiem pro přenos EKG signálu. S největší pravděpodobností se bude jednat o PANI a PPY elektrody, které vzniknou nanosením polymeru na 100% bavlněnou látku, skleněné elektrody a reznou nit, která bude vodivým médiem.

2 Vodivé polymery

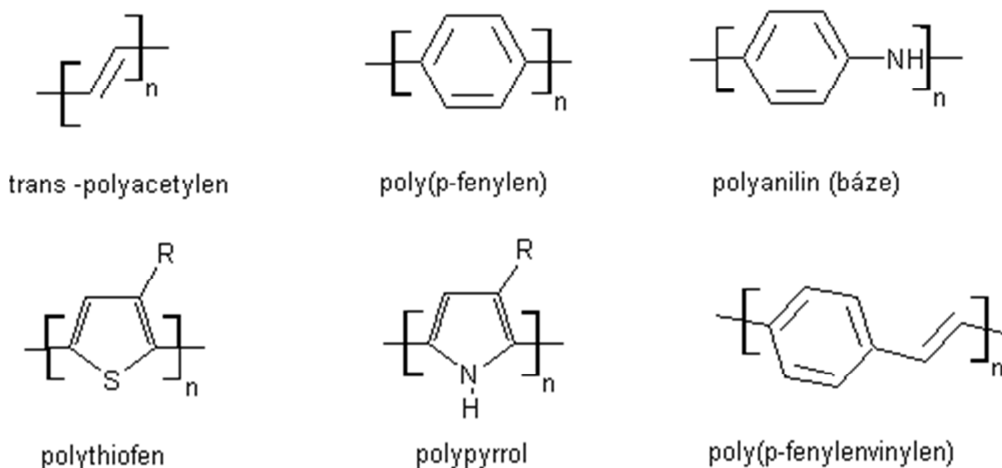
Vodivý polymer je látka, složená z molekul jednoho nebo více druhů atomů, které se mohou spojit v tak velkém počtu, že fyzikální a chemické vlastnosti se nezmění, i když odebereme nebo přidáme několik konstitučních jednotek. Významný rozdíl polymerů od jiných materiálů je řetězcová struktura jejich molekul, tzn. lineární řada vzájemně spojených atomů, která může pouze svým vybočením vytvořit větvení. Polymery jako polyetylen či polyvinylchlorid, jsou nevodivé a dají se použít jako izolanty. Máme však skupinu polymerů, které elektricky vodivé jsou.

Vodivý polymer je polymer, který se chová jako polovodič nebo vodič elektrického proudu. Jako například polypyrrol a polyanilin, se kterými jsem pracovala ve své bakalářské práci. Jsou tvořeny systémem konjugovaných dvojných vazeb, tzn. pravidelně se střídají jednoduché vazby s dvojnými. Konjugace není ovšem jediný předpoklad, který musí být dodržen, dalším velmi důležitým předpokladem je přítomnost nositelů nábojů, díky kterým je zajištěn transport po řetězci tzv. dopování. Velký rozdíl zaznamenáváme u dopování organických a anorganických polovodičů. Zatímco u anorganických polovodičů již stopová koncentrace dopující látky ovlivní elektrické vlastnosti, u polymerů potřebujeme koncentraci daleko vyšší. Elektrická vodivost polymerů je cca $0,01 - 30 \text{ S cm}^{-1}$. [5]

2.1 Historie vodivých polymerů

Poměrně vysokou elektrickou vodivost polypyrrolu po oxidaci jodem popsali v roce 1963 Australan D. E. Weiss se svými spolupracovníky. Nezaznamenali však úspěch jako mnozí další v tehdejší době. Moderní historie začíná v roce 1977, kdy jako prvním, komu je přisuzován objev vodivých polymerů jsou Američané J. Heeger, Alan MacDiarmidov a Japonci Hideki Širakawa, kteří popsali vodivost polyacetylen dopovaného jodem. Nobelovu cenu za chemii za tento objev dostali v roce 2000 Cukubě.

Prvotní představy, že by snad polymery mohly zastoupit kovy byly rychle opuštěny a nahradily je představy, které více zajímá schopnost vodivých polymerů měnit vodivost v závislosti na vnějším prostředí, tzv. inteligentní polymery. [5]



Obrázek 1 Vodivé polymery [5]

Na obrázku 1 můžeme vidět základní polymery, které jsou známy. V mé práci se budu podrobněji zajímat o polyanilin a polypyrrol.

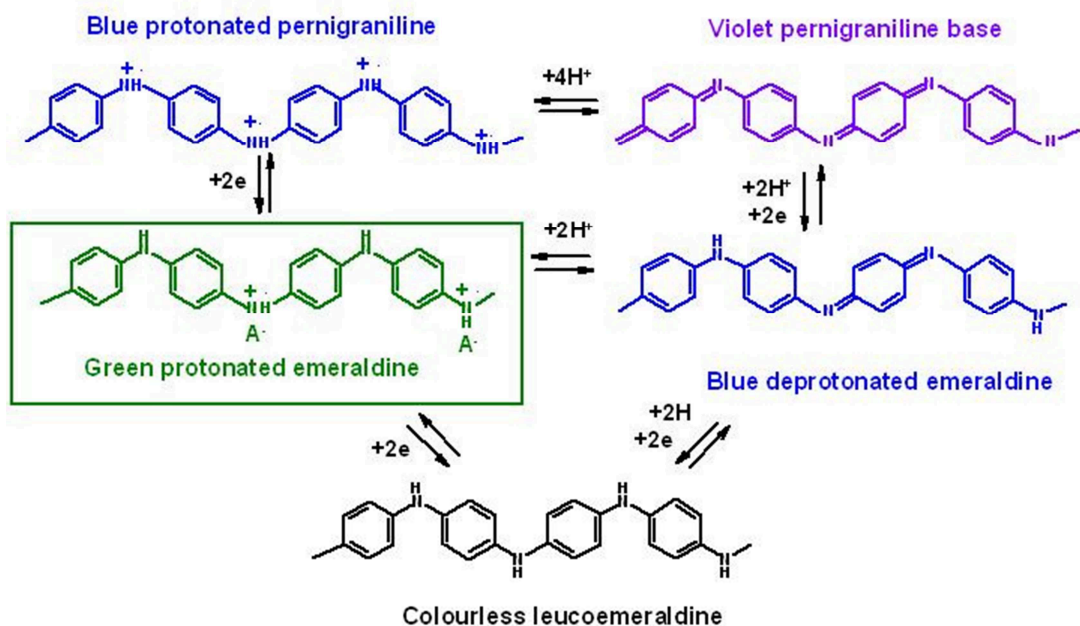
2.2 Polyanilin

2.2.1 Historie polyanilinu

Polyanilin získáme oxidací anilinu.

- **1826** německý chemik Unverdorbenem při své snaze o objasnění struktury indiga a o syntézu tohoto barviva objevil, že anilin je produkt pyrolitické destilace indiga
- **1840** byly popsány zelené oxidační produkty, které bychom dnes mohli nazývat polyanilin. Tímto se polyanilin řadí mezi nejstarší syntetické polymery
- **1856** přinesl první syntetické průmyslově vyráběné barvivo mauvein vyrobené britským chemikem Perkinem
- **1862** britský profesor chemie Letheby provedl elektrochemickou oxidaci, čímž docílil modrého zbarvení tak typického pro polyanilinovou bázi
- **1910** britští chemici Green a Woodhead navrhli pro produkt anilin strukturu oktameru (polymery ještě nebyly známy), názvy jednotlivých oxidačních forem jsou používány pro polymery dodnes (leukoemeraldin, emeraldin a pernigranilin)
- **1968** Československo Honzl a spol., syntetické postupy vyrábějící polyanilin
- největší boom byl zaznamenán **na konci 70. let**, kdy budoucí nositelé Nobely ceny za chemii zveřejnili výzkum o polyacetylenu

[5]



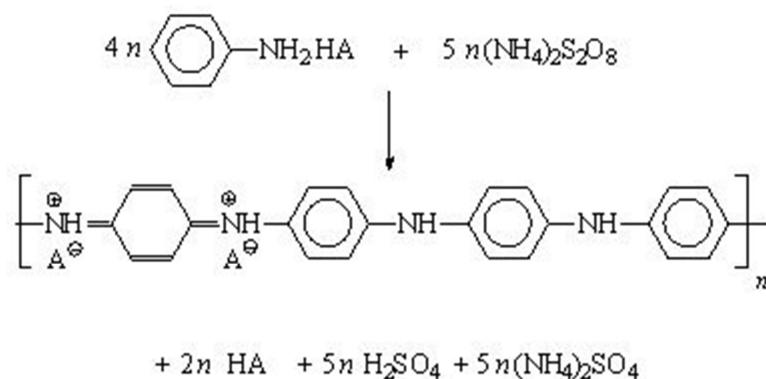
Obrázek 2 Formy polyanilinu [5]

Na obrázku 2 vidíme formy polyanilinu, který se vyskytuje v základní formě a to emeraldinové, ten může být oxidován na pernigranilin nebo redukován na leukoemeraldin.

2.2.2 Příprava polyanilinu

Jak již bylo řečeno, polyanilin vzniká oxidací anilinu, většinou peroxydvojsíranem amonným (levné chemikálie). Reakce se odehrává v kyselém vodném prostředí, za přítomnosti vzduchu, v laboratorní teplotě bez nutnosti se reakci nějakým způsobem věnovat s téměř stoprocentním výtěžkem. Jedná se o exotermní reakci, která je ukončena během pár minut a výsledný produkt získáme filtrací. Atraktivita tohoto polymeru je tudíž zejména díky stabilitě a jednoduché přípravě.

Polyanilin většinou připravujeme oxidací 0,2 M anilinu hydrochloridu s 0,25 M peroxydvojsíranem amonným (viz. Obr). Tudíž v praxi rozpustíme 2,59 g anilinu hydrochloridu v 50 ml vody a zvlášť 5,71 g peroxydvojsíranu amonného taktéž v 50 ml vody. Oba roztoky smícháme dohromady a chvíli vyčkáme. Za chvíli směr zmodrá díky anilinovým oligomerům. Modrá barva se neustále prohlubuje, čímž vzniká pernigranilinová forma polyanilinu, která se na konci mění v tmavozelený emeraldin. Celý proces trvá přibližně 10 minut, a protože se jedná o reakce exotermní (přítomnost tepla), vzrůstá teplota směsi z 20°C na 28°C. Musíme dávat pozor na koncentrace reakčních složek (nad 1 M), teplota se může zvýšit natolik, že dojde k výbuchu. Výslednou směs polyanilinu promyjeme zředěnou (0.2 M) kyselinou chlorovodíkovou a nakonec acetonem nebo etanolem a necháme usušit na vzduchu. Tímto postupem máme množství polyanilinu kolem 2 g s vodivostí 4 S cm⁻¹. [5]



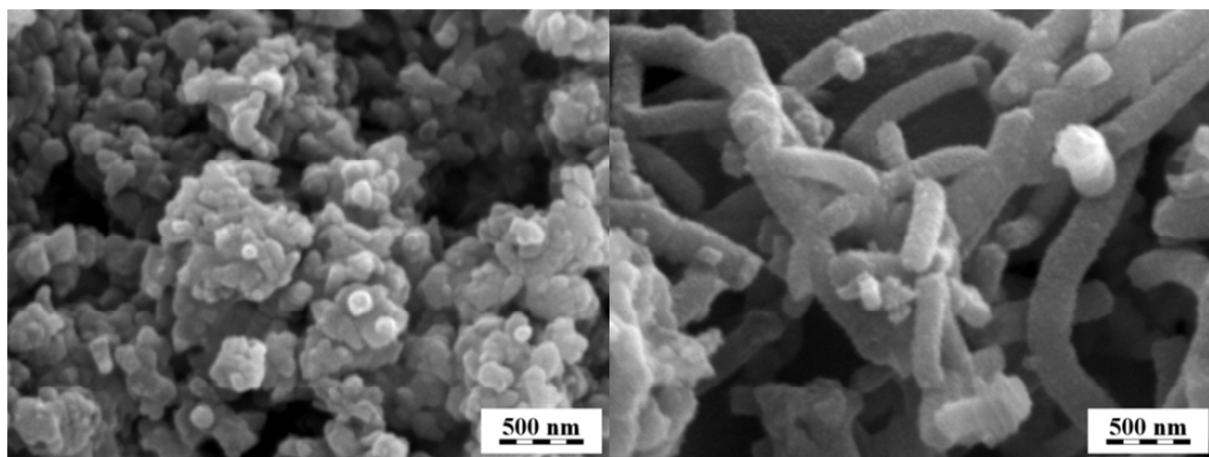
Obrázek 3 Chemická reakce při přípravě polyanilinu [5]

Pokud do výsledné směsi polyanilinu vložíme jakýkoliv předmět stálý v kyselém prostředí, pokryje se tenkým vodivým polyanilinovým filmem cca 100 nm širokým.

2.2.3 Formy polyanilinu

Polyanilin známe ve více formách, které se od sebe různými parametry liší. Asi nejlepším příkladem je přechod mezi vodivou tmavě zelenou formou a nevodivou modrou formou, který se odehrává při pH 5 – 6. Když tedy na výsledný polyanilin necháme působit např. 1 M hydroxidu amonného změní se radikálním způsobem vodivost polyanilinu z S cm^{-1} na $10^{-9} \text{ S cm}^{-1}$, což znamená snížení o devět řádů.

Při polymeraci v silně kyselém prostředí vzniká polyanilin v granulární podobě, při nižší kyselosti vznikají polyanilinové trubky (větší průměr a délku).



Obrázek 4 Formy polyanilinu [5]

Na levém obrázku můžeme vidět polyanilin v granulární podobě a při snížené kyselosti na pravém obrázku polyanilinové nanotrubky. [5]

2.2.4 Morfologie polyanilinu

Při klasické polymeraci anilinu získáme granulární morfologii. Jestliže ovšem provedeme polymeraci anilinu ve vodě či v kyselém prostředí kyseliny octové dostaneme v produktu velký počet polyanilinových nanotrubek. Polyanilinové nanotrubky jsou stále tématem současného výzkumu, ne jen díky předponě „nano“, která je v dnešní době velice módní. Není se čemu divit, protože kdyby výzkum pokročil, změna morfologie v nano by poskytla zcela novou dimenzi vlastností, které v makroskopickém světě nemají konkurenci. [5]

2.3 Polypyrrol

Polypyrrol (PPy) je druh organického polymeru, který je vytvořen polymerací pyrrolu. Polypyrroly jsou vodivé polymery a úzce souvisí s polymery jako polyanilin apod.

2.3.1 Historie polypyrrolu

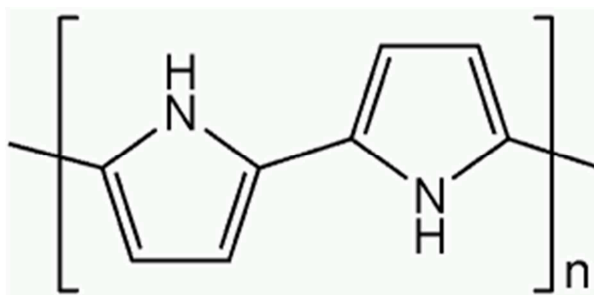
- **1963** byly zaznamenány první zmínky o tomto polymeru díky Weissovi a jeho spolupracovníkům, kteří popsali pyrolýzou tetraiodopyrrolu vysokou vodivost materiálů; nejčastěji se připravuje oxidací pyrrolu za použití chloridu železitého v methanolu

[6][7]

2.3.2 Vlastnosti polypyrrolu

Filmy polypyrrolu jsou žluté, ale tmavnou na vzduchu díky oxidaci. Dopované filmy jsou modré nebo černé v závislosti na stupni polymerace a tloušťce filmu. Jsou amorfní (látko má pevné skupenství, ale nemá pravidelnou strukturu) a vykazují nízkou difrakci (jev, u kterého se vlnění dostává do oblasti geometrického stínu, zobrazí ohybové obrazce, tj. světlé a tmavé pružky různé šířky). Nedopované a dopované filmy jsou nerozpustné v rozpouštědlech, ale mohou bobtnat. Jsou stabilní ve vzduchu až do 150°C a při této teplotě se začne vyvíjet příměs (např. jako HCl).

Polypyrrol je izolátor, ale jeho oxidované deriváty jsou dobré elektrické vodiče. Vodivost materiálu závisí na podmínkách a reakčních činidlech používaných při oxidaci. Vodivost se pohybuje v rozmezí 2 až 100 S/cm. Vyšší vodivost je spojena s většími anionty jako je například tosylát. [6][7]



Obrázek 5 Polypyrrol [22]

3 Biologické signály

Obecně můžeme definovat signál jako stručnou zprávu nesoucí informaci, která nás informuje o nějaké události. Ovšem biosignál je speciální druh, který se vyskytuje v živých organismech a může být vyvolán různými způsoby. Mezi nejznámější biosignály patří: elektrokardiografický, elektromyografický a elektroencefalografický. Ne všechny biologické signály mají stejný časový rozsah, některé se nám projeví ihned po expozici, na některé čekáme i několik dnů.

Kromě elektrických biosignálů známe i mnohé další jako např. bioakustické, biomagnetické apod. My se ovšem budeme zabývat především signály bioelektrickými. [1]

3.1 Bioelektrické signály

Bioelektrické signály vznikají procesy, které se odehrávají na membránách dráždivých buněk a snímají se pomocí elektrod, jež nám snímají signály přímo z povrchu lidského těla díky skvělé vodivosti. Signál je možné snímat buď invazivně, nebo povrchově. Povrchově použitím povrchových elektrod a invazivně použitím podpovrchových elektrod. V současné době je snímání biosignálů velice módní a zajímají nás především dvě věci a to: rozkmit a frekvenční pásmo. [1]

3.2 Elektrické děje na buněčné membráně

Extracelulární a intracelulární buněčné tekutiny obsahují ionty anorganických i organických látek. Roztoky, které jsou schopné vést elektrický proud díky volným iontům, se nazývají elektrolytické roztoky. Elektrolytické roztoky řadíme do druhé třídy a kovy do třídy první třídy, protože elektrický proud vedou díky volným elektronům.

Známe dva druhy transportů, které jsou nezbytně nutné pro vznik a změny nerovnoměrného rozložení iontů. Jedná se o aktivní transport a pasivní transport. Liší se o d sebe tím, že pasivní transport nepotřebuje pro svou správnou funkci přísun energie.

Působením pasivního a aktivního transportu se buňka dostane do stavu, kdy jsou síly mezi ionty v dlouhodobé rovnováze, proudění iontů to ovšem nezabrání a to zejména díky sodíko-draslíkové pumpě. Rovnovážného stavu je dosaženo neustále se opakujícím dynamickým dějem, také nazývaného jako klidové membránové napětí. [1]

3.3 Akční potenciál

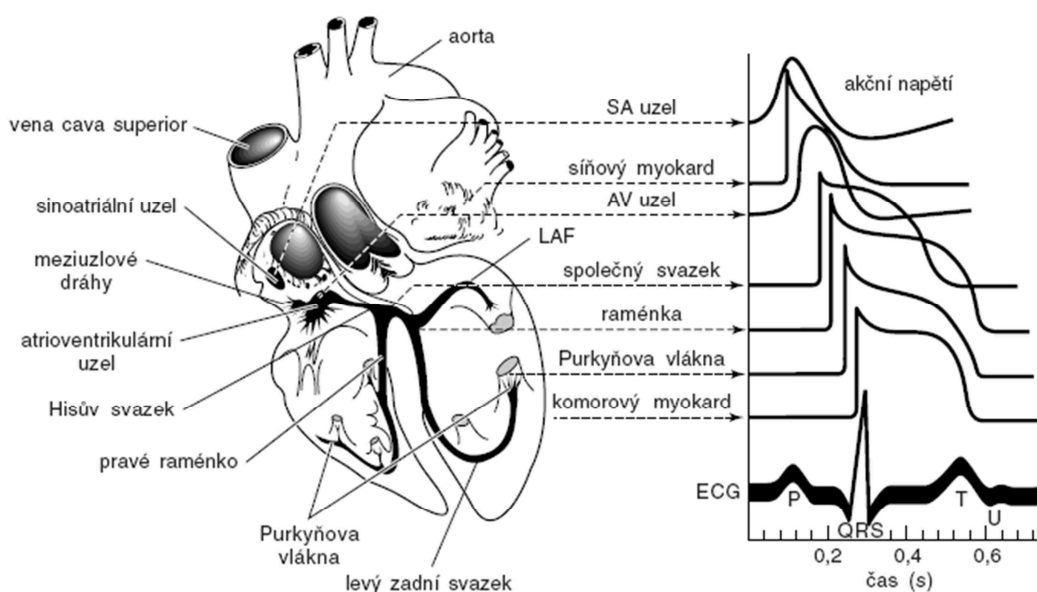
Situaci, kdy membrána změní na určitou dobu svou polaritu, nazýváme akční potenciál, kterého je dosaženo podrážděním buňky. Spouštěčem změny je změna membránového napětí na tzv. prahovou hodnotu. Jednoduše řečeno se jedná o krátký časový okamžik, kdy se membránový potenciál buňky rychle zvýší a sníží. Podráždění musí být tak velké, aby vyvolalo zvýšení membránového napětí cca o 20 mV. [1]

4 Elektrokardiografie

Elektrokardiografie je diagnostická metoda, která zajišťuje záznam a snímání elektrické aktivity srdce. Řadí se mezi základní vyšetřovací metodu v kardiologii. Zjišťuje různé srdeční poruchy jako je porucha srdečního rytmu (arytmie), ischemická změna v myokardu a kontrola účinnosti radiofarmak atd. Elektrokardiograf nám v klinické praxi slouží k záznamu elektrické aktivity srdce a to pomocí elektrod, které jsou přímo umístěny na těle pacienta (hrudník, končetiny). [1]

4.1 Srdce

Srdce je svalový orgán, který se rytmicky stahuje a vhání krev do cév. Stěnu srdce tvoří: vnitřní endokard, střední myokard a zevní epikard. Je složeno z příčně pruhovaného svalstva a nelze jej ovládat vůlí. Díky tomu, že srdce nemá neuromuskulární ploténky, je u něj jiný mechanismus šíření akčního potenciálu. K dráždění dochází pomocí lokálních proudů, které se šíří celým středním myokardem.



Obrázek 6 Šíření akčního potenciálu srdcem [16]

Srdce je dutý, svalový orgán se čtyřmi dutinami, které jsou uloženy za hrudní kostí - sternem v mezihrudí. Přepážka jej dělí na dvě poloviny - levou a pravou, které se nazývají levé a pravé srdce. Ty se pak dále dělí na komoru a síň, mezi nimiž je přepážka tvořená vazivovou destičkou, do které jsou usazené cípate chlopně. Mezi pravou síní a pravou komorou se jedná o chlopeň trojcípou, mezi levou síní a levou komorou pak o chlopeň dvojcípou. Posledním typem chlopní jsou chlopně poloměsíčitě, které nalezneme při odstupu plicního kmene z pravé komory a srdečnice z levé komory.

Srdcem neustále proudí krev. Regulaci proudění krve zajišťují srdeční chlopně, u kterých v ideálním případě krev proudí pouze jedním směrem. Odkysličená krev ze žil je vedena do pravé síně

pomocí horní a dolní duté žíly. Poté proudí do pravé komory a odtud je vyháněna do plicnice. Od tohoto okamžiku se jedná o malý krevní oběh, ve kterém se krev přes různé části plic okysličí. Krev obohacená o kyslík pak proudí čtyřmi plicními žilami do levé síně a následně levé komory, odkud je vedena do srdečnice, kterou začíná velký krevní oběh. [1][2][3][4]

4.2 Převodní systém srdeční

Převodní systém srdeční zajišťuje správnou časovou souslednost relaxace a kontrakce síní a komor, díky kterému se přenáší akční potenciál ve formě podráždění. Lokální proudy buňky zajišťují vedení akčního potenciálu, jedná se o tzv. automatické buňky, které periodicky podráždění vytvářejí. Tento akční potenciál je alfou a omegou srdečního rytmu.

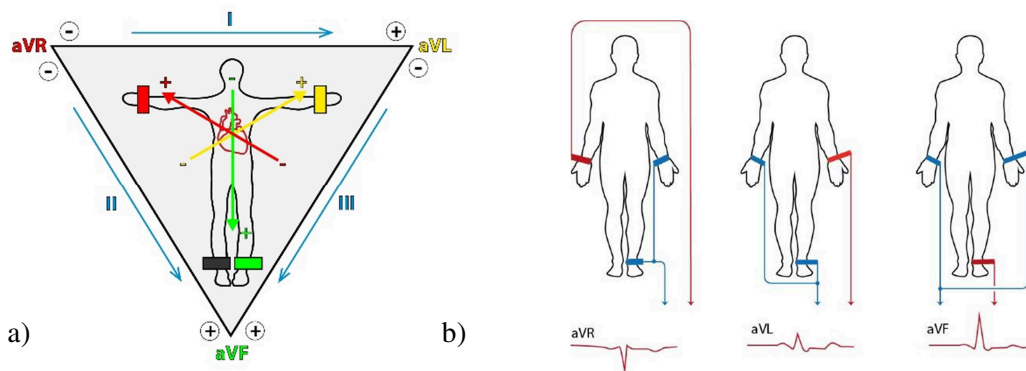
Pokyny ke stahu vznikají v automatických buňkách, kde se dále akční potenciál šíří do atrioventrikulárního uzlíku, poté přes Hisův svazek do Tawarových ramének a nakonec je podráždění pomocí Purkyňových vláken po celé svalovině srdce. [1]

4.3 EKG svody

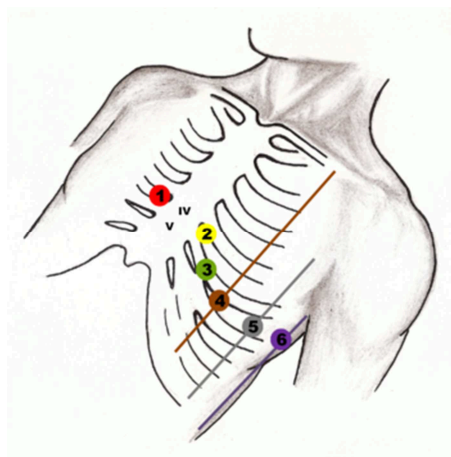
Elektrickou aktivitu srdce můžeme snímat několika způsoby. Nejsnadněji lze EKG snímat z povrchu těla, ale je možné snímání v jícnu či nitrosrdčně.

EKG snímáme pomocí elektrod, které musíme ovšem vhodně umístit na tělo a to v hrudní a břišní oblasti. Pro správnou přilnavost a správnost snímání (snížení přechodového odporu) používáme vodivé gely. Je možné používat i samolepící nebo balónkové elektrody, ale zejména u samolepících elektrod se dlouhodobější snímání EKG nedoporučuje, protože dochází k posunu elektrod vlivem pohybu a proto také k nesprávnému snímání EKG signálu. V dnešní době používáme systém dvanácti svodů, kde používáme devět měřících elektrod. Zapojení můžeme rozdělit na tři základní typy podle jména objevitele.

První jsou Einthovenovy bipolární končetinové svody (I, II, III), poté Goldbergovy unipolární končetinové svody (aVR, aVL, aVF) a nakonec Wilsonovy unipolární hrudní svody (V₁, V₂, V₃, V₄, V₅, V₆). [1]



c)



4.4 Elektr

Obrázek 7 EKG svody: a) Einthovenovy svody b) Goldbergovy svody c) Wilsonovy svody [20][21] ody

Běžně používané biopotenciálové elektrody můžeme rozdělit do tří kategorií, z nichž pro svou bakalářskou práci jsem pro své pokusy potřebovala elektrody povrchové.

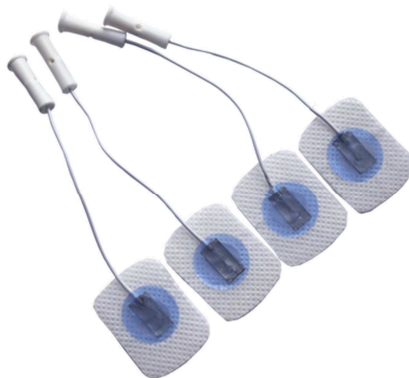
- povrchové elektrody
- podpovrchové elektrody
- mikroelektrody

Protože tkáň je vodič druhého druhu (vede pomocí volných iontů), potřebujeme vodiče prvního druhu (elektrody), tím dojde ke kvalitnímu vodivému spojení dvou druhů vodičů. Díky vodivému gelu, který je tvořen elektrolytem zajistíme přechod elektroda – kůže. Podpovrchovým elektrodám slouží jako elektrolyt tělní tekutiny. Rozeznáváme tedy elektrody prvního druhu (čistý kov nebo jeho slitina ponořená v roztoku kationtů stejného kovu) a druhého druhu (čistý kov je pokryt vrstvou těžko rozpustné soli tohoto kovu, používáme s elektrolytem, který obsahuje stejné anionty).

Pro svou práci jsem se snažila odpoutat od klasických metod s vodivým gelem, tedy rozhraní tkáň – elektrolyt – kov a zkusila se zaměřit na použití vodivého polymeru místo elektrolytu. Tím, že se jedná o smíšený vodič (ani prvního, ani druhého řádu), přenos náboje probíhá pomocí struktury obsahující řetězce jednoduchých a dvojných vazeb a nositelů nábojů zanesených dějem tzv. dopováním. Proto se tento princip hodí na použití suchých biopotenciálových elektrod, u kterých se polymer usadí ve formě tenkého cca 100nm tlustého filmu. [14]

4.4.1 Povrchové elektrody

Povrchové elektrody používáme jako základní elektrody pro snímání z povrchu lidského těla spolu s elektrovodivým gelem či pastou. Mezi základní typy patří plošné kovové elektrody, balónkové elektrody a plovoucí elektrody. [13]



Obrázek 8 Plovoucí elektrody [19]

Ve své práci se budu snažit odpoutat od elektrod s elektrovodivým gelem či pastou, pro svou realizační část je použiji pouze na začátku měření pro ověření funkčnosti EKG sestavy.

4.5 Význam EKG

Celý cyklus začíná v sinusovém uzlíku, přes převodní systém se šíří až k buňkám srdečního svalu. Jedná se o primární signál, který není na křivce EKG znatelný. Proto se aktivují buňky srdečního svalu a tím dochází ke vzniku impulsu vyššího potenciálu, který už můžeme vidět na křivce EKG.

První zaznamenanou vlnou je vlna P, díky depolarizaci komor (kontrakce). Poté dochází k uvolnění svalstva (repolarizace) předsíní, ovšem tento signál nezaznamenanáme. Následně zaznamenáváme komplex QRS, následovaný vlnou T doprovázenou repolarizací komor a opětovnou vlnou P. [1]

4.6 Elektrokardiogram

Elektrická aktivita srdce se projeví i svými změnami na povrchu lidského těla a vzniká tím v srdci elektrické pole. Vytváří se kolem srdce, ale dá se měřit i na povrchu těla. Klasicky se měří mezi dvěma elektrodami jako rozdíl jejich elektrického napětí a má vektorovou hodnotu. Elektrické pole vzniká při průchodu a ustoupení podráždění, tím se vytváří množství elektrických polí přecházejících v elektrické vektory. Ty se postupně sečtou a dají nám výsledný srdeční vektor.

Vektor se při průchodu vzruchu pohybuje v uzavřené křivce, která začíná ve středu srdce a také tam končí. Křivka se projeví jako rovnostranný (Einthovenův) trojúhelník ve standardním zapojení svodů a vykreslí se jako QRS komplex.

Při průchodu a ústupu vzruchu se směr a velikost vektoru mění v čase, vrchol vektoru opisuje křivku v prostoru. Ve formě elektrokardiogramu se poté zapisuje změna napětí na svodech, jež srdce snímá. Směrem k elektrodě se zapisuje pozitivní výchylka a směrem od elektrody výchylka negativní. Měření je možné buď unipolárně (vzhledem k jedné centrální nulové elektrodě) nebo v mém případě bipolárně (vzhledem k napětí mezi dvěma elektrodami). [13]

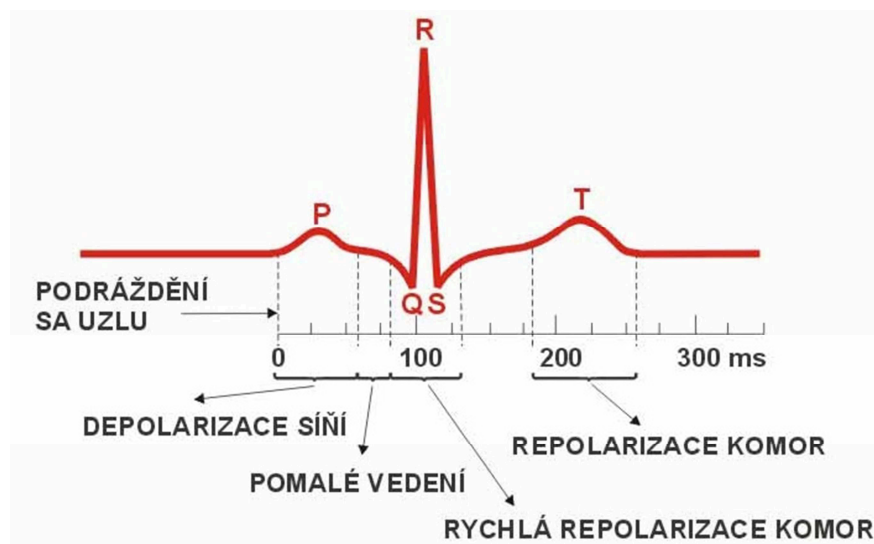
Na QRS komplexu hodnotíme tři věci:

- dobu trvání (cca 0,11 s)
- přítomnost a trvání Q kmitu (trvání nepřesahuje 0,03 s)
- Sokolowovy indexy

Z velikostí kmitů QRS v hrudních svodech lze určit přibližně tloušťku stěny komor. Využíváme k tomu Sokolowových komplexů, jeden pro pravou a druhý pro levou komoru. U pravé komory se jedná o součet amplitud kmitu R ve svodu V1 a S ve svodu V6, který normálně nepřesahuje 1,05 mV. Pro levou komoru určujeme dva Sokolowovy indexy (LK1, LK2). Sčítáme amplitudy S s V1 a R s V5 (nepřesahuje 3,5 mV) nebo V6 (nepřesahuje 4 mV). [17]



Obrázek 9 Jednotky a jejich vztah ke křivce EKG [17]



Obrázek 10 EKG signál [15]

Na obrázku číslo 10 můžeme vidět EKG křivku a její jednotlivé části.

- **Vlna P** značí depolarizaci obou síní
- **Vlna T** značí depolarizaci komor neboli ochabnutí komorové svaloviny
- **Vlna U** sice značí depolarizaci komor, ale je viditelná jen na některých EKG
- **Kmit Q** je označován jako první negativní výchylka komplexu QRS a je před kmitem R
- **Kmit R** je kladná výchylka, ale po kmitu Q
- **Kmit S** je označován jako druhý negativní výchylka po kmitu R
- **Interval PQ** je interval od vlny P po začátek komplexu QRS, značen jako depolarizace a repolarizace komor
- **Interval PR** je časový úsek průchodu elektrického impulzu ze síní AV uzlem, Hisovým svazkem, Tawarovy raménky až k Purkyňovým vláknům
- **Úsek ST** je časový úsek mezi depolarizací a repolarizací komor, taktéž označováno jako junkční bod
- **Komplex QRS** se skládá ze samotné depolarizační části QRS a repolarizační části, která je složena z úseku ST a vlny T. [1]

5 Realizace bioelektrod a snímání EKG

Předpokládaným výsledkem bakalářské práce byla realizace bioelektrody pomocí polyanilinu (PANI) a polypyrrolu (PPY) s využitím napolymerované rezné nitě jako vodivého média ve formě trika snímajícího EKG signál. Záměrem této práce bylo zjednodušit domácí péči, pro běžné snímání EKG v domácím prostředí, kdy si pacient oblékne triko jako každé jiné ráno s tím rozdílem, že triko bude snímat EKG signál. Další možnosti využití bych viděla pro záchranné složky systému či armádu, kde by se vojákům apod. automaticky monitorovaly základní životní funkce a zlepšily by se tím podmínky pro jejich přežití.

Celá tato práce se rozčlenila na jednotlivé kroky, které jsem postupně realizovala. Prvním krokem bylo získat povědomí o chemických sloučeninách polyanilinu, polypyrrolu a následně si je ověřit v Ústavu makromolekulární chemie AV ČR v Praze u pana doktora Jaroslava Stejskala, díky kterému jsem mohla celou chemickou část realizovat a objednat trik značky Merino ze 100% ovčí vlny. Následovalo pokrytí skleněných filtrů, 100% bavlněné látky a rezné nitě. Dalším krokem realizace bylo vhodné vštívit napolymerovaných skleněných filtrů pomocí nitě do trika, vyvést jedním vývodem a následně zafixovat do sondy pro snímání EKG signálu.

Cílem této práce je celkové zefektivnění při dlouhodobém snímání EKG signálu bez přidání elektrovodivého gelu či pasty.

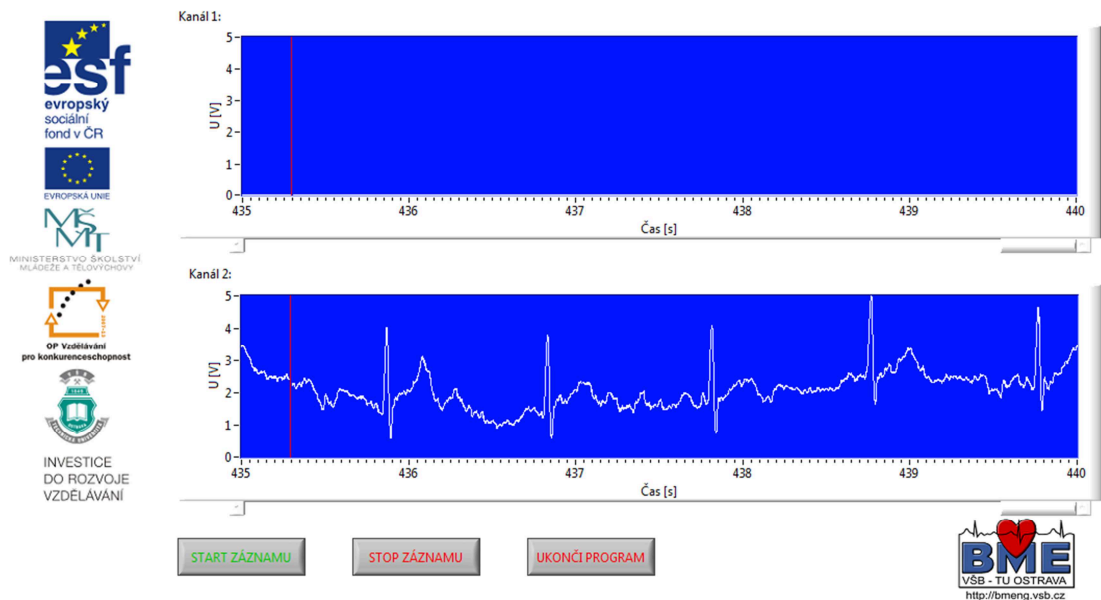
Podstatné bylo určit si, jaké vlastnosti od trika očekáváme a vyrobit triko, díky němuž by bylo možné snímat 12ti svodové EKG, bylo by pratelné aniž by ztratilo své vlastnosti a svody by byly realizované pomocí napolymerované nitě, kdy začátek a konec je odizolovaný silikonovým lakem ve spreji, aby se celé zapojení nezkratovalo a vodivé spojení bylo zajištěno při snímání a přenášení signálu.

Pro snímání EKG signálu mi bylo zapůjčeno přenosné zařízení výukové sady biomedicínského inženýrství Modul bmeng EKG, kdy po instalaci do pc a připojení jednotky příslušným kabelem do USB portu PC. Instalace se sama dokončila a bylo možno spustit aplikaci EKGPPGOnline.



Obrázek 11 Výuková sada biomedicínského inženýrství

Bylo nutné vyzkoušet, zda výukový modul funguje, proto jsem nejprve zkusila snímat EKG signál pomocí přiložených klešťových elektrod. Z obrázku je zřejmé, že modul funguje správně a je možné jej použít pro snímání EKG signálu.



Obrázek 12 Snímání EKG pomocí modulu a klešťových elektrod

Místo klasických elektrod byly použity filtry ze skleněných mikrovláken od firmy Whatman, které jsou biologicky inertní, chemicky, teplotně odolné až do 500°C, vyrobené z borosilikátového skla. [18]

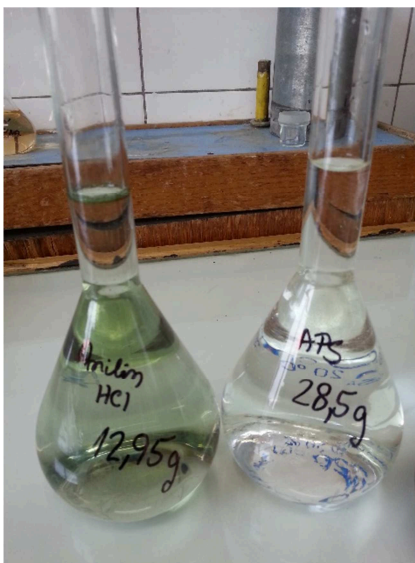
5.1 Příprava bioelektrod pomocí polyanilinu a polypyrrolu

Celá tato realizace se odehrála na půdě Ústavu makromolekulární chemie AV ČR v Praze. Díky pomoci pana doktora Stejskala a jeho dvou asistentek se celá realizace stala snažší a pochopitelnější i pro laickou veřejnost. Na pokrytí skleněných filtrů jsem vybrala dvě chemické sloučeniny, jedná se o polyanilin a polypyrrol.

5.1.1 Pracovní postup při výrobě 1 litru polyanilinu, pokrytí skleněných filtrů a rezné nitě

Pro výrobu 1 litru polyanilinu jsem zvolila postup podle pana doktora Jaroslava Stejskala a je složený z následujících kroků:

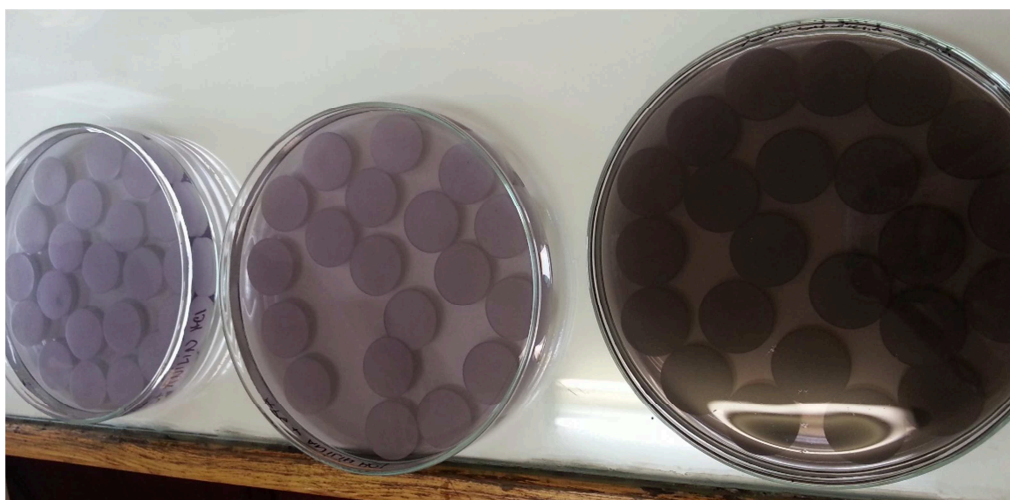
1. V 500 ml destilované vody rozpustíme 25,9g anilinu hydrochloridu.
2. V 500 ml destilované vody rozpustíme 57,1g peroxydisíranu amonného.



Obrázek 13 Rozpuštění 25,9 g anilinu hydrochloridu a 57,1g peroxydisíranu amonného

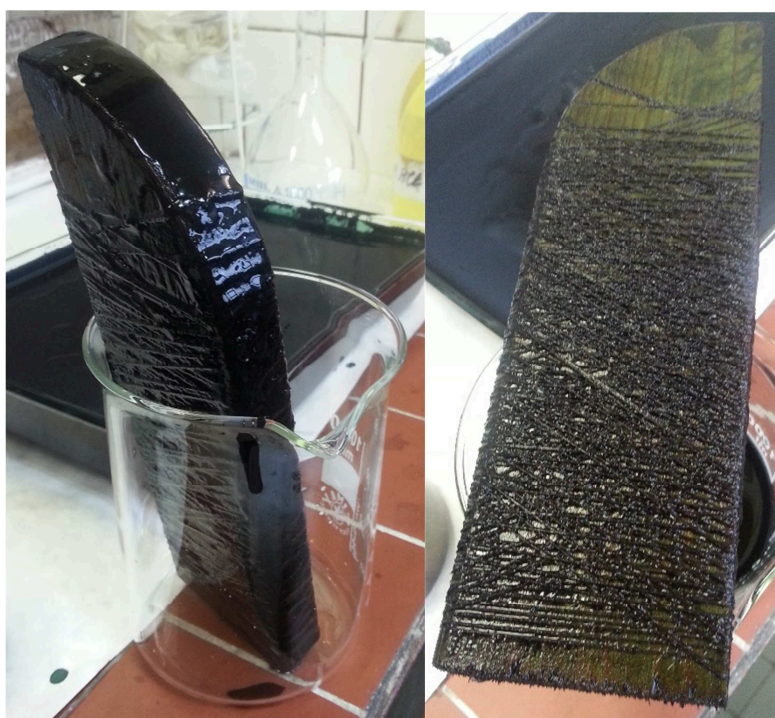
3. Oba roztoky smícháme a výsledný roztok po chvíli začne modrat (vznik anilinových oligomerů). Barva začne pomalu tmavnout a dá vzniknout tzv. pernigranilinové formě polyanilinu, která končí na tmavě zelené barvě zvané emeraldin.
4. Začíná proces zvaný polymerace, který probíhá v laboratorních podmínkách asi 15 minut při teplotní změně reakční směsi (z cca 20°C na 38°C).

5. Do této směsi je možno namočit jakékoliv předměty, které se následně pokryjí tenkým filmem.
6. V mém případě, kdy jsem potřebovala pokrýt skleněné filtry, jsem musela skleněné filtry vyskládat do Petriho misek a zalít reakční směsí, aby byly filtry rovnoměrně rozmístěné na povrchu a nepřekrývaly se, protože by to negativním způsobem působilo na pokrytí filtru. U rezné nitě, aby byla pokryta rovnoměrně, se jednalo o namotání nitě na předmět, kde by se nitě výrazným způsobem nepřekrývaly, proto jsem zvolila obmotání nitě kolem dřevěného polínka.



Obrázek 14 Pokrytí skleněných filtrů polyanilinem

7. Dalším úkolem byla příprava 3% kyseliny sírové a následné promytí všech skleněných filtrů zvlášť, aby se zajistilo 100% promytí a očištění od výsledné reakční směsi. Tudíž ukončit reakci a nechat tak vzniknout vodivou formu polyanilinu (emeraldin).



Obrázek 15 Rezná nit před a po procesu polymerizace

8. Produkt je stálý, proto bylo možné ho nechat usušit na vzduchu.

5.1.2 Pracovní postup při výrobě 1 litru polypyrrolu a pokrytí

skleněných filtrů

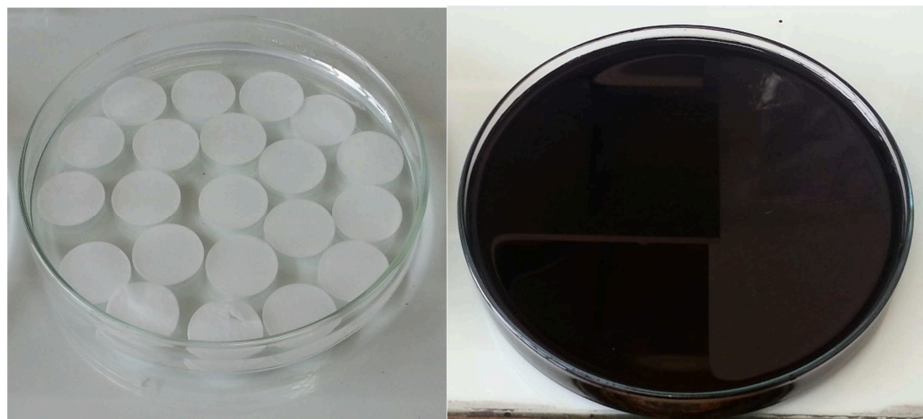
Pro výrobu 1 litru polypyrrolu jsem zvolila také postup podle pana doktora Jaroslava Stejskala a je složený z následujících kroků:

1. V 500 ml destilované vody rozpustíme 14,4g pyrrollu (uchováván ve 2°C – 8°C).
2. V 500 ml destilované vody rozpustíme 135,2g chloridu železitého.



Obrázek 16 Vlevo chlorid železitý, vpravo pyrrol

3. Opět jsem rovnoměrně vyskládala skleněné filtry do připravených Petriho misek a zalila nejprve reakční směsí s pyrrolem a nechala 5 – 10 minut působit, zatím byla látka čirá a filtry se daly lehce zpět rozmístit na původní postavení.



Obrázek 17 Před a po přidání chloridu železitého

4. Poté se směs zalila druhou reakční směsí s chloridem železitým, u tohoto bodu se směs téměř okamžitě zabarvila do tmavé barvy, tudíž se některé filtry přilepily k sobě. V tomto kroku, by se mělo se směsí otáčet, míchat a převracet, ovšem v našem případě za účelem rovnoměrného rozmístění filtrů jsem od toho kroku ustoupila a nemělo by to mít v závěru negativní účinky.
5. Směs působila 24 hodin, následovala příprava 0,2 molární kyseliny chlorovodíkové a vymývání filtrů až do čistého roztoku. Tato fáze byla velmi náročná, protože filtry byly spojeny hustou kašovitou směsí, která se špatně vymývala.



Obrázek 18 Kašovitá směs polypyrrolu

6. Produkt je stálý, proto bylo možné ho nechat usušit na vzduchu.



Obrázek 19 Sušení výsledných produktů

Sušení výsledných produktů za normálních laboratorních podmínek na vzduchu.

5.2 Výroba vodivého trika

5.2.1 Realizační pokus číslo 1

Napolymerovanou režnou nit zmíněnou v přechozích kapitolách bylo nejprve nutno v určitých částech (konec a začátek) odizolovat silikonovým lakem ve spreji, kdy začátek a konec (cca 8 cm) jsem zalepila lepicí páskou a střední část nasprejovala a poté nechala 24 hodin na vzduchu zaschnout. Následovalo všítí skleněných filtrů pomocí režné nitě na vyznačené EKG svody a volné vyvedení konců nitě. Vyznačení EKG svodů bylo realizováno jako klasické rozložení elektrod pro tří-svodové EKG pro první pokusy. Končetinové svody jsem přiblížila k hrudníku a to: 2 svody pro horní končetiny do oblasti pod klíční kost a 1 svod pro dolní končetinu cca 10 cm nad kost kyčelní, který jsem nakonec realizovala pomocí referenční klešťové elektrody. Zde se objevuje první problém a to s napolymerovanou režnou nití, která se po procesu polymerace stala velice křehkou a pro šití téměř nepoužitelnou.



Obrázek 20 Zalepená napolymerovaná režná nit



Obrázek 21 Rozmístěné svody EKG a všité napolymerované filtry

Nejspíše díky setření vodivé vrstvy z napolymerované rezné nitě vlivem lepicí pásky, konce nitě nebyly vodivé a tudíž nebyl zaznamenán EKG signál.

5.2.2 Realizační pokus číslo 2

Pro tento pokus jsem si nejprve přišíla napolymerovanou reznou nití PANI elektrodu (skleněný filtr) a konce rezné nitě vyvedla z trika. Na konce rezné nitě jsem dala kousek papíru a poté teprve obalila lepicí páskou, aby se konce nitě neizolovaly. To stejné i pro PANI elektrody, které jsem zalepila páskou spolu s papírem. Poté jsem opět nastříkala střední část silikonovým lakem a nechala 24 hodin zaschnout.



Obrázek 22 Zalepená PANI elektroda

Nyní jsou konce nitě elektricky vodivé, ale v interakci s PANI elektrodou nikoliv. Přičemž jestliže provedu měření na každé součásti čili rezné niti a PANI elektrodě zvlášť, součásti vodivé jsou. Při snímání EKG signálu se objeví pouze rovná čára (izoelektrická linie).

5.2.3 Realizační pokus číslo 3

Protože se nedařilo úspěšně spojit vodivou reznou nit spolu s PANI elektrodou, přišla jsem k pokusu, kdy jsem reznou nit nestříkala silikonovým lakem a pouze ji přišila na PANI elektrodu. Ovšem i tento pokus byl neúspěšný a vykreslila se pouze izoelektrická linie.



Obrázek 23 Všíť nenasilikonované nitě

Tím, že dosavadní pokusy byly neúspěšné (jak s PANI, tak s PPY) a počáteční vize příliš optimistické, bylo nutné zjistit, zda PANI a PPY elektroda sama o sobě je schopna zprostředkovat vodivé spojení s tělem.

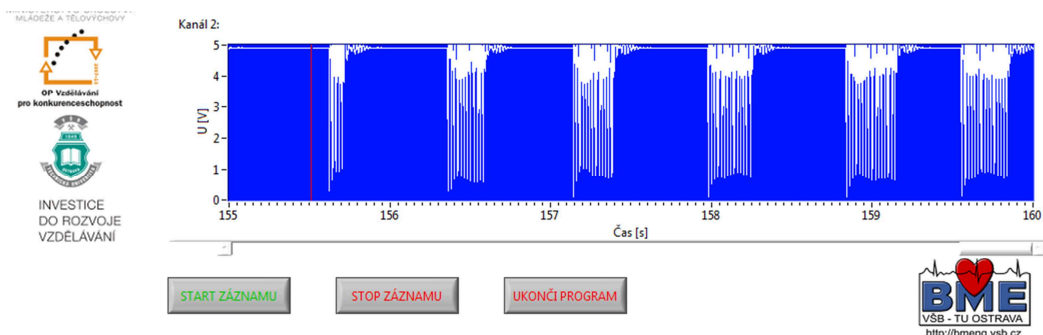
5.2.4 Realizační pokus číslo 4

Protože jsem chtěla zjistit, jestli je PANI či PPY elektroda schopna zprostředkovat vodivé spojení mezi danou elektrodou a tělem, použila jsem místo rezné nitě měděný neizolovaný drátek. Přilepila jsem jej přímo na elektrodu a posléze přímo na tělo. Konec drátku jsem provlékla do svorky pro snímání EKG signálu.



Obrázek 24 Přilepená PANI elektroda s měděným drátkem

Tímto pokusem se mi podařilo naměřit neurčitý signál, který ovšem nebyl správný, protože jsem přilepila měděný drátek na tělo a tím snímala biopotenciál pomocí měděného drátku a ne pomocí elektrody, proto nelze tento signál považovat za správný.

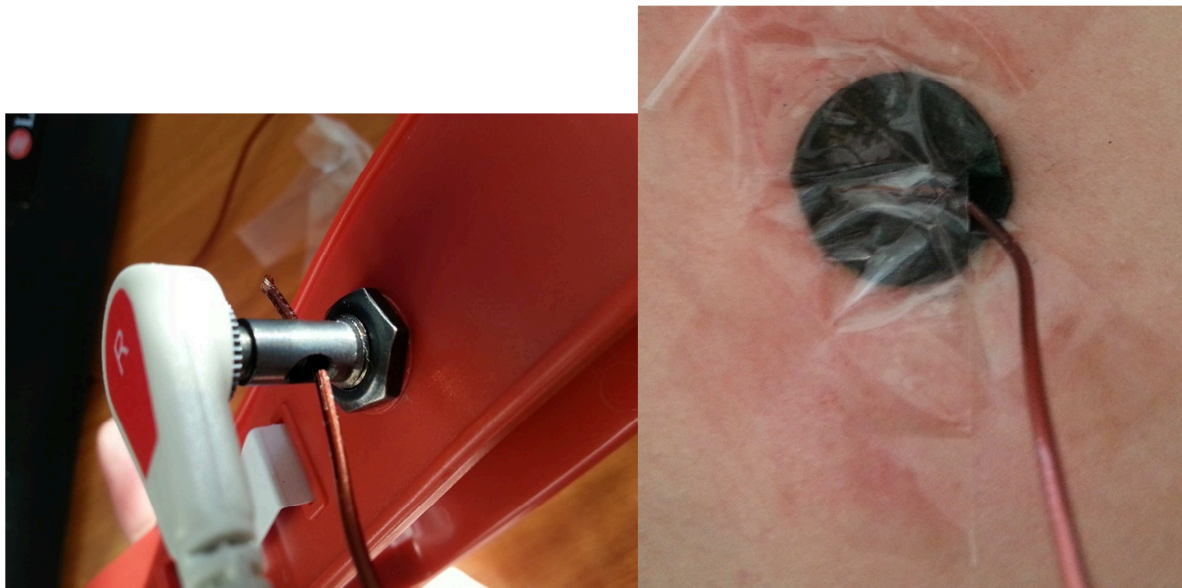


Obrázek 25 Signál EKG s měděným drátkem

Na obrázku můžeme vidět pouze šum, který vznikl v době, kdy jsem přitlačila na měděný drátek s elektrodou.

5.2.5 Realizační pokus číslo 5

V tomto měření jsem minulý pokus opravila. Měděný drátek jsem vyvedla kolmo od elektrody tak, aby se drátek nedostal do kontaktu s pokožkou a opět provlékla do svorky pro snímání EKG signálu.

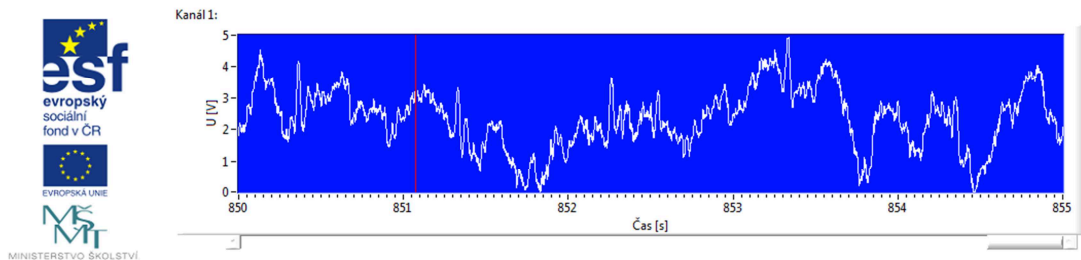


Obrázek 26 Provlékнутý drátek do svorky pro EKG signál spolu s vyvedeným drátkem z elektrody přilepené na tělo

Tento pokus byl také neúspěšný a tím se potvrzuje předpoklad, že PANI elektroda není možná pro snímání EKG, vykreslila se opět pouze izoelektrická linie.

5.2.6 Realizační pokus číslo 6

Protože napolymerované skleněné filtry nebylo možné použít pro snímání EKG signálu, přistoupila jsem k pokusům se 100 % bavlněnou látkou, kterou jsem polymerovala spolu se skleněnými filtry a reznou nití. První krok s polymerovanou látkou bylo pouhé přiložení cvoků pro snímání EKG signálu na látku a posléze přiložení na tělo dle tří svodového EKG, kdy jako referenční elektrodu jsem ponechala klasickou klešťovou na dolní končetině a pomocí napolymerované látky měřila pouze dva svody pod kostmi klíčními.



Obrázek 27 EKG signál pomocí napolymerované látky

Díky této metodě se mi podařilo změřit signál, ale i zde se jedná o silně zašuměný signál, který se nepodobá správnému EKG signálu. Byl to ovšem alespoň malý pokrok v tom, že o látce lze uvažovat jako o vodivé součásti pro snímání EKG signálu. Signál se stal viditelným až po velice silném přitlačení cvoků s látkou na svody EKG.

U tohoto pokusu jsem opět měření zkoušela jak s látkou pokrytou polyanilinem, tak s látkou pokrytou polypyrrolem. Látka s polypyrrolem nevykazovala signál (izoelektrickou linii), proto jsem s dalšími pokusy pokračovala pouze s látkou pokrytou polyanilinem.

5.2.7 Realizační pokus číslo 7

Navázala jsem na předchozí pokus s polymerovanou látkou a vyzkoušela přenést EKG signál pomocí neizolovaného měděného drátku jako u PANI elektrod, kdy jsem látku přilepila pomocí papírové lepicí pásky k tělu a vyvedla měděný drátek do svorky pro snímání EKG signálu. U tohoto kroku jsem se opět vrátila zpět díky neúspěšnému pokusu.

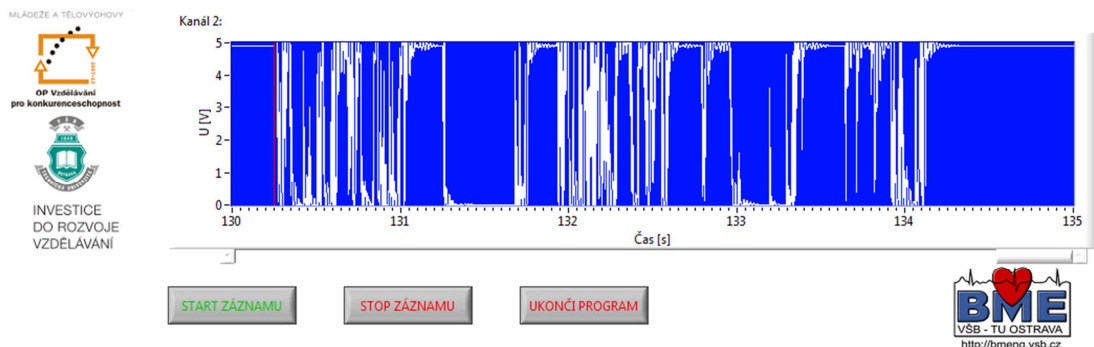
5.2.8 Realizační pokus číslo 8

Dalším pokusem, kdy jsem se snažila přenést přes polymerovanou látku signál EKG je pomocí "krokodýlků" a izolovaného měděného drátku. Napolymerovanou látku jsem přilepila papírovou lepicí páskou k tělu a poté na látku připla krokodýlky, do kterých byl vsunut jeden konec měděného drátku. Druhý konec se posléze vložil do svorky pro snímání EKG signálu.



Obrázek 28 "Krokodýlek" spolu s polyanilinovou látkou

Podalil se naměřit signál, který se ovšem nepodobá signálu EKG, ale jedná se zřejmě o artefakty vzniklé mezi přístrojem a měřenou osobou (špatné odmaštění kůže, pocení atd.).

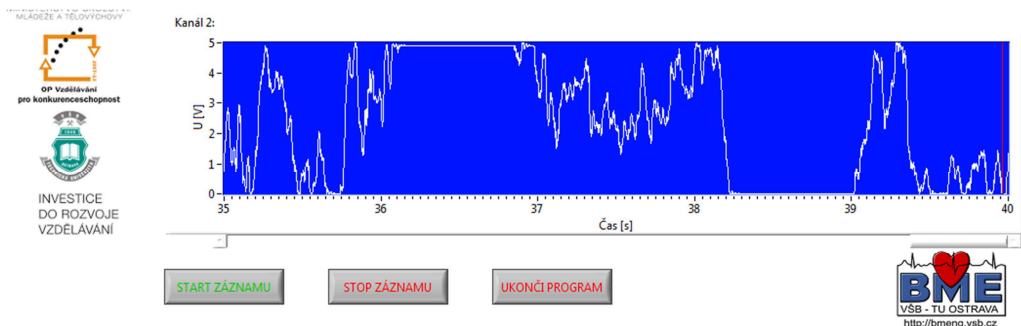


Obrázek 29 EKG signál pomocí "krokodýlků" s polyanilinovou látkou

Podařilo se naměřit alespoň signál s artefakty, čímž se potvrzuje určitý přenos signálu a pro další pokusná měření lze říci, že látku pokrytou polyanilinem je možné použít.

5.2.9 Realizační pokus číslo 9

Protože pokusy s polymerovanou látkou působily důvěřivě a prokazatelně signál procházel, směřovala jsem své další kroky tímto směrem. I když jsem se chtěla posunout směrem od vodivého média jako je voda, vodivý gel apod. nezbylo mi nic jiného než se k této variantě zpět přiklonit. Proto jsem jako první zkusila lehce navlhčit pokožku pro horní končetinové svody plus referenční elektrodu a přiložit napolymerovanou látku s cvoky pro snímání EKG signálu.

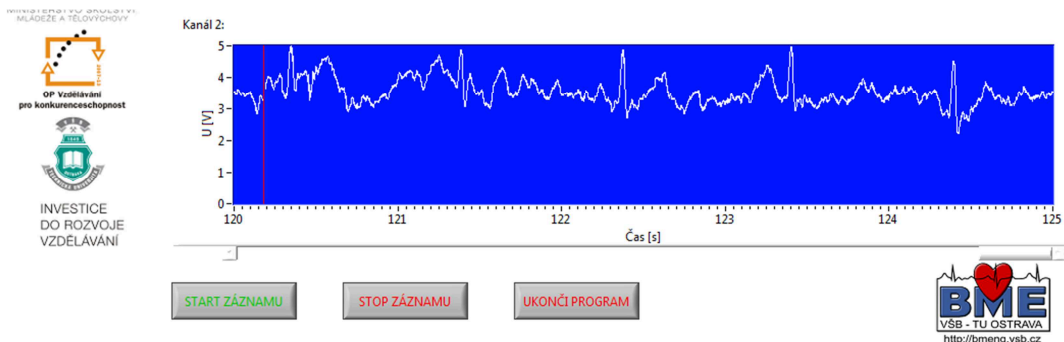


Obrázek 30 EKG signál pomocí napolymerované látky a vody

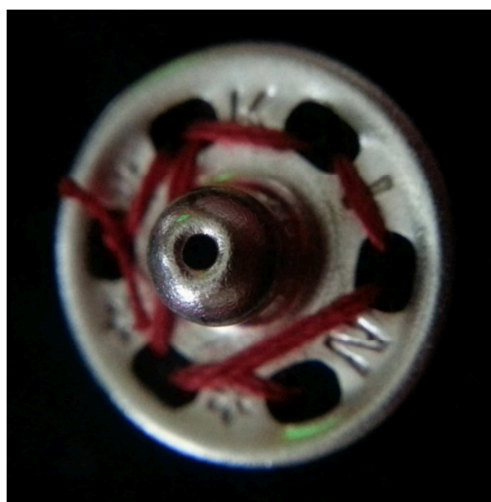
I po přitlačení na svody se nevykreslil čistý EKG signál, ale podařilo se snímat již signál lehce připomínající signál EKG, který dal impuls k dalším pokusům spolu s lehkým navlhčením pokožky.

5.2.10 Realizační pokus číslo 10

Dalším možným řešením a zároveň odolným uchycením se zdá tzv. patentka, kterou jsem klasickou nití přišila k napolymerované látce a poté připla do cvoku pro snímání EKG signálu. Bez přidání vody na kůži jsem naměřila pouze izoelektrickou linii. Ale po navlhčení kůže se vykreslil signál již se velice blížící signálu EKG, zřejmě díky zajištění dobrého spojení pomocí vody, napolymerované látky a kovové patentky.



Obrázek 31 EKG signál pomocí patentky a navlhčení kůže

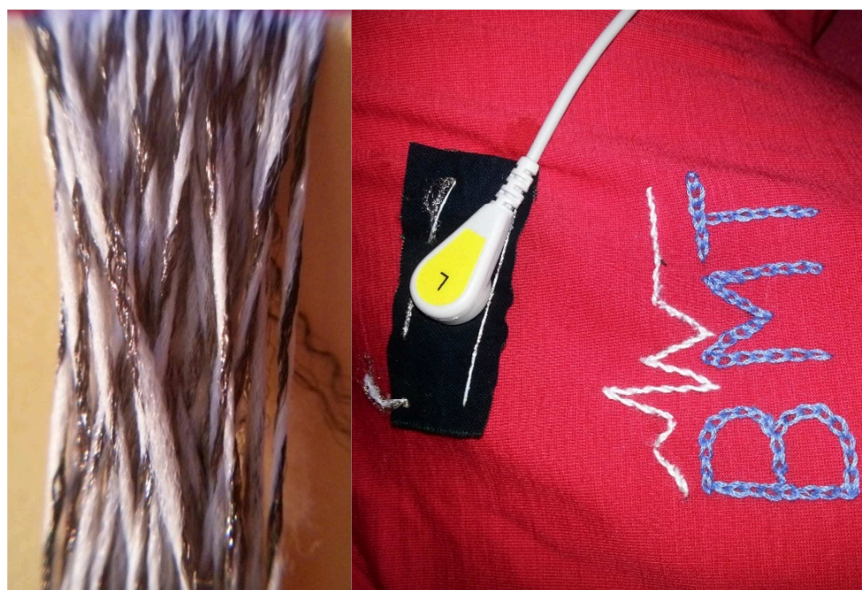


Obrázek 32 Přišitá patentka klasickou nití

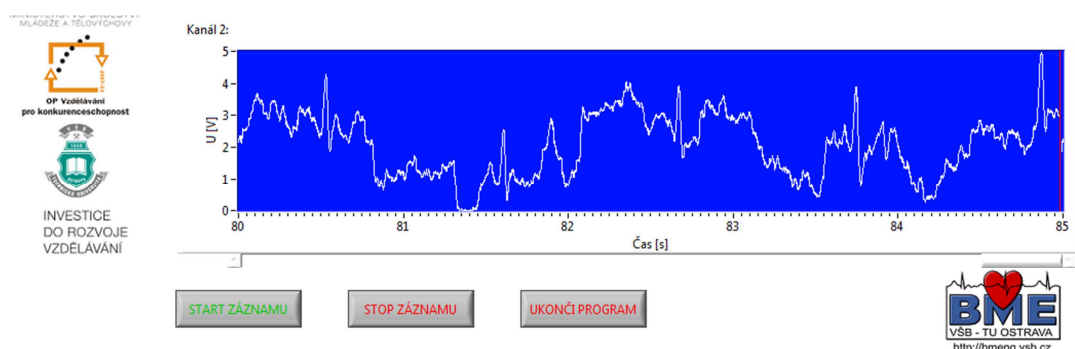
Tento pokus už znamenal větší pokrok v celé realizaci a bylo třeba uvažovat o aplikování napolymerované látky s patentkou na triko. K dispozici jsem dostala nit se stříbrnými vlákny, která by měla fungovat na stejném principu jako napolymerovaná rezná nit s tím rozdílem, že by měla být odolnější a lépe aplikovatelná.

5.2.11 Realizační pokus číslo 11

Nyní bylo v řešení, jak tento způsob přenést na triko, proto jsem vzala dva stejné kousky napolymerované látky, vyznačila si místa pro snímání EKG signálu z horních končetin a přišila jeden kousek látky z vnější strany (s patentkou) a druhý kousek z vnitřní strany k sobě. Pro sešití těchto dvou kousků jsem zvolila nit se stříbrnými vlákny, která mi byla zapůjčena z výzkumu Žilinského projektu.



Obrázek 33 Vlevo nit se stříbrnými vlákny, vpravo realizace snímání EKG signálu



Obrázek 34 EKG signál s přišitou látkou a patentkami na triko

Opět se opakovala stejná situace, kdy před navlhčením nebyl naměřen žádný signál, ale po navlhčení se již signál EKG snímal, i když částečně zašuměný.

Celá realizační část neprobíhala zcela podle mých představ. Idealistické počáteční představy o vodivém spojení skleněného filtru pomocí napolymerované režné nitě vystřídaly starší realizační pokusy s navlhčením pokožky, čímž jsem se vzdálila představě o vodivém spojení bez elektrovodivých gelů apod. I přesto, že v pracích od paní Kamily Walkové a pana Miroslava Rosůlka, které se zabývaly problematikou vodivých polymerů, se jednalo o první realizační pokusy s vodivými polymery, vždy se jednalo o velice kvalitní spojení elektroda – kůže. Signál EKG se přenášel bez větších problémů, čímž nastává otázka, proč v mé práci byly největším problémem právě vodivé polymery. Je možné, že mohla nastat chyba již v průběhu procesu polymerace a proto nedošlo ke správnému vodivému spojení mezi elektrodou a kůží a nemohu opomenout přilnavost materiálu, který dostatečně nepřiléhá na tělo.

6 Závěr

Úkolem této bakalářské práce byla realizace snímání EKG za použití vodivých polymerů. Kdy na začátku se jako vhodná alternativa stala představa o nanesení vodivého polymeru na skleněný filtr a režnou nit, která zajistí vodivé spojení mezi tělem a modulem pro měření EKG. Pro neúspěchy během realizační části s křehkou režnou nití a skleněným filtrem bylo přistoupeno k řešení s napolymerovano 100% bavlněnou látkou a nití se stříbrnými vlákny. Tyto pokusy již měly relativně pozitivní výsledky, a proto s nimi lze v budoucnu počítat.

Nelze popřít, že vodivé polymery jsou pro společnost velice perspektivní z hlediska komfortu pacienta, tak i personálu, který by se vyhnul klasickým nalepovacím elektrodám, kdy vodivé spojení zprostředkovává elektrovodivý gel či pasta. V realizaci pomocí trika se jedná především o dlouhodobé snímání EKG signálu, kdy jde o pohodlí pacienta.

I když má práce byla úspěšná jen z části, nemohu opomenout budoucí inovaci v tomto odvětví, kdy bych se chtěla více zaměřit na vodivé spojení pomocí vodivých polymerů a média. Konce svodů by se sváděly buď tří svodovým, nebo dvanácti svodovým EKG do jednoho místa v triku (dolní lem trika), který by signál nepřenášel již pomocí sondy pro snímání EKG, ale pomocí modulu s přenosem signálu přes WIFI, čímž by se celá procedura dlouhodobého snímání EKG signálu radikálně zpříjemnila jak pro pacienta, tak pro lékaře, který by měl záznam EKG snímající osoby kdykoliv k dispozici a pacient by mohl docházet na pravidelné kontroly k lékaři v delších časových intervalech.

7 Použitá literatura

- [1] PENHAKER, Marek. Lékařské diagnostické přístroje: učební texty. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 320 s. ISBN 80-248-0751-3.
- [2] Elektrokardiografie – WikiSkripta. In: Wikiskripta.eu [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: www.wikiskripta.eu/index.php/Elektrokardiografie
- [3] HORKÝ, Drahomír. Mikroskopická anatomie. 3., přeprac. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2011, 203 s. ISBN 978-802-1055-506.
- [4] MERKUNOVÁ, Alena a Miroslav OREL. Anatomie a fyziologie člověka: pro humanitní obory. Vyd. 1. Praha: Grada, 2008, 302 s. Psyché (Grada). ISBN 978-802-4715-216.
- [5] Polyanilin: Vodivý polymer [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://archiv.otevrena-veda.cz/users/Image/default/C1Kurzy/NH2006pdf/16.pdf>
- [6] Polypyrrole [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polypyrrole>
- [7] Polypyrrol [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/archiv/2001/08-PDF/484-492.pdf>
- [8] Vodivé polymery [online]. [cit. 2015-01-19] Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Conductive-polymers.PNG#mediaviewer/File:Conductive-polymers.PNG>
- [9] Formy polyanilinu [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: http://www.imc.cas.cz/cz/umch/o_conduct.htm
- [10] Struktura srdce [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://1.bp.blogspot.com/-8jBjzqp-wnM/T4Mv1ualdMI/AAAAAAAAACO/hqJ7WOyQXP8/s1600/lidsk%C3%A9+srdce.jpg>
- [11] Převodní systém srdeční [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://ajurvedske-lazne.cz/sites/default/files/obrazky/srdceob%C4%9Bh.png>
- [12] EKG signál [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: http://www.eamos.cz/amos/kbf/img_upload/kbf_1526/obrazy/obr_015.jpg

- [13] ADAMEC, Ondřej. *Příručka pro kompletaci výukové sady biomedicínského inženýrství*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011, 88 s. ISBN 978-80-248-2396-6.
- [14] STEJSKAL, Jaroslav, Olga E BOGOMOLOVA, Natalia V BLINOVA, Miroslava TRCHOVÁ, Ivana ŠEDĚNKOVÁ, Jan PROKEŠ a Irina SAPURINA. Mixed electron and proton conductivity of polyaniline films in aqueous solutions of acids: beyond the 1000 S cm⁻¹ limit. *Polymer International*. 2009, vol. 58, issue 8, s. 872-879. DOI: 10.1002/pi.2605. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/pi.2605>
- [15] http://www.eamos.cz/amos/kbf/img_upload/kbf_1526/obrazy/obr_015.jpg
- [16] GANONG, William F. *Přehled lékařské fyziologie: dvacáté vydání*. Praha: Galén, c2005, xx, 890 s. ISBN 80-7262-311-7.
- [17] [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Popis_EKG
- [18] [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.merci.cz/zbozi/z1480000100025/>
- [19] [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://eportal.alien.cz/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=213220&lang=cs
- [20] [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Elektrokardiografie>
- [21] [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://pictures.doccheck.com/com/photo/23486-augmented-limb-leads>
- [22] [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polypyrrole>