



## **Středoškolská technika 2019**

**Setkání a prezentace středoškolských studentů na ČVUT**

**Realizace jednoduchého EKG**

**Marcel Opelka**

Gymnázium Zikmunda Wintra, Žižkovo náměstí 183,  
26901 Rakovník

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor č. 06: Zdravotnictví**

**Realizace jednoduchého EKG**

**Simple ECG implementation**

**Autor: Marcel Opelka**

**Škola: Gymnázium Zikmunda Wintra, Žižkovo náměstí 183,  
26901 Rakovník**

**Kraj: Středočeský kraj**

**Konzultant: Mgr.Vojtěch Delong**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Rakovníku dne .....

Marcel Opelka

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce, panu Mgr. Vojtěchu Delongovi, za pomoc při psaní soutěžní práce i měřící soustavy. Bez jeho rad, postřehů a doporučení bych svoji soutěžní práci nikdy nedokončil. Měl se mnou trpělivost i ve chvílích, kdy už jsem to sám se sebou vzdal.

## Obsah

1 Úvod.....	5
2 Srdce.....	6
2.1 Činnost srdce.....	6
2.2 Elektrická srdeční aktivita.....	7
3 Popis EKG.....	8
3.1 Elektrický princip funkce EKG.....	8
3.2 Popis úseků EKG.....	8
4 Svody EKG.....	9
4.1 Einthovenův trojúhelník.....	9
4.2 Hrudní svody podle Wilsona.....	10
4.3 Svody podle Goldberga.....	11
5 Návrh jednoduchého obvodu.....	12
5.1 Přehled součástek v měřicí soustavě.....	12
6 Průběh měření.....	16
7 Závěr.....	17

## **Anotace**

V této práci se zabývám sestavením jednoduchého přístroje EKG z dostupných finančních zdrojů. Cílem mé práce je adaptace a realizace jednoduchého elektrokardiogramu, zároveň také provedení měření na osobě. Naměřená data poté vyhodnotím. Výsledkem mého měření by měl být standardní elektrokardiogram. Věnuji se také studiu EKG používaného běžně v nemocnicích. Díky tomu mohu realizovat svůj obvod v praxi.

## **Klíčová slova**

EKG, měření, srdce, aktivita

## **Abstract**

In this work I handle to make a simple ECG from the available financial resources. The aim of this work is adaption and implementation of simply ECg, I will perform a measurement on the person too. I will evaluate the measurement. As a result of my measurement should be a standard ECG. I study also ECG, which is normally used in hospitals. Thanks to it I can implement my circuit in practise.

## **Keywords**

ECG, measure, hearth, activity

# 1 Úvod

Elektrokardiogram (EKG) se používá v kardiologii pro diagnostiku kardiovaskulárních chorob. Snímá elektrickou srdeční aktivitu a umožňuje tak posouzení některých aspektů zdravotního stavu pacienta. Poprvé jsem se s EKG setkal při sportovní prohlídce, kdy mělo vyšetření posoudit moji fyzickou zdatnost. Elektrokardiogram mě velmi zaujal, proto jsem se rozhodl napsat na toto téma svoji soutěžní práci.

V rámci své práce se zabývám sestavením jednoduchého přístroje EKG připojeného na osciloskop, se kterým bych mohl provést měření na osobě. Z naměřených hodnot elektrické srdeční aktivity při srdečním cyklu vytvořím elektrokardiograf. Zároveň se soustředím na studium principu a funkce elektrokardiogramu a činnosti srdce, abych se mohl pokusit realizovat tento jednoduchý obvod v praxi. Vzhledem k nespájeným součástkám obvodu se pokusím o co nejnižší rušení signálu, aby byl graf odpovídající.

Cílem této práce je adaptace a realizace jednoduchého přístroje EKG s bipolárními svody, provedení měření a jeho následné zhodnocení. Přístroje používané lékaři v nemocnicích jsou finančně velmi nákladné. Rozhodl jsem se sestavit elektrokardiogram za minimální finanční náklady ve školních podmínkách tak, aby byl schopen zaznamenat rozdíly potenciálů napětí vyvolané činností lidského srdce a následně okamžitě zakreslit hodnoty napětí v závislosti na čase do grafu. Očekávám, že přesnost grafu neobstojí ve srovnání s profesionálními lékařskými přístroji, ale předpokládám, že výsledná funkce bude relevantní.

Můj elektrokardiogram tak nebude schopen přesné diagnostiky jako ve zdravotnictví, avšak funguje na stejném principu jako EKG používané lékaři k odhalení kardiovaskulárních onemocnění.

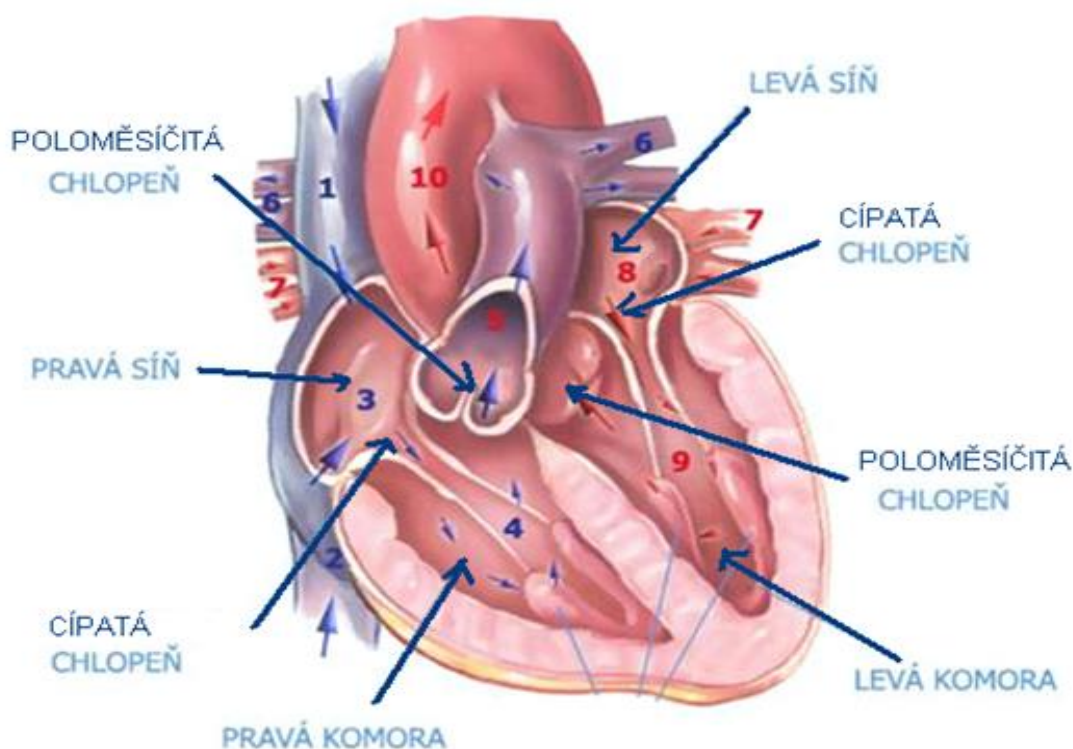
## 2 Srdce

### 2.1 Srdeční činnost

Srdce je dutý, příčně pruhovaný sval uložený v osrdečníku (perikardu). Tvoří ho svalové buňky, které nazýváme myofibrily. Jednotlivé buňky jsou navzájem morfologicky i funkčně propojeny mezibuněčnými spojkami, čímž se srdce liší od klasického kosterního svalu. Srdce vypuzuje krev do velkého tělního oběhu srdečnicí a do malého plicního oběhu plicními tepnami. Pohyb krve do tepen umožňují jednotlivé srdeční stahy. [9]

Srdeční stah začíná podrážděním v centru automacie v sinoatriálním (SA) uzlu. Krátce nato dojde ke stahu síní, kterému říkáme systola síní a doplnění komor krví. Po krátké přestávce se podráždění přenáší z pravé síně do komor a dojde tak k systole komor, odkud je krev vypuzena do artérií. Potom se komorové svaly uvolní a nastává diastola, při které se srdce plní krví z horní a dolní duté žíly. Systola trvá přibližně 0,3 s a diastola 0,5 s, uvažujeme-li srdeční frekvenci 75 tepů za minutu. Při srdečním cyklu je velmi důležitá činnost chlopní. Cípaté chlopně zabraňují návratu krve z komor do síní. Na začátku aorty a plicní tepny se nachází poloměsíčitá chlopně, které se otevřou vlivem srdečního tlaku a po uzavření zabraňují zpětnému toku krve do srdce. Celý srdeční cyklus se opakuje přibližně 70 krát za minutu. [9]

Velký krevní oběh začíná v levé srdeční komoře, odkud je krev rozváděna do celého těla. Odkysličená krev se žilami vrací do pravé síně. Malý plicní oběh začíná v pravé srdeční komoře. Odkysličená krev odtud míří do plic a následně se okysličená krev vrací zpět do srdeční levé síně. [9]



Obr.1 – stavba srdce [10]



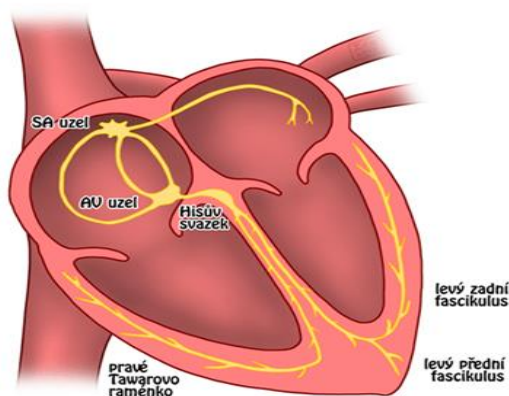
## 2.2 Elektrická srdeční aktivita

Lidské srdce je neustále pracující orgán oválného tvaru, který pomocí kontrakcí v pravidelném rytmu vyvolaných slabými elektrickými impulzy pumpuje krev do těla, čímž umožňuje průtok krve v cévách. Krev zajišťuje přenos dýchacích plynů a důležitých živin. Každou kontrakci lze změřit jako změnu elektrického potenciálu v určitém časovém úseku přiložením elektrod na kůži. Tyto změny pak představují EKG, jedná se vlastně o rozdíl elektrických potenciálů měřitelný na kůži lidského těla.

Zdravé srdce bije pravidelně 60-90 tepů za minutu a má sinusový rytmus. Od tohoto rytmu mohou existovat různé odchylky, srdeční tepová frekvence může být vyšší nebo naopak nižší. Při vyšší tepové frekvenci než 90 tepů za minutu mluvíme o tachykardii, nižší tepová frekvence než 60 tepů za minutu se nazývá bradykardie. Tyto změny tepové frekvence považujeme za normální, pokud jsou úměrné situaci. Například při fyzické zátěži člověka je běžná daleko vyšší tepová frekvence, naopak při relaxaci nebo spánku může být tepová frekvence nižší. Zda se jedná o fyziologickou poruchu srdečního rytmu tak můžeme určit, pokud se člověk nachází v naprostém klidu, kdy se jeho tepová frekvence ustálí. Tachykardie a bradykardie se mohou stát vodítkem k odhalení případného kardiovaskulárního onemocnění srdce.[2]

Sinusový rytmus je základní srdeční rytmus, kterým srdce tepe za normálních okolností. Vzruch pochází ze sinoatriálního (SA) uzlu, jehož impulz se dále šíří svalovinou síní do atrioventrikulárního (AV) uzlu. AV uzel převádí vzruch se zpomalením dále do srdeční komory. AV uzel může dokonce při výpadku sinusového uzlu převzít iniciativu tvorby vzruchu. V takovém případě se nejčastěji jedná o srdeční frekvenci 40-60 tepů za minutu. Potom se vzruch šíří přes Hisův svazek, který se dělí na levé a pravé Tawarovo raménko. Poměrně časně se levé Tawarovo raménko rozděluje na přední a zadní fascikl. Tento cyklus se nazývá převodní systém srdce a je znázorněn na obrázku 1. [1]

Junkční rytmus je srdeční rytmus, při němž vzruchy vznikají v AV uzlu. Podle frekvence rozlišujeme tzv. pasivní junkční rytmus (40-60 tepů za minutu) a aktivní junkční rytmus (nad 60 tepů za minutu). Při fibrilaci síní nastává vznik vzruchu kdekoliv v síních. Vzruchy jsou poté nepravidelně přenášeny do komor. Je charakteristická nepravidelnou srdeční akcí a nepřítomností P vlny v elektrokardiografu. [2]



Obr. 2 – převodní systém srdeční [3]

## 3 Popis EKG

### 3.1 Elektrický princip funkce EKG

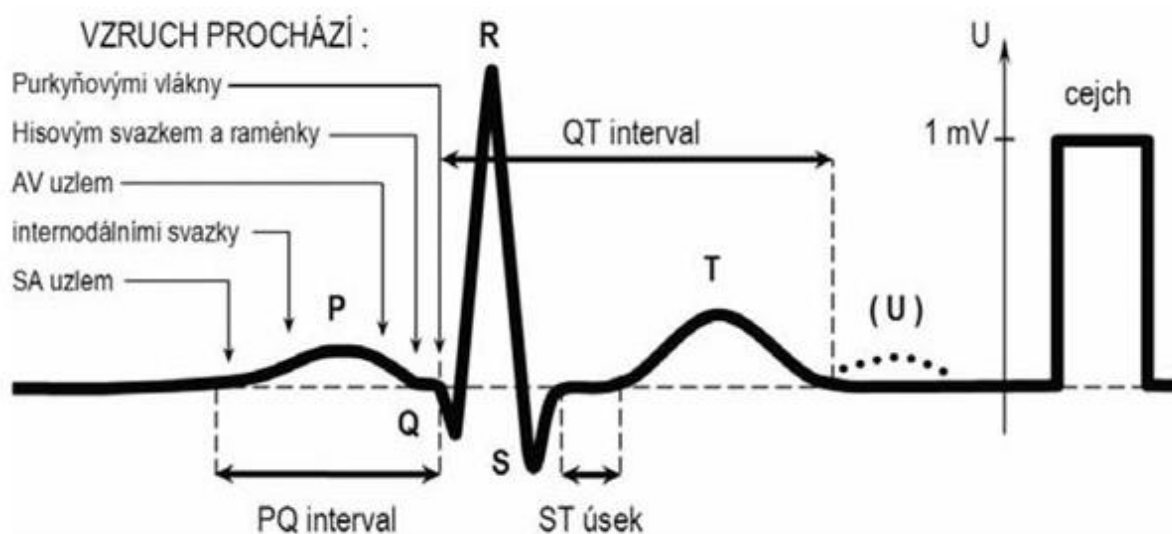
Lidské srdce svojí činností způsobuje slabé elektrické impulzy. V některých částech těla je signál elektrického potenciálu vyšší než v jiných. Srdeční buňky si jsou schopné poměrně efektivně předávat elektrický potenciál, který se dále šíří tělem. Na povrchu těla je elektrický potenciál měřitelný pomocí dostatečně citlivého měřicího přístroje. Tento potenciál se mění v závislosti na čase.

Abychom však byli schopni naměřit tento elektrický potenciál, potřebujeme na vhodná místa na těle umístit elektrody. Rozdíl mezi elektrickými potenciály napětí jsou schopné vnímat elektrické svody, které lze zapojit k elektrodám. Pro vyhodnocení dat můžeme využít např. minipočítač, který musí být napájen ze zdroje, jakým je nabíječka a připojen na zařízení, které dokáže zaznamenat výchylky elektrického potenciálu v závislosti na čase.

### 3.2 Popis úseků EKG

Srdeční cyklus je tvořen dvěma hlavními fázemi, systolou (stah svaloviny), která odpovídá depolarizaci a diastolou (uvolnění), což je z elektrického pohledu repolarizace.

Depolarizace sinoatriálního uzlu se na EKG nezobrazuje. Depolarizace srdečních síní se projeví na elektrokardiografu jako vlna P. Počáteční část vlny P odpovídá depolarizaci pravé síně, po které následuje depolarizace levé síně. Konec vlny P odpovídá maximální depolarizaci síní. [1] Repolarizace síní se projeví v době zápisu QRS komplexu, proto není na EKG viditelná. QRS komplex sestává ze tří kmitů, které označujeme jako Q, S a R. Kmit Q je negativní, neboť se nachází pod izoelektrickou linií a vždy předchází kmitu R. Ten se označuje jako pozitivní, protože se nachází nad izoelektrickou linií. Výchylka S je druhým negativním kmitem QRS komplexu, tentokrát následuje vždy po kmitu R. Konec QRS komplexu odpovídá úplné depolarizaci komor. [1] Hlavní podstatou úseku ST je repolarizace komor, nachází se mezi QRS komplexem a vlnou T. Vlna T znázorňuje také repolarizaci komor. Za normálních okolností je vlna T ve všech svodech pozitivní. Význam vlny U zůstává nejasný.[2]



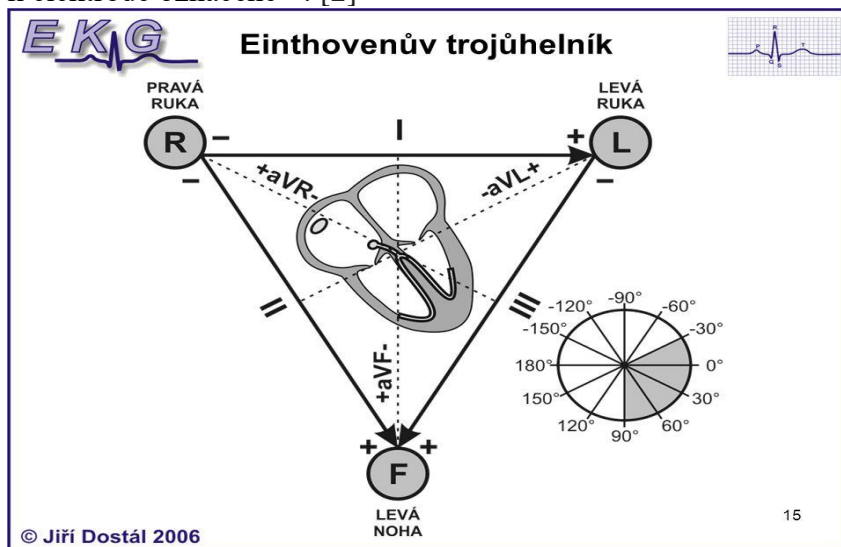
Obr.3 – základní popis křivky EKG [4]

Mezi důležité součásti křivky EKG patří i intervaly. PQ interval se nachází mezi vlnou P a QRS komplexem. Interval QT odpovídá časovému úseku mezi kmitem Q a koncem kmitu T. Maximální délka vlny P činí 100 ms, PQ interval trvá nejvýše 200 ms a QRS komplex disponuje délkou maximálně 100 ms. Tyto hodnoty odpovídají zdravému srdci. Délka intervalu QT závisí na aktuální tepové frekvenci srdce. [1]

## 4 Svody EKG

### 4.1 Einthovenův trojúhelník

Jedná se o hypotetický trojúhelník, jehož vrcholy jsou tvořeny elektrokardiografickými svody připojenými na levém zápěstí, pravém zápěstí a levé noze, tj. aVL, aVR, aVF. Teoreticky mají jednotlivé strany pomyslného trojúhelníka shodnou vzdálenost od srdce. [1] V tomto případě jsou svody bipolární se zápisem pozitivní výchylky v případě, že se depolarizace šíří k elektrodě označené +. [2]



Obr.4 – schéma zapojení Einthovenova trojúhelníku [5]

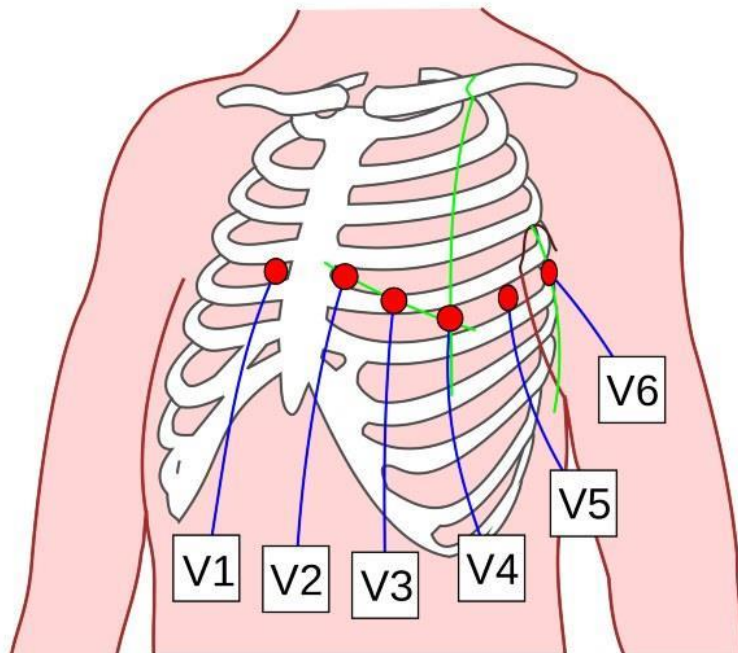
Pracuje na principu rozdílu potenciálů elektrického napětí mezi dvěma elektrodami. Pokud by došlo k prohození elektrod při měření, výsledné EKG by bylo chybné.

Proto je nutné bezpodmínečně znát barvy jednotlivých elektrod podle toho, na kterou končetinu patří. Na pravé zápěstí připojujeme červenou elektrodu, žlutou elektrodu na levé zápěstí a zelená elektroda patří na levou nohu. V některých případech se používá i černá elektroda na pravou nohu, která slouží jako uzemnění. [1]

### 4.2 Hrudní svody podle Wilsona

Měří elektrické potenciály napětí mezi diferentní a indiferentní elektrodou. Jedná se o šest unipolárních svodů (značíme V1-V6). Wilson k těmto šesti svodům připojil i tři bipolární svody. Bipolární svody tvoří uzavřený kruh, kde je podle Kirchhoffova zákona součet elektrických proudů, které protékají tímto okruhem roven nule. Při využití znalosti tohoto zákona Wilson propojil všechny tři bipolární svody do jednoho bodu, čímž vytvořil tzv. centrální svorku. Právě centrální svorka odpovídá elektrickému středu srdce a má nulové napětí. Aby vyloučil možné působení kožního odporu (nikde na těle neexistuje místo s nulovým napětím), který může být zdrojem nesprávného signálu, zvětšil odpor elektrod o 5000 ohmů. Srovnává se tedy napětí na bipolárních elektrodách a na centrální svorce.

Osa měřeného svodu směřuje od středu srdce k danému svodu. Problém takového zapojení je, že získáme pouze 58% hodnoty napětí ve srovnání s Goldbergerovou modifikací. [1]

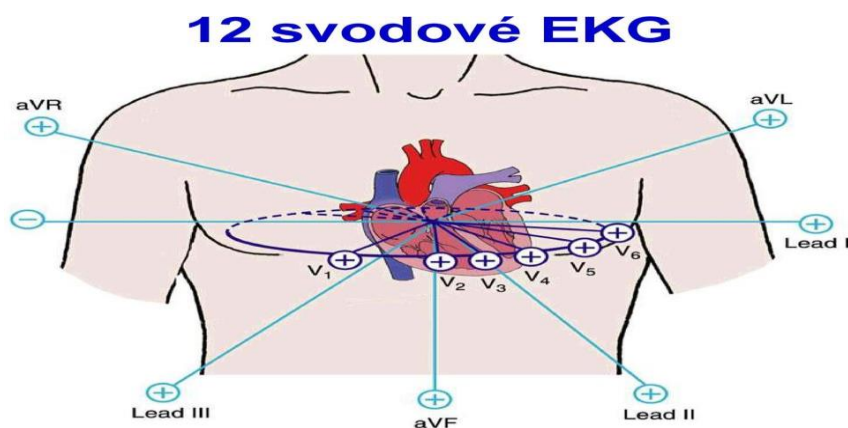


Obr.5 – schéma hrudních svodů podle Wilsona[6]

Na obrázku je vidět rozložení zapojení Wilsonových hrudních elektrod. Připojení elektrod musí být přesně dodrženo, jinak hrozí nesprávné

### 4.3 Svody podle Goldbergera

Wilsonovo zapojení modifikoval Goldberger, který odpojil od centrální svorky vždy jednu bipolární elektrodu a zároveň ze zbývajících dvou končetin odpojil vložený odpor. Taková centrální svorka už nemá nulové napětí a je posunuta od elektrického středu srdce mezi obě spojené končetiny. Z toho vyplývá, že končetinové svody podle Goldbergerovy modifikace mají vyšší amplitudu než u Wilsonova zapojení.[1] Touto změnou od Wilsonova zapojení získáme standardní dvanáctisvodové EKG (viz obr.6), které se používá i v současnosti.



Obr.6 – schéma dvanáctisvodového EKG

## 5 Návrh jednoduchého elektrokardiogramu

Přemýšlel jsem o návrhu obvodu tak, aby dokázal pracovat jako běžný elektrokardiograf. EKG měří výchylky rozdílů elektrických potenciálů v závislosti na čase. Tento účel splňuje osciloskop. Jedná se o elektronický přístroj, který dokáže zaznamenat změny měřeného elektrického potenciálu v určitém časovém úseku. To je tedy stejná vlastnost, jakou má elektrokardiogram. Elektrický potenciál na povrchu kůže měříme elektrodami, pro měřicí soustavu jsem si vybral Einthovenův trojúhelník, jelikož jsem plánoval měření se třemi bipolárními svody. Je také nejdostupnější a finančně nejméně náročný. K elektrodám je důležité mít čip, který se používá k získání co nejvíce jasného signálu ze svodů. Takový čip má analogový výstup. Pro převod analogového signálu na digitální slouží A/D převodník. V digitální podobě můžeme signál mnohem kvalitněji přenášet a zaznamenávat, je také vhodný pro zpracování údajů počítačem. Raspberry Pi funguje v měrné soustavě jako zdroj napájení, ale také zabraňuje přílišnému rušení při připojení k A/D převodníku. Signál z čipu je velmi slabý, proto je důležité, aby ho žádný jiný zdroj signálu nepoškodil. Proto bylo důležité obvod navrhnout tak, aby se předešlo rušení původního signálu, což by představovalo velký problém.

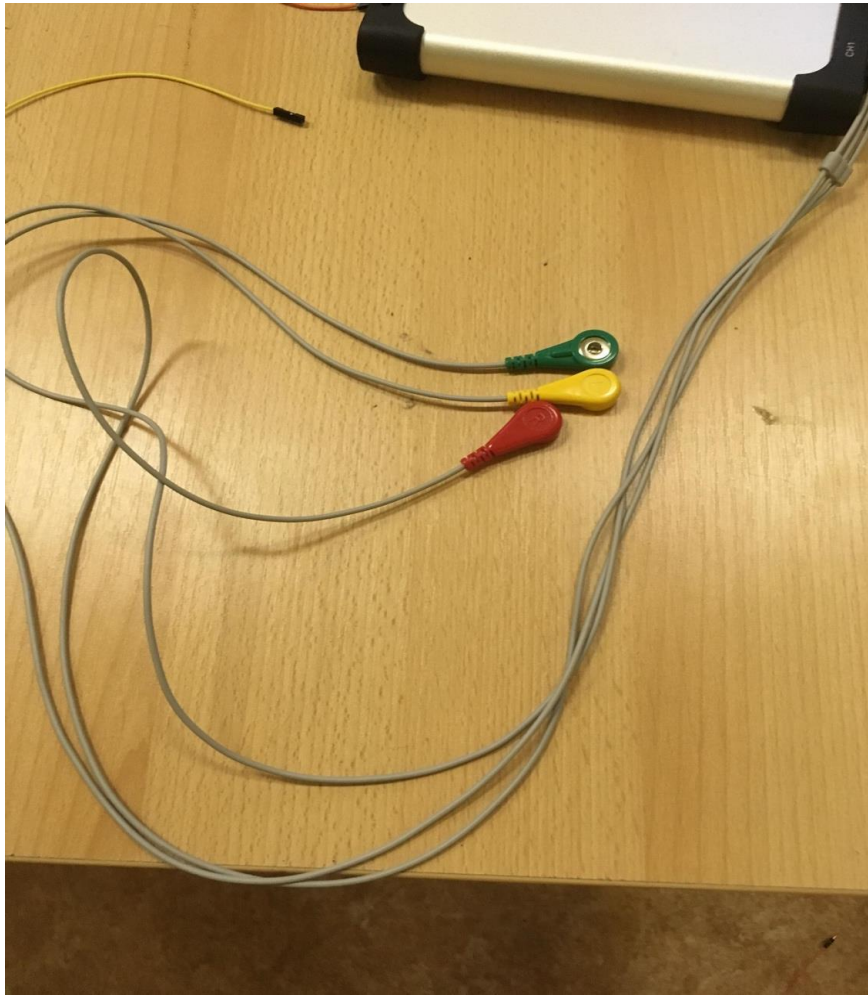
Cílem při zapojení měřicí soustavy tedy bylo zajistit co nejmenší rušení (poškození) původního signálu součástkami obvodu, zda signál nebude ovlivněn Raspberry připojeným jako napájecí zdroj a zda se signál nepoškodí při průchodu přes A/D převodník. Uzemnění je společné pro osciloskop, Raspberry Pi, čip i převodník, aby se co nejvíce zamezilo zmiňovanému rušení. Pokud by například měl osciloskop společné uzemnění s notebookem, ke kterému je připojen, měření by bylo neúspěšné, protože by se projevilo rušení pocházející z notebooku. Společné uzemnění bylo řešením, jak zamezit příliš velkému rušení ze strany součástek v měřicí soustavě

### 5.1 Přehled součástek v měřicí soustavě

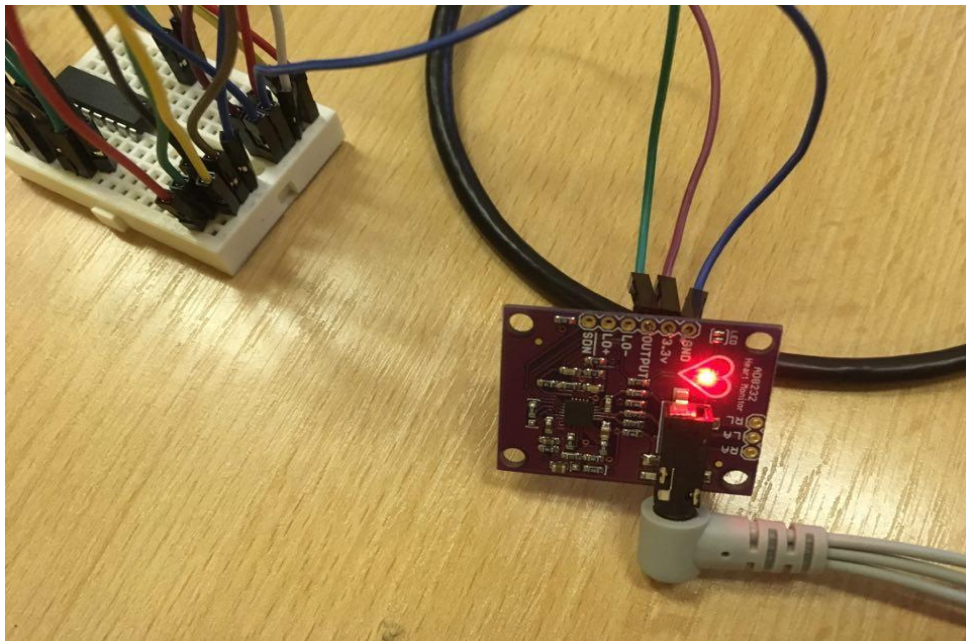
#### Senzory a čip AD 8232

Při měření připojíme na senzory jednorázové elektrody, kterými měříme elektrické srdeční impulzy. Čip AD 8232 je malý čip používaný pro měření elektrické srdeční aktivity. Tento čip dokáže zesílit signál ze svodů a odfiltruje ty nejhorší vlivy, které by bez něho byly na osciloskopu patrné. Uzemnění se nachází na destičce, ve které je připojen A/D převodník.





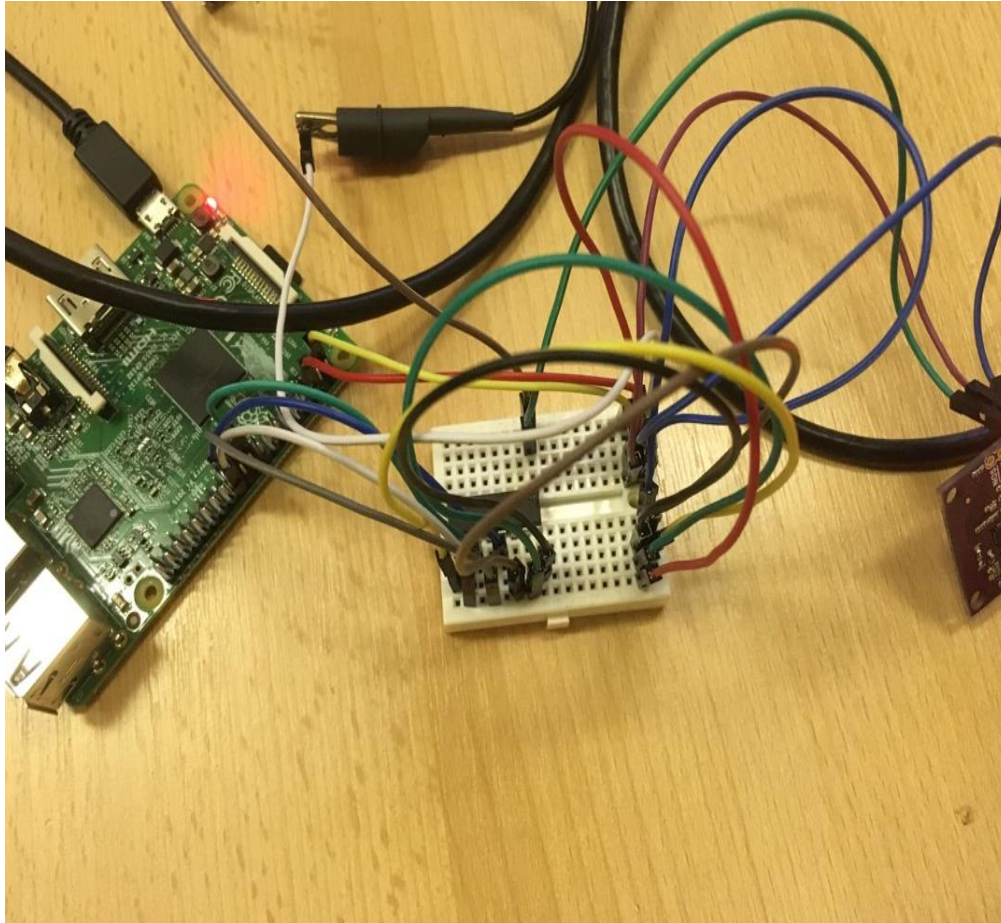
Obr.7 – senzory použité při měření



Obr.8 - čip AD 3282

## A/D převodník MCP 3208

A/D převodník MCP 3208 převede analogový signál z čipu AD 8232 na signál digitální. Tento převodník pracuje na základě protokolu SPI, což mu umožňuje komunikaci s Raspberry PI, neboť mají společný protokol komunikace. Uzemnění se opět nachází na destičce, podobně jako u ostatních komponentů.



Obr. 8 destička s uzemněním a A/D převodník MCP 3208



## Raspberry Pi model 3B

Raspberry Pi je malý jednodeskový počítač s deskou plošných spojů. V mém obvodu je Raspberry připojeno na micro USB portem na zdroj napájení. Na svoji velikost disponuje poměrně vysokou kapacitou paměti 512 MB, díky kabelu ethernet je také schopen se připojit k internetu, kromě klávesnice a myši k němu můžeme přes USB porty připojit i další komponenty. [8] V mé měřící soustavě pomáhá díky propojení s A/D převodníkem k zmírnění nežádoucího rušení původního signálu.



Obr. 9 – Raspberry Pi model 3B

## Digitální osciloskop

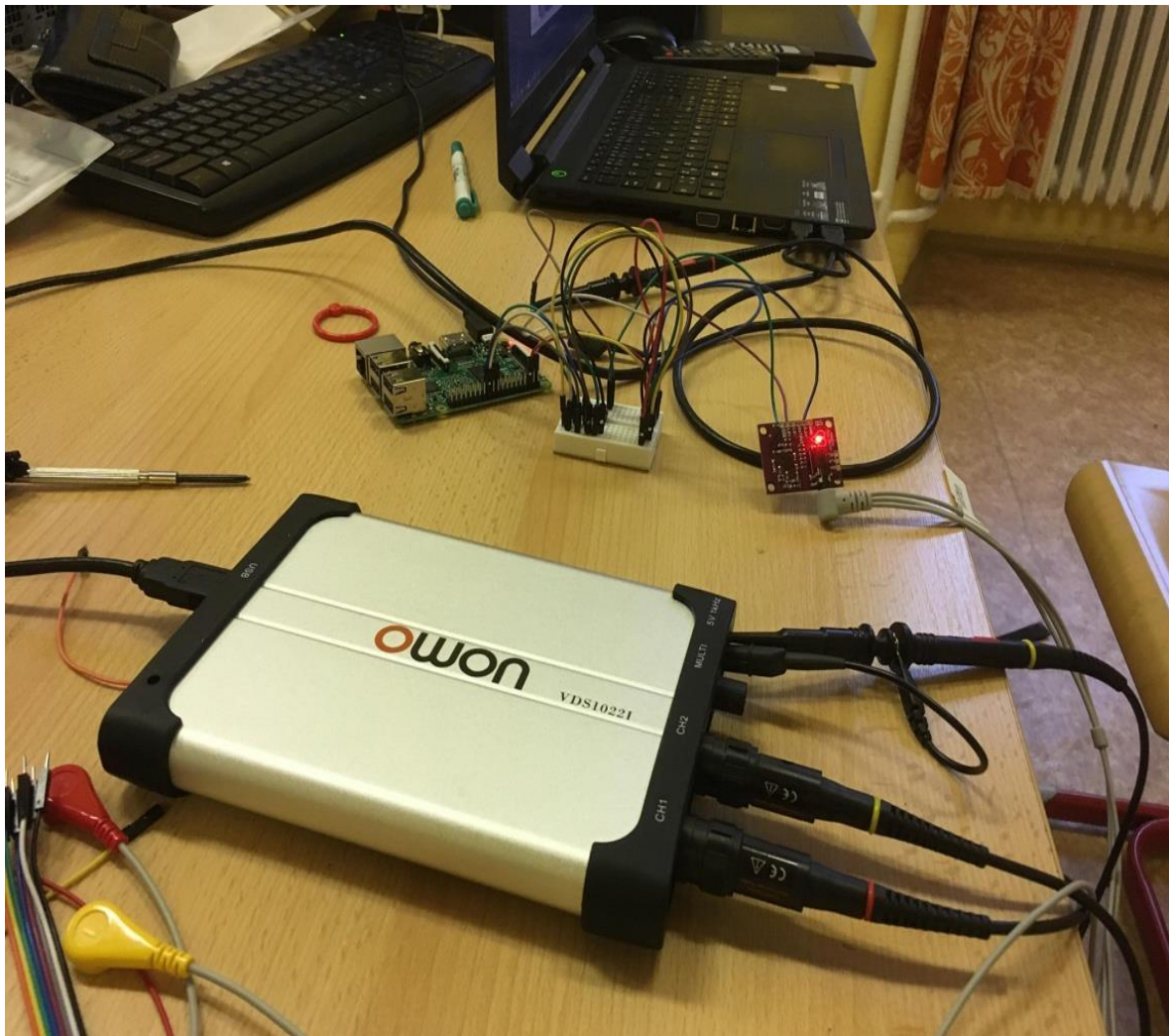
Osciloskop je elektronický přístroj schopný zakreslit změny rozdílů elektrických potenciálů v časovém úseku. Je propojen s počítačem, kde se zobrazuje výsledný graf při přiložení elektrod na kůži. Uzemnění osciloskopu nalezneme na destičce, ke které je umístěn A/D převodník.



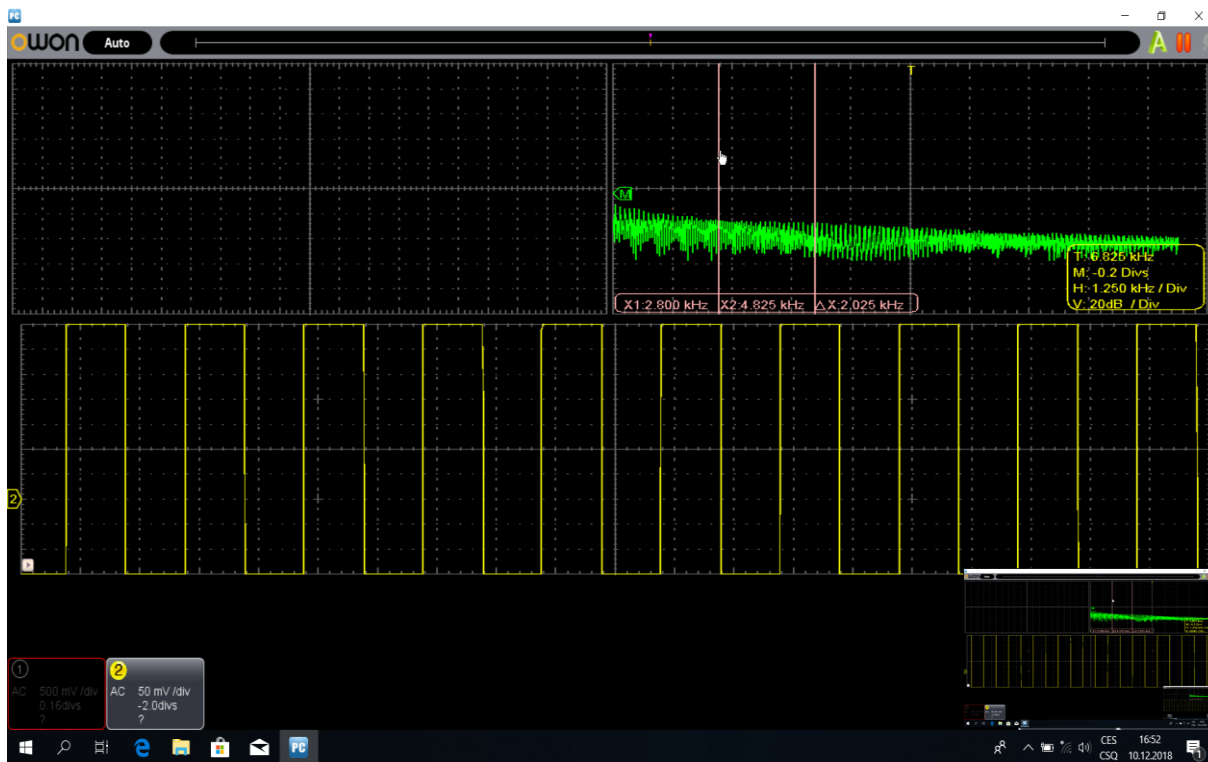
## 6 Průběh měření

Před samotným přiložením elektrod na kůži se objevila na monitoru zajímavá funkce, která nebyla popsána v manuálu čipu AD 8232. Velmi mě překvapila. Domníváme se, že se jedná o obdélník na výstupu přítomný při nedostatečném měřeném elektrickém potenciálu na elektrodách. Po přiložení první elektrody podle Einthovenova trojúhelníku na levé zápěstí se graf na monitoru změnil. Byly na něm patrné změny rozdílů elektrického potenciálu, ale graf zatím nepřipomínal standardní křivku elektrokardiogramu. Když jsem umístil druhou elektrodu na pravé zápěstí, na monitoru bylo možné rozeznat křivku standardního EKG s přítomným mírným šumem, ale ten jsme byli ochotni zanedbat, neboť měřicí soustava konečně fungovala. Po mnoha vyzkoušených zapojeních jednotlivých součástí konečně obvod fungoval. Po připojení třetí elektrody na levou nohu, která zkompletovala Einthovenův trojúhelník, se však stalo něco zvláštního. Graf ztratil podobu standardní křivky EKG a projevoval se velkými amplitudami, které se neustále měnily. Situace se nezměnila ani při opakovaném pokusu o přiložení elektrody. Myslím, že signál elektrického potenciálu byl příliš slabý a narušil tak výslednou podobu křivky EKG. Po opětovném odpojení bipolárního svodu na levé dolní končetině graf opět nabyl podobu standardní křivky EKG.

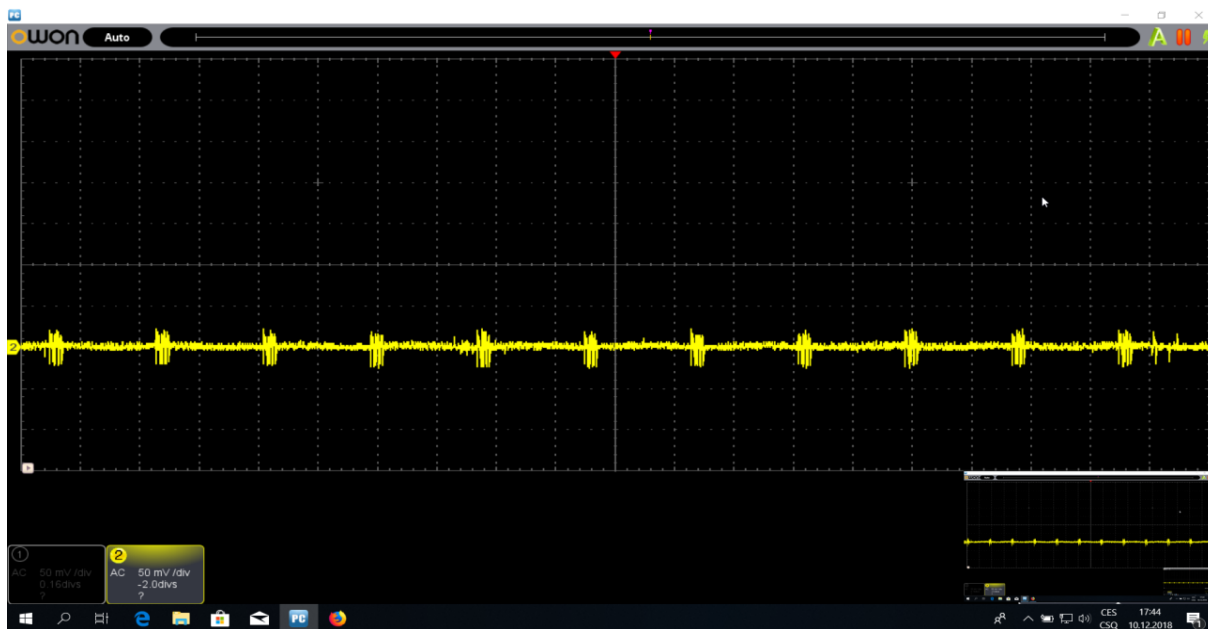
Po prokonzultování situace jsem se rozhodl, že budu považovat za relevantní podobu grafu EKG s dvěma připojenými bipolárními svody. Pozitivní na celém měření bylo, že náš návrh elektrokardiogramu fungoval.



Obr.10 – pohled na celou měřicí soust



Obr. 11 – graf funkce před připojením elektrod bez dostatečného měřeného elektrického potenciálu



Obr.12 – úspěšně naměřený elektrokardiogram

## 7 Závěr

V rámci této práce jsem se zabýval návrhem a adaptací jednoduchého elektrokardiogramu. Následně jsem provedl měření na osobě, abych ověřil, že moje měřicí soustava funguje. Pro zapojení elektrod jsem zvolil Einthovenův trojúhelník tvořený třemi bipolárními svody, který byl z hlediska jednoduchosti obvodu a finanční náročnosti nejvhodnější.

Při sestavování měřicí soustavy bylo největším problémem nežádoucí rušení původního signálu. Jelikož byl signál poměrně slabý, zesílil jsem ho pomocí čipu AD 3282. Převodník MCP 3208 transformoval analogový signál na digitální, aby bylo možné přesnější vyhodnocení EKG. Raspberry Pi 3B umožnilo napájení obvodu, osciloskop v kombinaci s počítačem zajistil zakreslení výsledné křivky elektrokardiografu. V bílé destičce, ve které se nachází A/D převodník, je zapojeno uzemnění osciloskopu, Raspberry, čipu i převodníku. Společné uzemnění umožňuje snížit nežádoucí rušení původního signálu. Při měření se vyskytl problém při zapojení bipolárního svodu na dolní končetinu, kdy graf EKG neodpovídal standardu.

Vysvětluji si to možným slabým signálem elektrického potenciálu. Graf při připojení dvou bipolárních elektrod na zápěstí horních končetin rozměrově odpovídal standardní křivce elektrokardiogramu. Z naměřených hodnot by bylo možné následnou studií určit některé poruchy srdečního rytmu (např. bradykardii nebo tachykardii).

# Seznam zdrojů

## Literatura

[1] MUDR. HAMAN, Pavel. *EKG kvalitně* [online]. [cit. 2019-03-29].

Dostupné z: <http://ekg.kvalitne.cz>

[2] HABERL, Ralph. *EKG do kapsy*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4192-5.

[8] UPTON, Ebden a Gereth HALFACREE. *Raspberry Pi*.

[9] NOVOTNÝ, Ivan a Michal HRUŠKA. *Biologie člověka*. 5., rozšířené a upravené vydání.

Praha: Fortuna, 2015. ISBN 978-80-7373-128-1.

## Obrázky

[3] Dostupné z: <http://www.sciencegate.cz/e-learning/119-clovek-a-jeho-schopnosti/lekce/ii/186-ii-obehova-soustava-v.htm>

[4] Dostupné z:

[http://www.medicabaze.cz/index.php?sec=term\\_detail&categId=18&cname=Kardiologie&termId=3253&tname=EKG&h=empty#jump](http://www.medicabaze.cz/index.php?sec=term_detail&categId=18&cname=Kardiologie&termId=3253&tname=EKG&h=empty#jump)

[5] Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3105663/>

[6] Dostupné z: <https://pictures.doccheck.com/com/photo/16951-precordial-ecg-leads-after-wilson>

[7] Dostupné z: <https://docplayer.cz/17952135-Ekg-vysetreni-ustav-patologicke-fyziologie.html>

[10] Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/200>