

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**System pro monitorování životních funkcí pomocí  
mikropočítače**

*Originál (kopie) zadání BP/DP*

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na monitorování životních funkcí pomocí mikropočítače.

## **Klíčová slova**

Monitoring životních funkcí, konvenční elektrody, textilní elektrody, EKG, Java, Android, Raspberry Pi, Bluetooth, UART...

## **Abstract**

This master's thesis is focused on monitoring life functions using microcomputer.

## **Key words**

Monitoring life functions, conventional electrodes, textile electrodes, EKG, Java, Android, Raspberry Pi, Bluetooth, UART...

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 12.5.2015

Tomáš Brynda

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Kašparovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a pomoc při řešení problémů.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 PRŮZKUM TRHU S VHODNÝMI SYSTÉMY PRO MĚŘENÍ EKG</b> .....	<b>10</b>
1.1 MEDLAB .....	10
1.2 MIDMARK .....	11
1.3 PC EKG .....	12
1.4 CUSTO CARDIO .....	13
1.5 VÝBĚR VHODNÉHO ŘEŠENÍ .....	14
<b>2 NÁVRH SYSTÉMU PRO MĚŘENÍ EKG</b> .....	<b>15</b>
2.1 VÝBĚR VHODNÉHO MIKROPOČÍTAČE .....	15
2.2 KONCEPT SYSTÉMU .....	16
2.3 STRUKTURA SYSTÉMU .....	18
<b>3 REALIZACE NAVRŽENÉHO SYSTÉMU</b> .....	<b>19</b>
3.1 HARDWAROVÁ REALIZACE .....	19
3.1.1 Měřicí deska .....	19
3.1.2 Zapojení komponentů .....	20
3.2 SOFTWAREOVÁ REALIZACE .....	21
3.2.1 Aplikace pro Raspberry .....	21
3.2.2 Mobilní aplikace .....	25
<b>4 MĚŘENÍ EKG</b> .....	<b>29</b>
4.1 VZNIK A PRŮBĚH EKG SIGNÁLU .....	29
4.2 PROVEDENÍ MĚŘENÍ .....	29
4.3 MĚŘENÍ S GELOVÝMI ELEKTRODAMI .....	30
4.4 MĚŘENÍ S TEXTILNÍMI ELEKTRODAMI .....	33
4.5 ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....	39
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>42</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>43</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>44</b>
SROVNÁVACÍ TABULKY MIKROKONTROLÉRŮ .....	1
SCHÉMA ZAPOJENÍ MĚŘICÍ DESKY .....	3
INSTALACE SOUČÁSTÍ .....	4
FOTOGRAFICKÁ PŘÍLOHA .....	9

## Seznam symbolů a zkratek

DC.....	Stejnoseměrné napětí
ADC.....	Analog Digital Converter
RAM .....	Random Access Memory
RPi .....	Raspberry Pi
ARM .....	Advanced Risc Machine
UUID .....	Universally Unique Identifier
LED.....	Light-Emitting Diode
<i>Bd</i> .....	Baud, jednotka modulační rychlosti



## Úvod

Cílem této práce je provedení průzkumu trhu s vhodnými systémy pro měření EKG, návrh systému pro měření EKG pomocí mikropočítače s využitím přenosného komunikačního zařízení pro monitoring, realizace navrženého systému a následné provedení měření pomocí konvenčních a textilních elektrod a vyhodnocení naměřených dat.

První část této práce je věnována výběru vhodného EKG modulu. Druhá část se zabývá výběrem vhodného mikropočítače a návrhem systému. Třetí část popisuje realizaci systému, jejíž součástí je implementace bezdrátové komunikace, propojení mikropočítače s EKG modulem a periodické načítání naměřených hodnot skrze periferní rozhraní. Poslední část je věnována měření EKG křivky pomocí konvenčních a textilních elektrod a vyhodnocení naměřených průběhů.

Důraz je kladen především na jednoduchost celého systému a na možnost testování různých typů a rozmístění textilních elektrod. Součástí systému bude mikropočítač, měřič EKG a Bluetooth adaptér pro komunikaci s mobilním zařízením. Měření bude možno spustit a zastavit stiskem tlačítka a stav měření bude signalizován LED diodami. Naměřené hodnoty bude možno zobrazovat v reálném čase a zároveň budou zpětně dohledatelné.

# 1 Průzkum trhu s vhodnými systémy pro měření EKG

Pro výběr optimálního modulu pro měření křivky EKG byl proveden průzkum trhu, ze kterého vyplynuli celkem čtyři kandidáti.

## 1.1 Medlab

Prvním kandidátem pro měření křivky EKG se stal 5-svodový modul EG05000 od společnosti Medlab. Cena se v době průzkumu pohybovala kolem 500€.

Při zapojení všech 5 elektrod dokáže modul poskytnout data pro celkem 8 křivek – 6 křivek EKG (I, II, III, aVR, aVL, aVF), 1 křivku Wilsonovy hrudní elektrody C a 1 křivku respirace (Resp). Rozmístění elektrod na těle pacienta a naměřené průběhy křivek jsou popsány v kapitole Měření EKG.

Modul dokáže pracovat v několika režimech. První možností je použití 5 měřicích elektrod a zobrazení 7 EKG kanálů (I, II, III, aVR, aVL, aVF, Resp). Druhou možností je použití 4 elektrod a zobrazení pouze 6 křivek EKG bez respirace (I, II, III, aVR, aVL, aVF). Poslední variantou je použití 3 elektrod a zobrazení pouze jedné křivky EKG (I, II, nebo III).

Potřebné napájecí napětí je stanoveno na 5V DC a spotřeba se pohybuje pod hranicí 250mW. Co se týče konektivity, modul je vybaven sériovým rozhraním UART a součástí balení je i konektor RS232.

Dokumentace k modulu popisuje nejrůznější příkazy pro jeho nastavení. Nastavit lze:

- *Frekvence odesílání hodnot [1/s]: 50, 100, 150, 300*
- *Mod zesílení signálu: Diagnostic, Monitoring*
- *Úroveň zesílení signálu: 1, 2, 3, 4*
- *Odesílané hodnoty: I, II, III, aVR, aVL, aVF, CI, Resp*
- *Síťový filtr: 50Hz, 60Hz, OFF*
- *EMG filtr: ON, OFF*
- *Mód měření: Adult, Pediatric*

Diagnostic mód nastaví šířku pásma zesilovače na DC-80 Hz. Monitoring mód nastaví šířku pásma na 0.67-40 Hz (výchozí hodnota). Úrovně zesílení jsou realizovány v podobě dvojnásobků. Tzn. že úroveň 2 má dvakrát větší zesílení než úroveň 1, úroveň 3 dvakrát větší než úroveň 2, atd. V případě měření dospělého člověka se použije Adult mód, v případě měření dítěte Pediatric mód. Mezi další možné volby patří například simulovaný výstup – modul odesílá simulovanou křivku EKG bez nutnosti připojení elektrod a získání identifikační informace o modulu. To se hodí zejména pro testovací účely.

Tento modul je výhodný v tom, že se dá implementovat v jakémkoli systému disponujícím sériovým rozhraním. Z toho vyplývá malá hardwarová náročnost. Dalším plusem je cena modulu. Mezi nevýhody patří například nízká vzorkovací frekvence. U tohoto systému je maximem 300Hz, ale ke kompletnímu prošetření EKG křivky je potřeba alespoň 1000 vzorků za sekundu.

## 1.2 Midmark

IQmark Digital ECG od firmy Midmark je 12-svodový EKG modul dostupný ve dvou variantách – s připojením přes USB, nebo přes sériové rozhraní. Varianta s USB portem nevyžaduje externí zdroj napájení a varianta se sériovým portem je napájena ze dvou 1,5V baterií typu AA. Výdrž na alkalické baterie je, jak je uvedeno v manuálu [2], až 25h v zapnutém stavu.

Vlastnosti:

- 12 svodů
- Vstupní impedance  $> 100 M\Omega$
- Frekvenční odezva 0.05-150 Hz -3 dB
- Citlivost: 5, 10, 20 mm/mV +/-10%
- Dynamický rozsah: +/-10 mV
- ADC: 13 bitů při 2.44 uV/bit
- Vzorkovací frekvence: 500 vzorků/s

K tomuto modulu je dodáván i obslužný program pro operační systém MS Windows, který obsahuje spoustu možností nastavení. Bohužel ale není nikde v manuálu uveden samotný formát dat a struktura komunikace přes sériovou linku. Systém je brán jako jednotný

celek pro použití s dodávaným softwarem. Komunikační schéma by se možná dalo odvodit podle přichozích dat z modulu, ale dá se předpokládat, že by tento postup byl velice časově náročný. Dalším negativem je vysoká cena tohoto modulu, která se pohybuje kolem 3400\$.

### 1.3 PC EKG

PC EKG SE-1515 je diagnostický nástroj pro připojení k PC určený k získání, vyhodnocení a uchování EKG signálů dospělých i pediatrických pacientů standardní metodou pomocí EKG elektrod umístěných na těle. Pořizovací cena je zde mnohonásobně vyšší – zhruba 36000 Kč. Níže jsou uvedeny informace získané z [3].

SE-1515 PC EKG má podobné funkce jako běžný elektrokardiograf. Lze provádět snímání dat EKG, analyzovat je a ukládat do PC. Na vyžádání je možno dodat i upgrade na zátěžové EKG.

Vlastnosti modulu:

- *3/6/12-svodové EKG křivky jsou zobrazeny a zaznamenávány současně*
- *auto/manual režim měření a interperace*
- *dostupnost automatického měření a diagnózy*
- *automatické nastavení základní linky pro optimální záznam*
- *6 analyzačních funkcí: Normální EKG, Frekvenční EKG, Vysokofrekvenční EKG, QT rozptyl, Vektorové EKG, HRT analýza, HRV analýza (30 s - 360 s) a EKG průměrného signálu*
- *doplňkové funkce: VCG, TVCG, QT disperze*

Výrobcem dále uvádí minimální hardwarové požadavky, mezi které patří: CPU Pentium P4, Celeron D 310 nebo vyšší, operační paměť (RAM) 512 MB nebo vyšší, doporučená základní deska Intel Hard Disk 40 GB nebo vyšší a dále 2 volné USB porty. Systém je určen pro operační systém Windows.

Tento modul se zdá být opravdu profesionálním řešením, ale z výše uvedených informací vyplývá, že implementace tohoto modulu ve spojení s mikropočítačem může být značně komplikovaná. Největšími problémy jsou potřeba 2 USB portů a určení pro systém Windows, který lze do mikropočítače kvůli svým hardwarovým nárokům použít jen velmi obtížně.

Dalším negativem je vyšší cena modulu. Tento produkt je vhodný spíše pro ordinace, kde se dá použít stolní počítač k monitorování průběhu EKG.

## 1.4 Custo Cardio

Jako další kandidát byl vybrán modul Custo Cardio 120. Tento systém disponuje USB komunikačním portem, který je využit jak pro přenos dat, tak pro napájení. Není tedy nutný externí napájecí zdroj. Tento modul je 10-svodový. Níže jsou uvedeny informace z webových stránek prodejce [4].

Díky zesílení a digitalizaci EKG signálu snímaného přímo z pacienta, dosahuje Custo Cardio 120 vysokého stupně přesnosti. Ve srovnání s tradičními EKG zapisovači je vznik nechtěného rušení, vznikajícího už na vlastních svodech patientských kabelů, redukováno zhruba o 70%. Tento elektrokardiograf registruje a digitalizuje všech deset svodů nezávisle na sobě. S využitím 24bitových AD převodníků je dosaženo amplitudové kvantifikace  $0,3 \mu\text{V/bit}$  (norma:  $<5.0 \mu\text{V/bit}$ ).

Vlastnosti:

- *frekvenční odezva 0,05 - 500 Hz*
- *vzorkovací frekvence až 4 kHz*
- *24 bitový A/D převodník*
- *vstupní impedance > 50 MOhm*
- *amplitudová kvantifikace  $0,3 \mu\text{V/bit}$*
- *digitální detekce kardiostimulátoru*
- *zmenšení pohybových artefaktů EKG, zesílením a digitalizací signálu sejmutého přímo z pacienta*
- *nezávislý přenos všech deseti svodů*
- *impedanční měření všech elektrod (bez N) s automatickou indikací kvality signálu*
- *napájení 5V přes USB port*

Výhodou tohoto modulu je požadavek pouze jednoho USB portu a vysoká přesnost měření. Další výhodou je napájení z USB portu bez nutnosti použití externího zdroje. Hlavní nevýhodou je opět neznámý formát odesílaných dat a předpokládaná vysoká cena produktu.

## 1.5 Výběr vhodného řešení

Ze všech předešlých zmíněných systémů byl vybrán EKG modul EG05000 od společnosti Medlab. Důvodem byla nižší cena než u ostatních systémů a hlavně možnost spolupráce modulu s kterýmkoliv mikropočítačem disponujícím sériovým rozhraním. V manuálu tohoto produktu je detailně popsána struktura komunikace a formát dat a to činí tento systém jednoduše implementovatelný pro naše účely. Srovnání jednotlivých produktů viz Tab. 1.1 níže.

Název	Počet svodů	Komunikační rozhraní	Dostupnost dokumentace	Napájení	Cena	Max. vzorkovací frekvence
Medlab EG05000	5	UART	dobrá	5V DC	500€	300Hz
IQmark Digital ECG	12	USB/ UART	dobrá	USB/ 2xAA	3400\$	500Hz
PC EKG SE-1515	12	USB	špatná	USB	36000Kč	1000Hz
Custo Cardio 120	10	USB	špatná	USB	?	500Hz

Tab. 1.1 – Srovnání EKG modulů

## 2 Návrh systému pro měření EKG

Pro realizaci měřicího systému bylo potřeba kromě vhodného EKG modulu nalézt i vhodný mikropočítač, který bude srdcem celého systému.

### 2.1 Výběr vhodného mikropočítače

Mezi hlavní kritéria pro výběr vhodného mikropočítače patřila zejména dobrá konektivita k nejrůznějším perifériím, dobrá podpora a rozměrová kompaktnost. Dále dostatečný výpočetní výkon a paměť RAM postačující pro několik současně probíhajících komunikací a bezproblémový běh celého systému. Při průzkumu trhu se brala v potaz také cena, která v nejlepším případě neměla překročit hranici 1000 Kč. Viz srovnávací tabulky mikrokontrolerů v příloze (Tab. 1 a 2) pro srovnání nalezených produktů a jejich periférií.

Z uvedených dostupných mikropočítačů byla jako nejvhodnější vybrána platforma Raspberry Pi (Obr. 1.1), která je v [5] charakterizována takto:

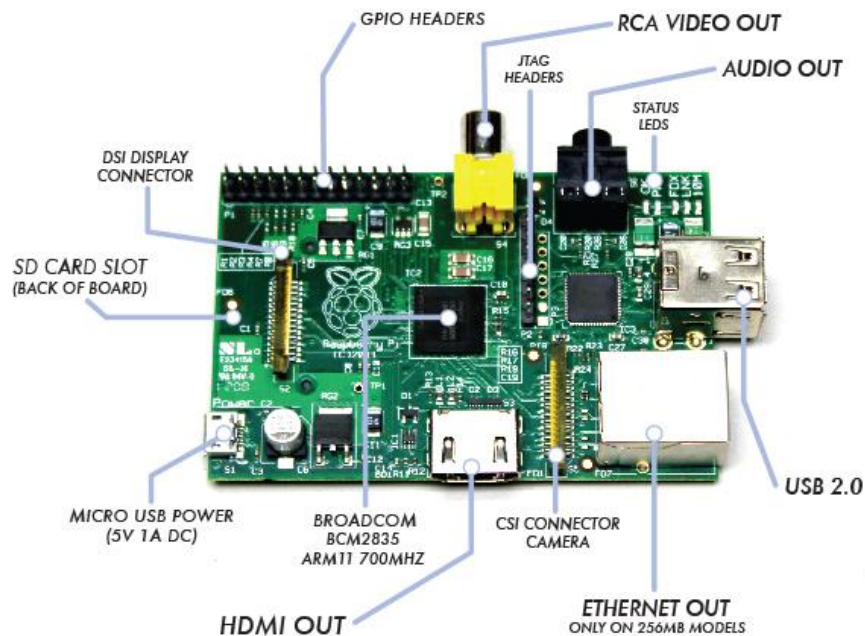
„Řada počítačů Raspberry se nyní skládá ze tří typů: Model A, Model B a Model B 512 MB. Zásadní rozdíl mezi modely je v použití USB hubu a integrované síťové karty u Modelu B, který tak má o 2 W větší spotřebu. Model A využijeme především v aplikacích, kde klademe vyšší nároky na nízkou spotřebu – například u zařízení napájených z baterií. Raspberry Pi neobsahuje jako klasický stolní počítač pouze USB a síťovou kartu s konektorem RJ45, ale i specializované sběrnice pro připojení hardwaru. To dělá z Raspberry nejen hračku, ale též nástroj určený pro řízení a monitorování.”

Raspberry Pi poskytuje dostatečný výpočetní výkon, má nižší spotřebu než jeho konkurenti a disponuje dobrou konektivitou, co se týče periferních sběrnic.

Sběrnice na Raspberry:

- *GPIO – poskytuje vstupně výstupní piny, speciálně pak rozhraní UART, sběrnice I<sup>2</sup>C / SPI a zároveň slouží i k připojení rozšiřujících modulů. Díky GPIO můžeme připojit k Raspberry velkou řadu čidel, expandérů sběrnic a převodníků.*
- *CSI camera interface – slouží pro připojení specializované kamery přes rozhraní CSI.*
- *DSI display interface – slouží k připojení externího LCD displeje. “*

Po pořízení Raspberry Pi, dále jen RPi, byl nainstalován operační systém Raspbian, který je odnoží Linuxu, a jako hlavní platforma pro běh monitorovacího softwaru byla vybrána platforma Java ME.



Obr. 3.1 – Raspberry Pi [6]

## 2.2 Koncept systému

Systém musí být schopen číst data z EKG modulu přes sériové rozhraní (UART – RS232) a zároveň je předávat dále skrze technologii Bluetooth (vizualizace dat na mobilním zařízení).

Součástí systému bude také mobilní aplikace, která umožní spárování s RPi přes Bluetooth a vizualizaci naměřených dat EKG v reálném čase. Systém bude dále disponovat měřicí deskou, která bude obsahovat tlačítko pro spuštění/zastavení měření a 2 LED diody pro signalizaci stavu měření (červená- zastaveno, zelená- spuštěno).

Po zapnutí Raspberry se po naběhnutí operačního systému automaticky spustí program v programovacím jazyce Java, rozsvítí se červená LED a program počká na stisk tlačítka. Stisknutím tlačítka se zahájí měření EKG a rozsvítí se zelená LED. Při dalším stisknutí



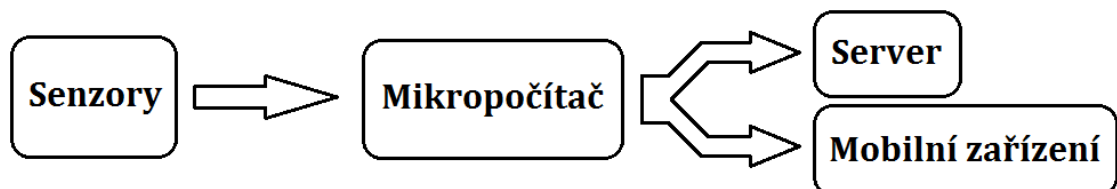
tlačítka se měření ukončí a opět se rozsvítí červená kontrolka. Takto bude možno měření stále opakovat. Po skončení měření budou pro možnost zpětné kontroly průběhu křivek EKG a respirace výstupní data uložena na SD kartu do složky /home/EKG/.

Soubor bude obsahovat naměřená data, časové údaje jejich zápisu a pořadová čísla jednotlivých hodnot. Dle časových údajů a pořadových čísel bude možné zjistit, zda komunikace probíhá v pořádku a zda kontrolér zvládá číst data ze sériové linky a zároveň je i zapisovat do souboru a odesílat přes Bluetooth. Název souboru bude odvozen podle času spuštění měření. Po skončení měření se kromě csv souboru s naměřenými hodnotami vytvoří ještě textový soubor se stejným názvem, který bude obsahovat čas ukončení měření.

Podle frekvence odesílání hodnot, rozdílu mezi časem spuštění a ukončení měření a počtem hodnot zapsaných do souboru se bude dát následně vyhodnotit funkčnost celého systému. Např. pro frekvenci 100Hz, čas spuštění měření 11:00:00 a čas ukončení měření 11:02:00 budeme požadovat celkem  $2*60*100 = 12000$  zapsaných hodnot. Pokud bude soubor obsahovat méně hodnot, znamená to, že došlo k prodlevě při spuštění nebo ukončení měření, nebo ke ztrátě dat. Ztrátu dat lze vyloučit podle časových údajů jednotlivých zapsaných hodnot. Např. pro zmíněnou frekvenci 100Hz očekáváme hodnoty v rozestupu 10ms.

Naměřená data budou k dispozici buď prostřednictvím mobilního zařízení, kde bude přenos dat realizován rozhraním Bluetooth, nebo prostřednictvím webových stránek, to však není tématem této práce.

Na Obr 1.1 je znázorněn zjednodušený tok dat systémem.



Obr. 1.1 – Datový tok systému

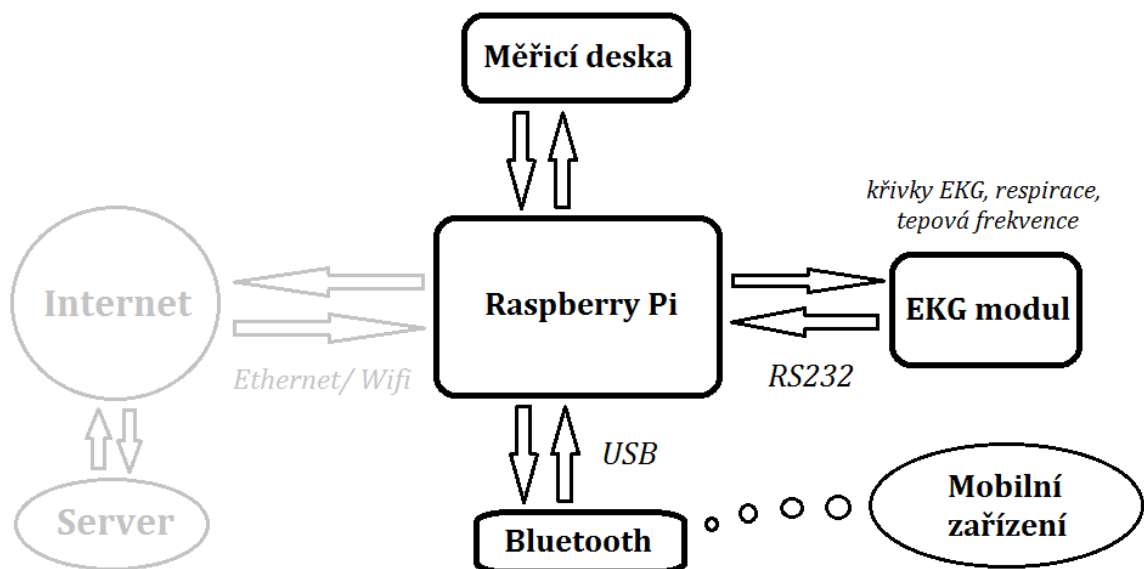
## 2.3 Struktura systému

Systém se skládá z následujících komponentů:

- Řídicí mikropočítač s Bluetooth adaptérem a připojením k internetu
- EKG Modul se sériovou komunikací
- Měřicí deska s LED signalizací

Podrobný popis systému viz kapitola 2.2 – Koncept systému.

Blokové schéma systému je na Obr. 2.1.



Obr. 2.1 – Blokové schéma systému

## 3 Realizace navrženého systému

### 3.1 Hardwarová realizace

Při hardwarové realizaci měřicího systému byly použity tyto komponenty:

- *5V DC zdroj pro napájení EKG modulu*
- *Síťový adaptér 5V DC pro napájení RPi*
- *Počítač s ethernetovým portem a ethernetový kabel*
- *EKG modul s kabelem pro připojení elektrod*
- *Raspberry Pi*
- *Měřicí deska*
- *Gelové a textilní elektrody*

#### 3.1.1 Měřicí deska

Měřicí deska byla zhotovena na nepájivém poli a obsahovala dvě LED diody pro signalizaci měření, tlačítko pro spuštění/ zastavení měření a integrovaný obvod MAX3232 pro převod UART signálu z úrovně 5V (EKG modul) na úroveň 3.3V(RPi).

Na Obr. 5.1 níže je zobrazeno uspořádání pinů RPi. GPIO 1 a 2 (piny č. 12 a 13 podle obrázku) slouží jako výstupy pro signalizaci měření (GPIO1 – zelená dioda – signalizace probíhajícího měření, GPIO2 – červená dioda – signalizace ukončení měření), GPIO3 slouží jako vstup pro zapínání/ vypínání měření.

K GPIO pinům 1 a 2 jsou připojeny anody LED diod, katody jsou připojeny přes odpory  $470\Omega$  k zemi. Jako uzemnění slouží pin č. 9 označený na obrázku jako DNC (nebo jako alternativa pin č. 6 - GND). K GPIO3 se připojí jeden vývod tlačítka, druhý pak na zem. Dále je třeba pull-up rezistor (např.  $10k\Omega$ ), který se připojí jedním vývodem k GPIO3 a druhým ke kladnému napájecímu napětí 3.3V (pin č. 1).

3.3v	1	2	5v
SDA0	3	4	DNC
SCL0	5	6	0v
GPIO 7	7	8	TX
DNC	9	10	RX
GPIO 0	11	12	GPIO 1
GPIO 2	13	14	DNC
GPIO 3	15	16	GPIO 4
DNC	17	18	GPIO 5
SPI MOSI	19	20	DNC
SPI MISO	21	22	GPIO 6
SPI SCLK	23	24	SP10 CEO N
DNC	26	26	SP10 CE1 N

Obr. 5.1 – Rozmístění pinů RPi [7]

Pro funkční komunikaci prostřednictvím UART mezi Raspberry a EKG modulem je třeba použít obvod MAX3232. Obvod je napájen 3.3V (opět pin č. 1), piny Rx a Tx Raspberry jsou vyznačeny na Obr. 5.1 pod čísly 8 a 10. Tyto vývody se připojí k MAX3232. Pin Rx např. na pin R1OUT a pin Tx na T1IN. Vývody z MAX3232 do konektoru pro RS232 stačí pouze tři – T1OUT, R1IN a GND.

Kompletní schéma zapojení vytvořené v programu Eagle viz Obr. 1 v příloze.

### 3.1.2 Zapojení komponentů

Nejprve bylo nutné zapojit do sítě stabilizovaný zdroj napětí a síťový adaptér. Poté byl stabilizovaný zdroj propojen napájecími vodiči s EKG modulem a vývod síťového adaptéru s USB konektorem připojen k RPi. Dalším krokem bylo spuštění počítače a jeho propojení s RPi ethernetovým kabelem. Po naběhnutí operačního systému RPi bylo vytvořeno připojení přes SSH pomocí programu Putty. Dále bylo potřeba připojit 22-pinový header z měřicí desky na RPi a propojit konektor RS232 z měřicí desky s konektorem od EKG modulu. Posledním nutným zapojením bylo připojení měřicího kabelu k EKG modulu a připnutí jednotlivých svorek k příslušným elektrodám. Příkazem „`sudo java -jar Desktop/dist/RPI_EKGApp_2.0.jar`” v konzoli Putty byl spuštěn program v Raspberry a po rozsvícení červené kontrolky na měřicí desce bylo možné začít s měřením.

## 3.2 Softwarová realizace

Aplikaci pro RPi jsem vyvíjel v Javě ve vývojovém prostředí NetBeans. K ovládání periférií (UART, GPIO) jsem využil knihovnu Pi4j, k ovládání Bluetooth adaptéru knihovnu BlueCove, kterou jsem však musel ručně zkompileovat pro hardware RPi (ARM hardfloat). Popis této kompilace a postup instalace součástí je v tištěné příloze.

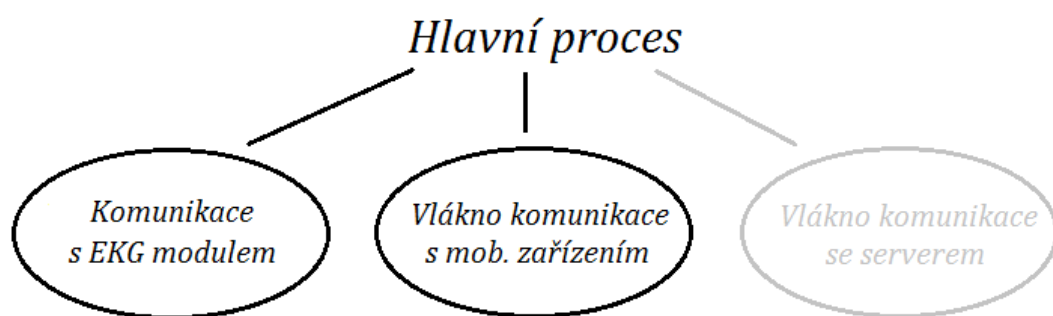
Aplikace pro mobilní zařízení je psána také v Javě, ale pro platformu Android, k vývoji jsem použil prostředí Android Studio.

Screenshots z mobilní aplikace viz příloha (Obr. 2-6).

### 3.2.1 Aplikace pro Raspberry

#### Struktura programu

Struktura programu je vidět na Obr. 3.1. Hlavní proces programu kontroluje stisk tlačítka, stará se o příjem a distribuci naměřených hodnot a ovládá GPIO piny (LED signalizace měření). Komunikace s EKG modulem a s mobilním zařízením probíhají ve vlastních vláknech, aby se zbytečně nezatěžoval hlavní proces.



Obr. 3.1 – Struktura programu

Aplikace obsahuje tyto třídy:

- *BTDeviceDiscovery* – zprostředkovává vyhledání dostupných Bluetooth zařízení v dosahu
- *ClientThread* – spustitelné vlákno Bluetooth komunikace s připojeným klientem
- *EKGUARTDriver* – řídí komunikaci s EKG modulem, nastavuje modul, kontroluje připojené elektrody, třídí a ukládá přijatá data

- *FileManager* – souborový správce, ukládá naměřená data do souboru a čte nastavení z nastavovacího souboru
- *GPiODriver* – nastavuje GPIO piny jako vstupy/ výstupy a čte/ zapisuje hodnoty na příslušných pinech
- *RPI\_EKGApp* – spouštěcí třída aplikace, inicializuje ostatní třídy, stará se o spuštění/ zastavení měření a ukládání souborů
- *RfCommServer* – vlákno Bluetooth serveru, vytvoří server socket a čeká na připojení klientů, jejichž komunikaci pak spustí v samostatných vláknech

## Komunikace s EKG modulem

Po spuštění aplikace se pro funkční komunikaci s EKG modulem a příjem dat musí nastavit rámec UART komunikace následovně:

- *rychlost 115200 Baud*
- *1 start bit*
- *8 data bitů*
- *sudý paritní bit*
- *1 stop bit*

Poté, co je UART port správně konfigurován, je třeba ještě nastavit EKG modul na požadované hodnoty. Mezi tyto hodnoty patří:

- *Frekvence odesílání hodnot [1/s]: 50, 100, 150, 300*
- *Mod zesílení signálu: Diagnostic, Monitoring*
- *Úroveň zesílení signálu: 1, 2, 3, 4*
- *Síťový filtr: 50Hz, 60Hz, OFF*
- *EMG filtr: ON, OFF*
- *Mód měření: Adult, Pediatric*

Nastavení UART portu a EKG modulu jsou zapsány v textovém souboru `/etc/ekg/config.txt` na SD kartě RPi. Samotný nastavovací soubor je vhodný pro možnost změny parametrů bez nutnosti opětovné kompilace aplikace. Aby se změny projevíly, je nutné přepsat nastavení v souboru, soubor uložit a restartovat aplikaci.

Data z EKG modulu jsou odesílána v blocích. Existují bloky tří druhů – blok křivek, blok hodnot a stavový blok. Blok křivek obsahuje naměřená data jednotlivých křivek a frekvence odesílání je dána nastavením. Blok hodnot obsahuje hodnotu pulzu a respirace. Stavový blok obsahuje informace o tom, které elektrody jsou připojeny, které hodnoty jsou odesílány a o

nastavení modulu. Každý blok obsahuje pole kontrolního součtu. Pro bližší informace ohledně komunikačního schématu viz dokumentace k modulu [1].

## **Ukládání naměřených hodnot**

Všechny naměřené hodnoty jsou ukládány do souboru. Jméno souboru obsahuje datum a čas spuštění měření a má příponu „.csv“. Data z EKG modulu jsou odesílána 100x za sekundu a zapisována do souboru spolu s pořadovým číslem a časem. Zaznamenávají se křivky EKG I, II, III, aVR, aVL, aVF, C1 a respirace. Po ukončení měření se vytvoří ještě textový soubor se shodným názvem jako soubor csv, ale s příponou „.txt“. Tento soubor obsahuje časový údaj ukončení měření

## **Komunikace s mobilním zařízením**

V RPi je vytvořen Bluetooth server socket. Čeká se na požadavek příchozího připojení klienta. Socket klienta je následně automaticky přijat a komunikace s klientem je spuštěna v samostatném vlákně. Je tedy možné provozovat současnou komunikaci s několika připojenými klienty. Pokud dojde k výpadku nebo k chybě streamu, klientské vlákno a komunikace s klientem je automaticky ukončena.

Bluetooth komunikace probíhá v režimu RFCOMM, tento režim simuluje chování klasického poloduplexního sériového rozhraní. Je tedy možno data sekvenčně číst i zapisovat.

## **Popis běhu programu**

Po spuštění programu jsou nejdříve inicializovány proměnné, mezi nimi např. proměnná typu List<String> ekgToSend a booleovská proměnná measuring, která udává stav měření (true- měření probíhá, false- měření ukončeno). Do dynamického pole ekgToSend budou později ukládány naměřené hodnoty.

Dále se vytvoří instance třídy GPIODriver pro ovládání pinů (předány čísla vstupních a výstupních pinů jako parametry) a EKGUARTDriver pro řízení komunikace s modulem. Následuje vyhledání zařízení v dosahu pomocí třídy BTDeviceDiscovery a inicializace RfCommServeru a jeho spuštění v samostatném vlákně. Následně jsou vypsané informace o vytvořeném serveru (jméno, Bluetooth adresa a UUID serveru).

Dále je potřeba nastavit UART. UARTDriver je naprogramován tak, že umožňuje zapnout podrobné výpisy do konzole. Ty jsou ale vhodné spíše při odstraňování chyb komunikace, proto jsou v příložené aplikaci pro přehlednost zakázány. Pro UART přenosy použijeme port `/dev/tty/AMA0`, který je výchozím sériovým portem RPi. Port otevřeme a nastavíme EKG modul pomocí FileManagera. Pokud je aplikace spuštěna v tzv. testovacím módu, nastavíme testovací mód v EKG modulu příkazem „M1“. V tomto módu nejsou potřeba žádné elektrody a modul pouze simuluje výstupní EKG křivku. Na závěr nastavíme zaslání všech hodnot EKG odesláním bytu `0xFF` a hlavní proces na 10ms uspíme, aby modul stačil použít všechna nastavení.

Nyní je vše připraveno pro měření. Pomocí GPIODriveru nastavíme log. 0 na GPIO pinu 1 a log. 1 na pinu 2. Tím způsobíme zhasnutí zelené a rozsvícení červené LED a můžeme začít měřit.

Program nyní skočí do nekonečné smyčky, která probíhá v cyklech v intervalech 200ms. GPIODriver naslouchá na změny vstupního pinu, ke kterému je připojeno tlačítko. V případě změny log. hodnoty na hodnotu 0 se zavolá funkce `onButtonClick()`. V případě, že probíhá měření, se měření ukončí nastavením proměnné `measuring` na hodnotu `false`. V opačném případě se měření spustí nastavením proměnné `start` na `true`. Aby se zabránilo nechtěným vícenásobným kliknutím, je reakce na stisk tlačítka zakázána po dobu 1 sekundy. To je zajištěno spuštěním nového vlákna, ve kterém se nastaví hodnota proměnné `buttonEnable` na `false`, vlákno se na 1s uspí a následně je hodnota opět nastavena na `true`.

Stav měření je odvozen od tří booleovských proměnných – `measuring`, `start`, `stop`. Při nastavení proměnné `start` na hodnotu `true` se zhasne červená LED a rozsvítí se zelená. Pak se vytvoří nový csv soubor pro zápis hodnot, spustí se čtení dat z rozhraní UART a na základě příchozích dat se pro kontrolu vypíše stav připojených elektrod (připojeno/ odpojeno) a typy odesílaných hodnot (I, II, III, aVR, aVL, AVF, C1, Resp). Po vytvoření souboru je proměnná `start` nastavena zpět na `false` a proměnná `measuring` je nastavena na hodnotu `true`. Příkaz „q0“ způsobí aktualizaci stavu připojených elektrod.

Ukončení měření je provedeno nastavením proměnné `stop` na hodnotu `true`, při této události dojde k nastavení proměnné `measuring` a `stop` na hodnoty `false`, ukončí se zápis do souboru a soubor se uloží spolu s textovým souborem udávajícím dobu ukončení měření.



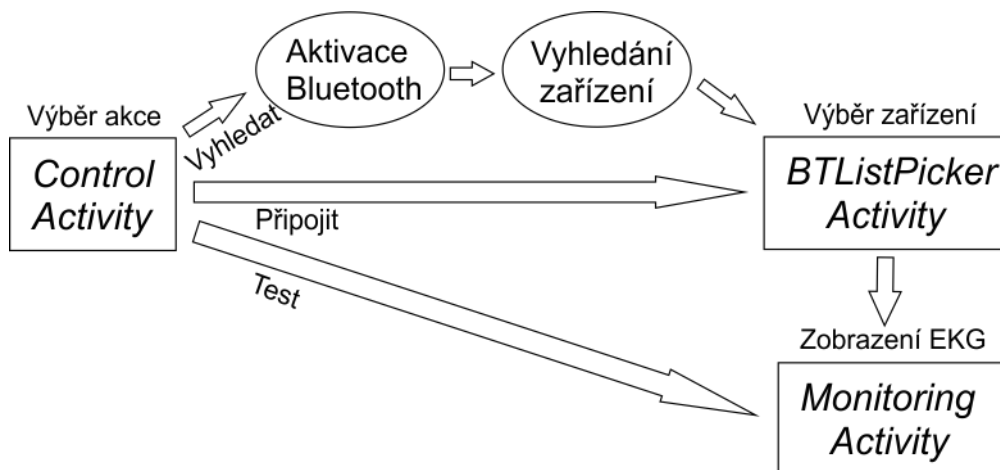
Příslušné log. hodnoty na výstupních pinech se nastaví tak, aby se zelená dioda zhasla a rozsvítila se červená.

V průběhu měření se přes třídu EKGUARTDriver periodicky čtou příchozí data a třídí se podle typu bloku dat. Po načtení všech hodnot křivek EKG se tyto hodnoty zapíší do souboru spolu s aktuálním časem a pořadovým číslem. Tyto hodnoty jsou rovněž ukládány do dynamického pole ekgToSend, ke kterému má přístup třída ClientThread a může je tak odesílat přes Bluetooth do mobilního zařízení. Toto pole slouží jako dynamický buffer hodnot. Na konec bufferu jsou ukládány nové hodnoty a hodnoty na začátku bufferu jsou čteny a odesílány připojeným klientům. Jakmile je hodnota načtena pro odeslání, vymaže se z bufferu.

### 3.2.2 Mobilní aplikace

#### Struktura programu

Struktura programu je vidět na Obr. 3.2. Po spuštění aplikace je zobrazena aktivita ControlActivity, kde má uživatel k dispozici tři volby – Vyhledat Bluetooth zařízení v dosahu, připojit k jednomu z již nalezených zařízení a testovací zobrazení křivky EKG.



Obr. 3.2 – Struktura programu

Mobilní aplikace obsahuje tyto třídy:

- *Assets* – zde jsou uloženy všechny statické proměnné dostupné pro další třídy
- *BTDiscoveryService* – servis pro vyhledání Bluetooth zařízení v dosahu
- *BTListPicker* – aktivita pro výběr připojení k jednomu z nalezených zařízení

- *ControlActivity* – úvodní aktivita s možností výběru akce
- *MonitoringActivity* – aktivita vykreslující EKG křivku v reálném čase
- *RFCOMMService* – servis komunikace s Raspberry
- *ValueProvider* – třída poskytující naměřená data ze souboru pro testovací vykreslení EKG

## Komunikace s Raspberry

Jak již bylo dříve uvedeno, Bluetooth komunikace probíhá v režimu RFCOMM, který simuluje chování klasického poloduplexního sériového rozhraní. Obdobně jako v případě serveru v Raspberry, i u mobilní aplikace probíhá komunikace přes Bluetooth v samostatném vlákně.

U Androidu je zaveden zvláštní typ vlákna, tzv. „servis“. Servisy jsou dvojího druhu – buď je servis napevno spojen s aplikací („STICKY“) a při ukončení aplikace se ukončí i servis, nebo může servis běžet nadále po ukončení aplikace („NON-STICKY“). V našem případě jsou použity servisy typu „STICKY“.

Pro funkční komunikaci s RPi je třeba nalézt dané zařízení v dosahu, získat jeho jméno a především Bluetooth adresu a pokusit se o připojení. Mobilní zařízení s novějším Androidem však mohou komunikovat se zařízením až po spárování obou zařízení. Proto muselo být RPi nastaveno tak, aby automaticky přijímalo výzvy k párování. Po získání adresy RPi je vytvořen socket pomocí UUID (číslo udávající typ protokolu) a vykonán pokus o připojení. V případě úspěšného připojení se servis dostane do smyčky, kdy čeká na dostupná data. Příchozí data jsou přečtena a odeslána monitorovací aktivitě k zobrazení.

## Popis běhu programu

Po spuštění programu je zobrazena aktivita ControlActivity. Ta obsahuje menu se třemi tlačítky – „Vyhledat zařízení“, „Připojit k zařízení“ a „Test vykreslování EKG“.

Po stisknutí tlačítka „Vyhledat zařízení“ je zkontrolován stav Bluetooth adaptéru. Pokud je Bluetooth vypnut, zobrazí se dialog pro zapnutí adaptéru. Dále je zobrazen dialog, který se ptá uživatele, zda povolí viditelnost zařízení po dobu 5 minut. Pokud uživatel odmítne jeden z dialogů, aplikace se vrátí zpět do ControlActivity. V opačném případě začne vyhledávání

zařízení v dosahu pomocí servisu BTDeviceDiscovery. Během vyhledávání je zobrazen Progress dialog a uživatel je informován o probíhající vyhledávání.

Všechna zařízení nalezená během průzkumu jsou uložena do dynamického seznamu nalezených zařízení ve třídě Assets. Tato data jsou pak dostupná pro ostatní třídy. Po skončení průzkumu je spuštěna aktivita BTListPicker, která zobrazí v seznamu všechna nalezená zařízení podle jména a adresy. Zařízení v seznamu jsou vypsaná horizontálně pod sebou a každé zařízení v seznamu má svůj vlastní radiobutton. Radiobuttony jsou propojeny tak, aby šlo vybrat pouze jedno zařízení ze seznamu. Pod seznamem se nachází tlačítko „Připojit“. Po jeho kliknutí dojde ke spuštění servisu RFCOMMService a proběhne připojení k zařízení a čtení dat.

Následně je spuštěna aktivita MonitoringActivity, kde probíhá vykreslování křivky EKG, výpočet tepové frekvence, zobrazení hodnoty aktuální vykreslované hodnoty a při špičce rozvícení symbolu srdce. Při vykreslování křivky se zjišťuje minimální a maximální hodnota průběhu. Při dosažení 80% maximální hodnoty je průběh křivky vyhodnocen jako špička a až do poklesu pod tuto hranici je zobrazen symbol srdce. Intervaly mezi jednotlivými špičkami jsou měřeny a ukládány do bufferu. Poté, co bylo zjištěno alespoň 5 špiček, dojde k výpočtu tepové frekvence zprůměrováním všech pěti hodnot. Od této chvíle je tepová frekvence přepočítávána po každé další špičce stejným způsobem. Je třeba si uvědomit, že je zobrazovaná frekvence pouze orientační a její pravdivost závisí na kvalitě spojení a hladkém běhu programu.

Propojení MonitoringActivity a RFCOMMService je provedeno pomocí BroadcastReceiveru. Jedná se o užitečnou funkci, kdy aktivita naslouchá na vybrané příchozí zprávy a po jejich přijetí vykoná definovanou akci. V našem případě po přijetí zprávy, která je označena jako „ekgAction“, dojde k načtení příchozí hodnoty křivky a příkazem postInvalidate() dojde k vynucení překreslení ekgView, což je grafická součást aktivity zobrazující křivku EKG a puls. RFCOMMService tedy po každém přijetí nové hodnoty od RPi pošle broadcast zprávu, kterou zachytí MonitoringActivity a aktualizuje vykreslovanou křivku.

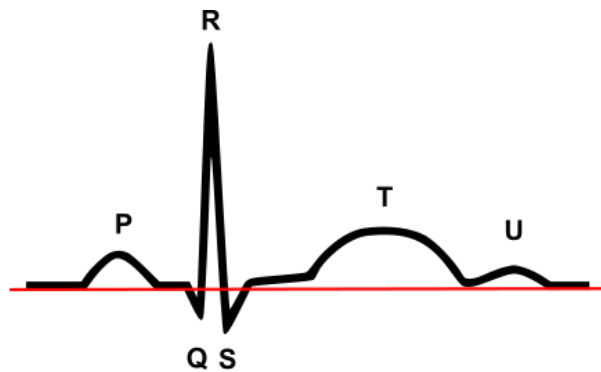
Pokud uživatel již vyhledal dostupná zařízení v okolí, nemusí provádět vyhledávání znovu. Stačí v ControlActivity kliknout na tlačítko „Připojit k zařízení“ a následně vybrat v seznamu aktivity BTListPicker požadované zařízení.

Tlačítko „Test vykreslování EKG“ slouží pro testovací účely a vykresluje křivku EKG z dříve naměřených hodnot uložených do souboru „values.txt“. Soubor obsahuje 500 sousledných hodnot. Tyto hodnoty jsou načteny do pole třídou ValueProvider a jsou předávány aktivitě MonitoringActivity stále dokola. Křivka se tedy stále opakuje.

## 4 Měření EKG

### 4.1 Vznik a průběh EKG signálu

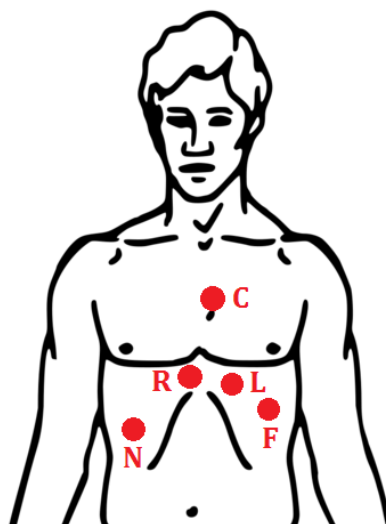
Impuls pro kontrakci myokardu vzniká v tzv. sinoatriálním (SA) uzlu v oblasti pravé předsíně, odkud se šíří dál. Pro účel našeho stručného výkladu je důležité si uvědomit, že tento primární signál je natolik slabý, že jej při běžném záznamu EKG prakticky nezaznamenáme. První vlna signálu, kterou můžeme na EKG záznamu vidět, je vlna P, která svědčí o depolarizaci předsíní, tedy o jejich počínající kontrakci. Samotnou repolarizaci předsíní na EKG nejsme schopni rozpoznat, neboť příslušný biosignál je zastíněn daleko vyšším signálem, pocházejícím od depolarizace komor; tento signál je charakterizován komplexem vln QRS. Následující vlna T svědčí o následné repolarizaci komor. [8]



Obr. 4.1 – Průběh EKG signálu [9]

### 4.2 Provedení měření

EKG bylo měřeno nejprve s klasickými gelovými elektrodami a poté s textilními elektrodami, kde se používalo různé rozmístění a počet elektrod. Aby bylo možné efektivně porovnat výsledky měření s oběma typy elektrod, bylo v případě gelových elektrod zvoleno stejné rozmístění jako bylo původní zamýšlené rozmístění textilních elektrod. Toto rozmístění je znázorněno na Obr. 4.2. Původní obrázek byl převzat z [10]. Značení elektrod na obrázku odpovídá značení elektrod EKG modulu.



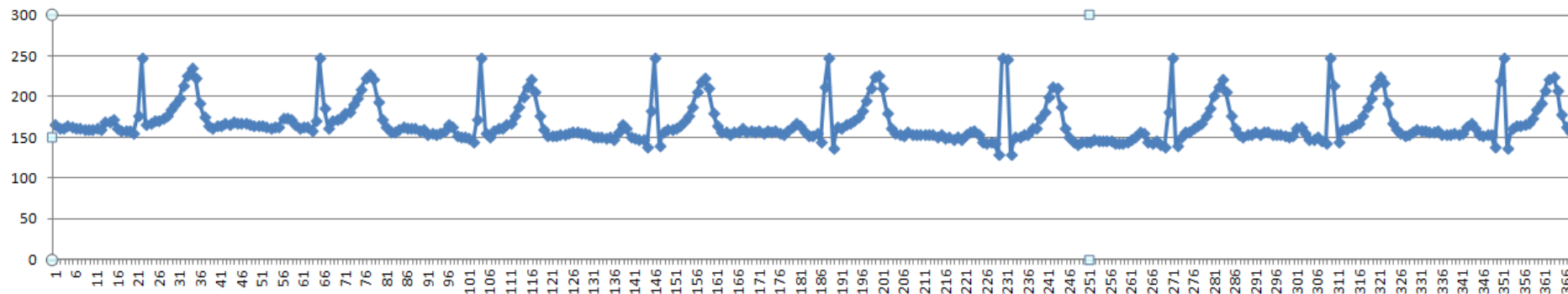
Obr. 4.2 – Rozmístění gelových elektrod

Měření se nejprve provádělo v klidu, poté se zvedáním rukou během měření a nakonec při provádění dřepů. Každý typ měření byl opakován třikrát a výsledné křivky se porovnávaly. Měření probíhalo po dobu 3 minut, aby se vyloučily přechodové jevy a aby se křivky EKG a respirace stačily ustálit. Před měřením s textilními elektrodami bylo nejdříve nutné elektrody navlhčit vodou. Bez navlhčení nebylo možné naměřit jakýkoli odpovídající průběh. Grafy průběhu EKG křivky byly vytvořeny v programu MS Excel s použitím naměřených dat z csv souborů. Vertikální osa grafu udává naměřené hodnoty v rozmezí 0-255 a horizontální osa pořadová čísla hodnot. Nastavení EKG modulu zůstalo stejné pro všechna měření.

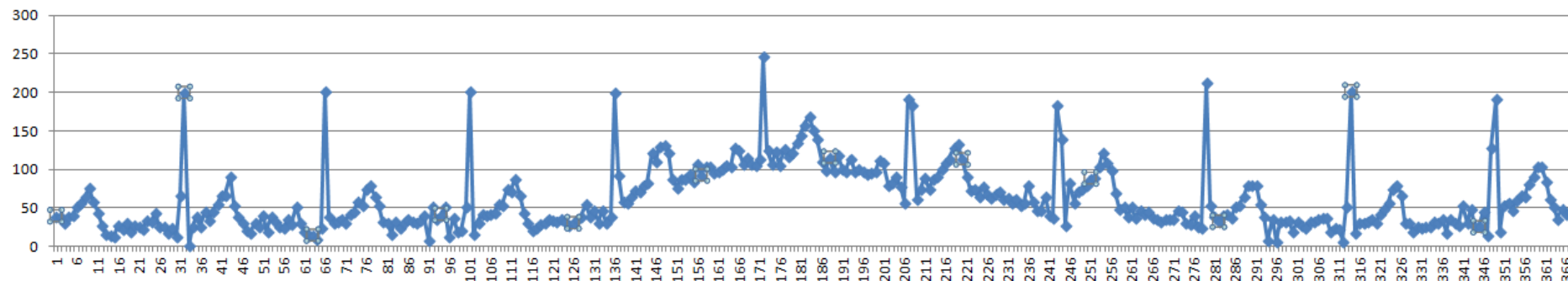
Fotografie zapojení systému během měření viz příloha (Obr. 7-13).

### 4.3 Měření s gelovými elektrodami

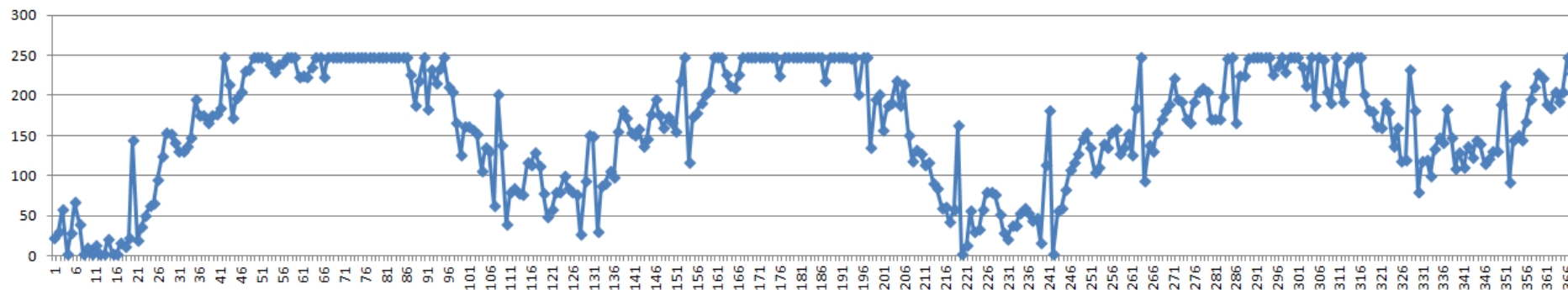
Na Obr. 4.3 až 4.5 jsou znázorněny naměřené průběhy s použitím gelových elektrod. Pro všechna tři měření byla frekvence odesílání hodnot nastavena na 50Hz, úroveň zesílení signálu na hodnotu 1 (výchozí). Dále byl zvolen Monitoring a Adult mód a oba typy filtrů byly nastaveny na hodnotu OFF (vypnuto).



Obr. 4.3 – Naměřený průběh – 5 gelových elektrod, klid, křivka II



Obr. 4.4 – Naměřený průběh – 5 gelových elektrod, zvedání rukou, křivka II



Obr. 4.5 – Naměřený průběh – 5 gelových elektrod, dřepy, křivka II



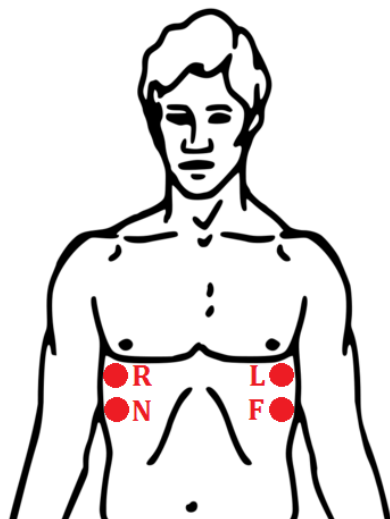
#### 4.4 Měření s textilními elektrodami

V případě textilních elektrod se testovalo několik různých typů rozmístění. Prvním testovaným typem bylo rozmístění dle Obr. 4.2. Pro zjednodušení návrhu textilního pásu pro pacienta se dále zkoumala možnost snížit počet elektrod potřebných pro měření. Dalším navrženým typem pak bylo použití pouze 4 elektrod, kdy na každém boku pacienta byly umístěny 2 elektrody (viz Obr. 4.6). Druhou variantou se čtyřmi elektrodami bylo rozmístění dle Obr. 4.7. V této variantě jsou 2 elektrody umístěny na bocích, 1 elektroda na hrudníku a 1 elektroda na zádech. Dvojice elektrod tak tvoří pomyslný kříž. Tento typ rozmístění se však ukázal jako nefunkční.

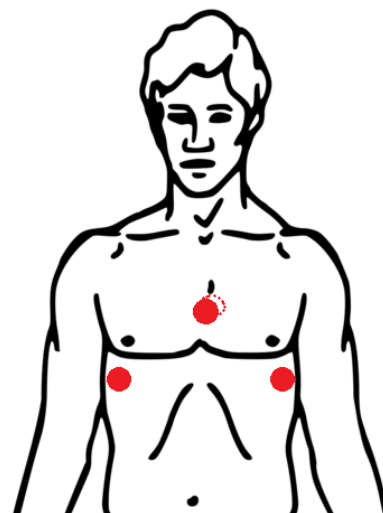
Poté následovalo testování zapojení 3 elektrod (R, L, N) na bocích pacienta (Obr. 4.8). Toto zapojení se osvědčilo a výsledky byly stejné jako v případě použití 4 elektrod. Při tomto zapojení však nebyla naměřena křivka respirace. Posledním pokusem bylo použití pouze 2 elektrod umístěných na bocích pacienta. Zde se testovaly různé variace použitých elektrod, ale tento typ rozmístění se bohužel neosvědčil.

Z pokusů vyplynulo, že ke změření použitelného průběhu EKG jsou potřeba alespoň tři připojené elektrody. Experimentálně však bylo zjištěno, že pokud vodivě spojíme elektrody R a N v případě rozmístění dle Obr. 4.7, naměřený průběh EKG křivky se téměř nezmění a máme tak možnost měřit pouze se dvěma elektrodami aktivně připojenými k pacientovi.

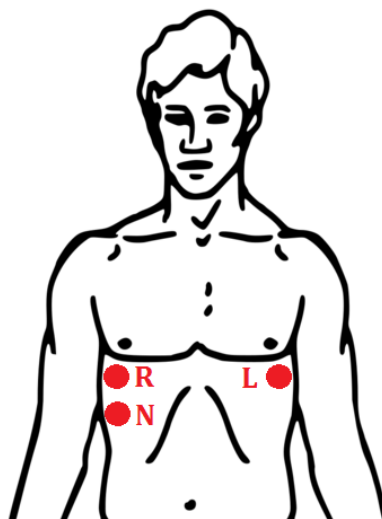
Na závěr jsme provedli měření s textilními elektrodami zabudovanými do textilního obleku (viz Obr. 12 a 13 v příloze). Jednalo se o variantu se čtyřmi a se dvěma elektrodami umístěnými na bocích. Elektrody bylo před započítím měření opět nutno navlhčit.



Obr. 4.6 – Rozmístění na bocích

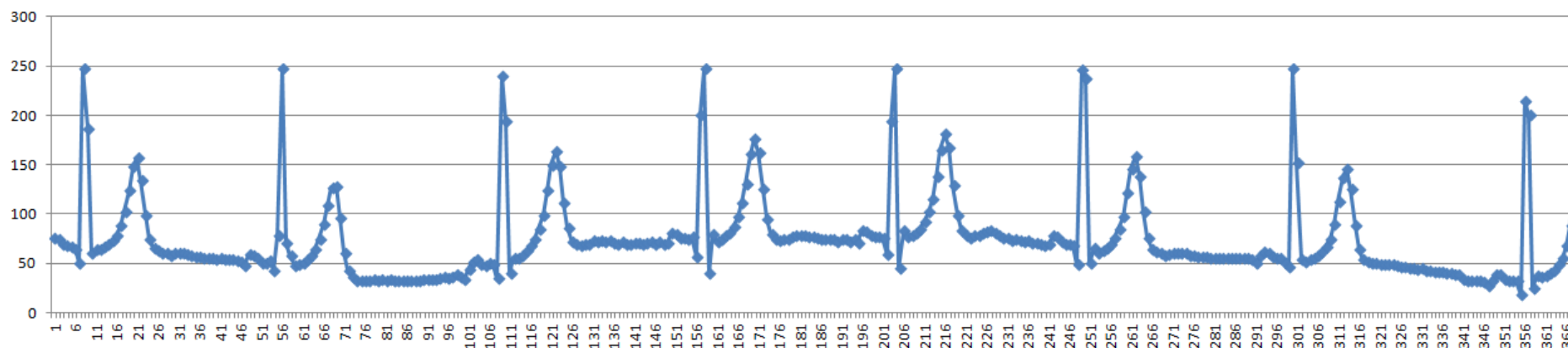


Obr. 4.7 – Rozmístění do kříže

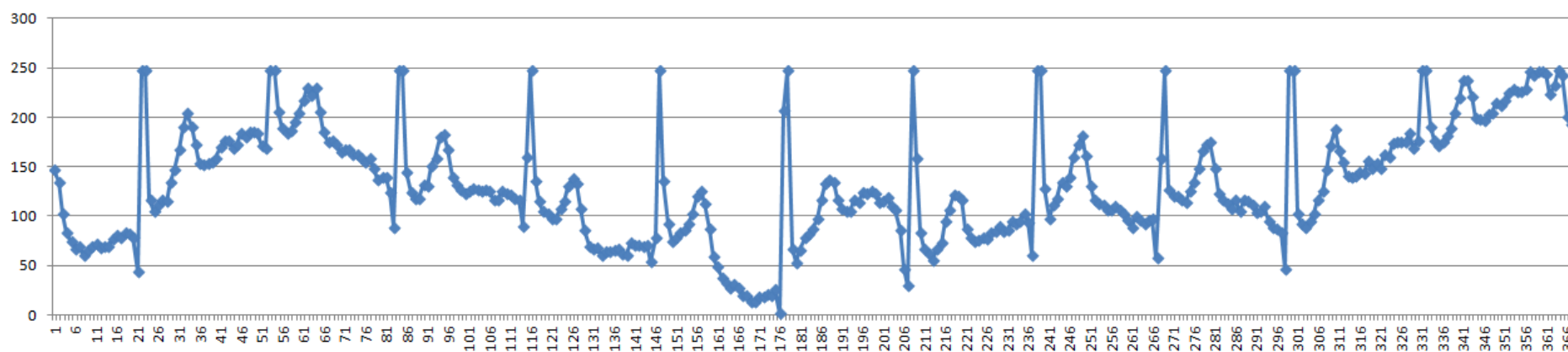


Obr. 4.8 – Zapojení se třemi elektrodami

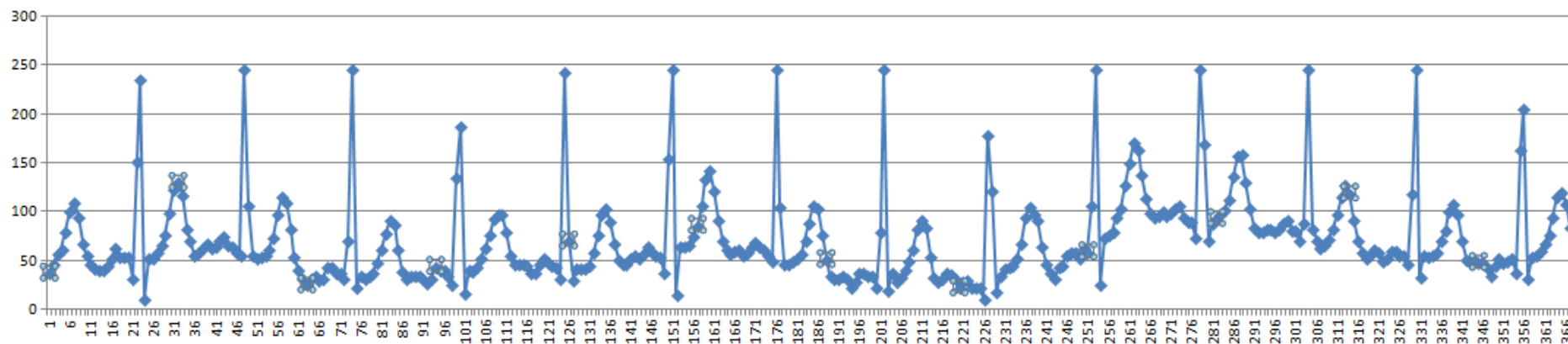
Obr. 4.9 až 4.11 níže zachycují naměřené průběhy pro 5-elektrodové měření s rozmístěním elektrod shodným jako v případě měření s gelovými elektrodami (Obr. 4.2). Následující průběhy pak znázorňují naměřené křivky při různých rozmístěních a počtech elektrod. Na Obr. 4.15 a 4.16 jsou pak zobrazeny průběhy naměřené s textilními obleky.



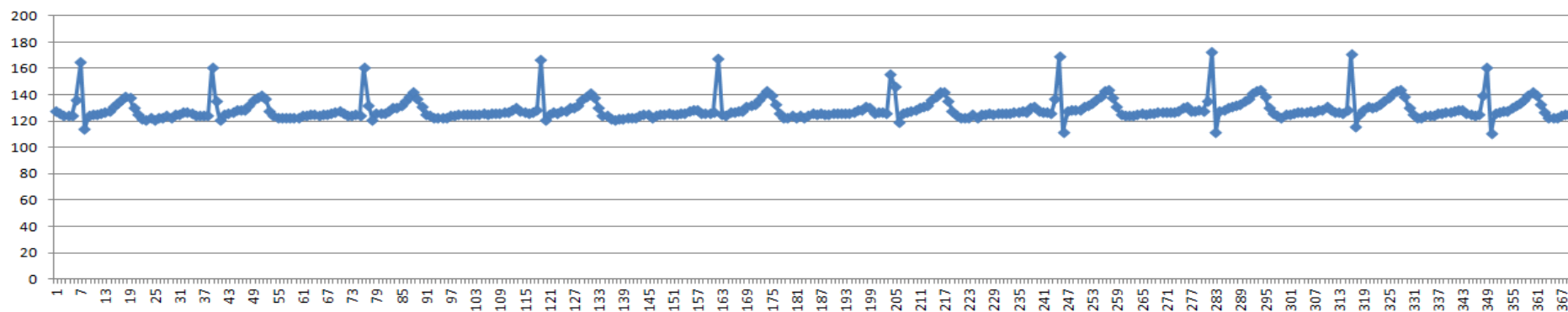
Obr. 4.9 – Naměřený průběh – 5 textilních elektrod, klid, křivka II



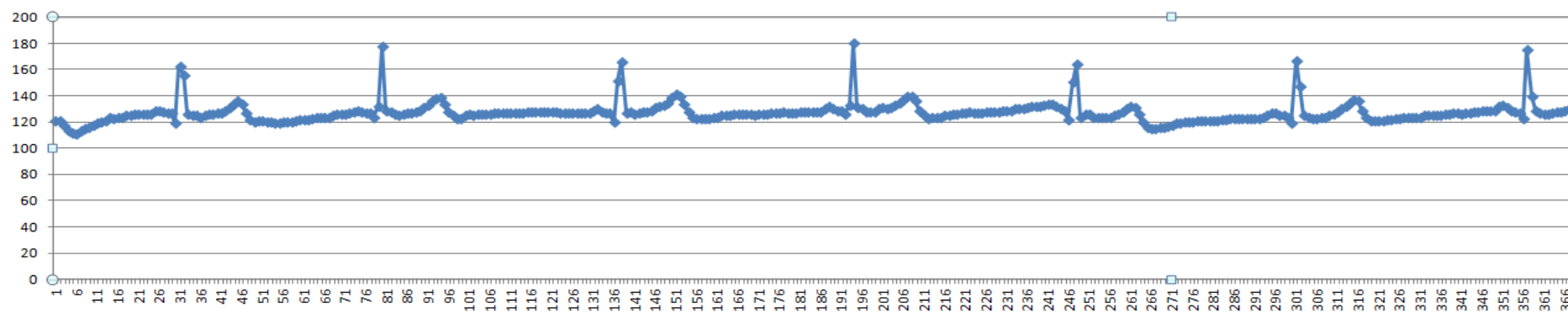
Obr. 4.10 – Naměřený průběh – 5 textilních elektrod, zvedání rukou, křivka II



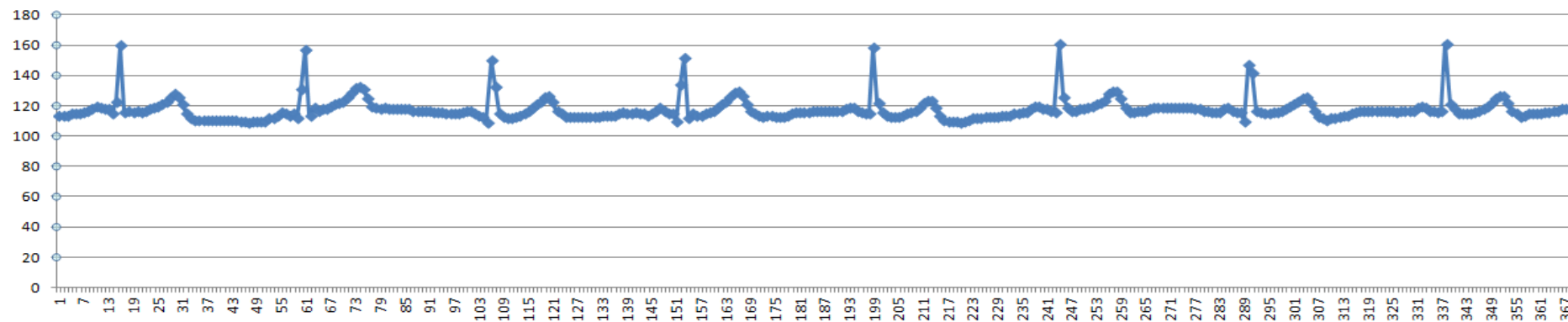
Obr. 4.11 – Naměřený průběh – 5 textilních elektrod, dřepy, křivka II



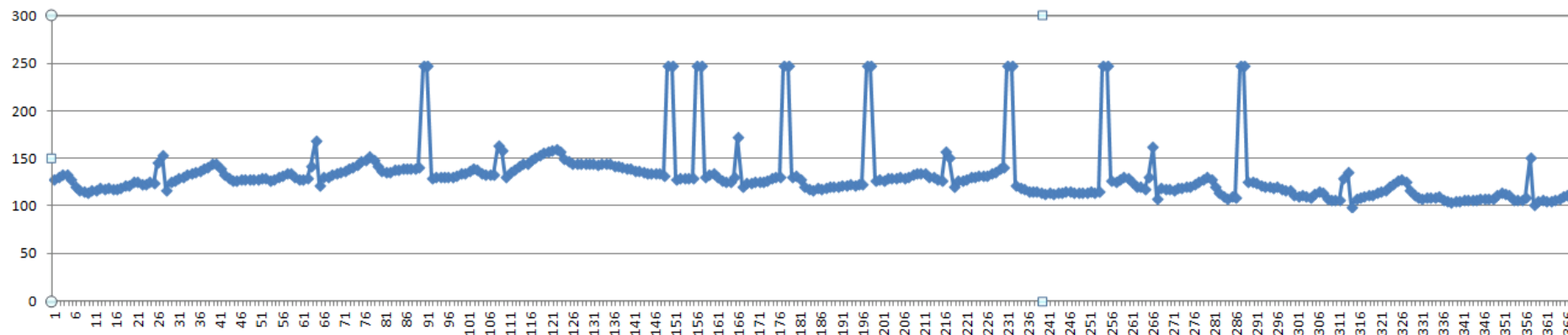
Obr. 4.12 – Naměřený průběh – 4 textilní elektrody, klid, křivka II



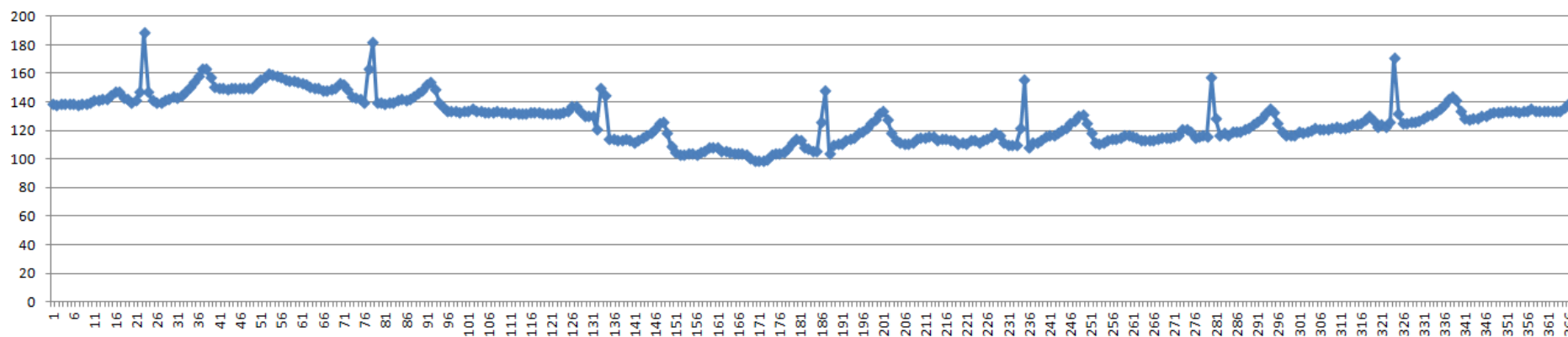
Obr. 4.13 – Naměřený průběh – 3 textilní elektrody, klid, křivka II



Obr. 4.14 – Naměřený průběh – 2 textilní elektrody (R-N spojeno), klid, křivka II



Obr. 4.15 – Naměřený průběh – textilní oblek se čtyřmi elektrodami



Obr. 4.16 – Naměřený průběh – textilní oblek se dvěma elektrodami

## 4.5 Zhodnocení naměřených dat

Z naměřených dat je patrné, že nejlepších výsledků, co se kvality výsledného EKG signálu týče, dosáhneme zapojením všech 5 elektrod. Křivka EKG naměřená za pomoci 4 a méně elektrod vykazuje mnohem nižší amplitudu signálu. Tato amplituda se dá však upravit vhodným nastavením modulu. Křivky z měření s méně než pěti zapojenými elektrodami mají téměř shodné charakteristiky. Nabízí se tedy možnost měření s vyšší přesností pomocí připojení všech pěti elektrod a měření s nižší přesností použitím pouze dvou elektrod připojených k pacientovi, přičemž elektroda R je vodivě spojena s elektrodou N.

Ze získaných dat je vidět, že pro optimální průběh křivky je nutné, aby byl pacient v klidu. Svalové kontrakce narušují průběh EKG a projevují se plovoucí klidovou úrovní signálu. V případě gelových elektrod byla křivka nejvíce znehodnocena při provádění dřepů, kdy se naměřené hodnoty dostaly až mimo měřený rozsah. U textilních elektrod se díky rozdílnému uchycení křivka nejvíce znehodnotila při periodickém zvedání rukou. Bylo to způsobeno nedokonalým upnutím textilního pásu, který se při pohybu rukou pohyboval. Některé elektrody kvůli tomu úplně nedoléhaly na tělo pacienta a to způsobilo výkyvy v průběhu křivky.

Z hodnot naměřených pomocí obleku se zabudovanými elektrodami je patrná plovoucí klidová úroveň signálu. Dvouelektrodový oblek byl zhotoven chybně, neboť z šestice elektrodových pruhů na obou stranách byly s výstupní svorkou vodivě spojeny pouze dva krajní pruhy. To mohlo zapříčinit větší odchylky hodnot. V případě obleku se čtyřmi elektrodami jsou z grafu signálu patrné špičky. Tyto špičky byly způsobeny nejspíše nedokonalým kontaktem elektrod s povrchem těla pacienta. Oblek se čtyřmi elektrodami měl totiž větší rozměry než oblek dvouelektrodový a elektrody tak nebyly pod dostatečným přitlakem. Měření jsme prováděli celkem třikrát, ale špičky se nám nepodařilo odstranit ani při ručním přitlaku elektrod k povrchu těla. Při pohybu rukou byly ve výstupním signálu přítomny obrovské výkyvy až do krajních hodnot, které znemožňovaly jakýkoli rozbor křivky EKG.

Signál naměřený při použití textilních elektrod měl větší amplitudu a zesílení než při použití klasických gelových elektrod. Průběhy naměřené s textilními elektrodami umístěnými

na elastickém pásu jsou podle mého názoru dostatečně kvalitní v porovnání s průběhy naměřenými s gelovými elektrodami. To dělá z textilních elektrod dobrou volbu pro monitorování EKG. Jejich nevýhodou je však nutnost vlhčení, suché elektrody nejsou schopny naměřit seriózní průběh.





## Závěr

V první části této práce byl proveden průzkum trhu s cílem nalézt vhodný modul pro měření EKG. Na základě tohoto průzkumu byl vybrán modul Medlab EG05000, který splňoval cenové i technické požadavky. Ve druhé části byl vybrán vhodný mikrokontrolér (Raspberry Pi) a byl vytvořen návrh systému. Ve třetí části byla provedena realizace systému z hlediska hardwaru i softwaru a v poslední části bylo provedeno měření EKG pomocí konvenčních a textilních elektrod.

Realizovaný systém dokáže měřit křivku EKG, ukládat naměřená data na SD kartu a zároveň je odesílat do spárovaného mobilního zařízení přes rozhraní Bluetooth. Díky tomu je možné sledovat průběh EKG v reálném čase a po ukončení měření získat naměřené hodnoty z SD karty.

Java aplikace pro Raspberry byla zpočátku neefektivní a zbytečně zatěžovala procesor. Po provedení optimalizace, která spočívala v rozdělení částí programu do samostatných vláken a jejich pravidelným uspáváním při nečinnosti, se využití procesoru při plném běhu programu snížilo z 90 na přibližně 25-30%, což poskytuje dostatečnou výkonovou rezervu pro bezproblémový běh systému.

Měřením bylo zjištěno, že textilní elektrody dokáží poskytnout dostatečně kvalitní průběh EKG signálu a jsou tedy vhodnou volbou pro monitoring pacienta. Podmínkou je ovšem dobré přilehnutí elektrod k povrchu těla a dostatečné navlhčení. U textilního obleku nebyl přítlak elektrod k povrchu těla dostatečný, proto byly ve výsledné křivce přítomny špičky a plovoucí klidová úroveň. Postupným testováním jsme zjistili, že se dá průběh EKG měřit i pouze pomocí dvou textilních elektrod aktivně připojených k pacientovi.

Textilní elektrody mají oproti konvenčním výhodu v tom, že je není nutné lepit na tělo pacienta. Poskytují tak o něco lepší mobilitu pacienta, ale při pohybu dochází ke znehodnocení průběhu křivky stejně jako u gelových elektrod. U gelových elektrod byl průběh nejvíce znehodnocen při provádění dřepů, u textilních během pohybu rukou.

Zadání této práce bylo splněno. Nabízí se zde další možnosti rozšíření (například přenos dat na webový server), což vytváří prostor pro další diplomové práce.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] EG05000 Technical manual. *Medlab.eu*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://www.medlab.eu/english/downloads/eg05000\\_107.pdf](http://www.medlab.eu/english/downloads/eg05000_107.pdf)
- [2] IQMark Operation manual. *Midmark.com*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.midmark.com/docs/librariesprovider6/pdfs/3-100-1021.pdf>
- [3] PC EKG SE-1515 modul DP12. *Polymedshop.cz*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.polymedshop.cz/z10891-pc-ekg-se-1515-modul-dp12>
- [4] Aktivní EKG kabel – Custo Cardio 120. *Martsoft.cz*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.martsoft.cz/inpage/custo-cardio-120/>
- [5] Raspberry Pi. *Hw.cz*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/produkty/raspberry-pi-maly-pocitac-velka-komunita-nadsencu.html>
- [6] AUTOR NEUVEDEN. *Pcmag.com* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www4.pcmag.com/media/images/351321-raspberry-pi.jpg?thumb=y>
- [7] AUTOR NEUVEDEN. *Scurvyrat.com* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://scurvyrat.com/wp/wp-content/uploads/2012/08/Screen-shot-2012-08-18-at-1.37.40-PM.png>
- [8] Elektrokardiogram. *Wikipedia.org*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrokardiogram>
- [9] AUTOR NEUVEDEN. *Premiummedical.lv* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.premiummedical.lv/images/stories/ekg.png>
- [10] AUTOR NEUVEDEN. *Wikimedia.org* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0c/Pioneer\\_plaque\\_man\\_up\\_per\\_body\\_as\\_diagram\\_template.png/350px-Pioneer\\_plaque\\_man\\_upper\\_body\\_as\\_diagram\\_template.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0c/Pioneer_plaque_man_up_per_body_as_diagram_template.png/350px-Pioneer_plaque_man_upper_body_as_diagram_template.png)
- [11] Downloads. *Raspberrypi.org*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.raspberrypi.org/downloads>
- [12] Win32 Disk Imager. *Sourceforge.org*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://sourceforge.net/projects/win32diskimager/>
- [13] RPi Easy SD Card Setup. *Elinux.org*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://elinux.org/RPi\\_Easy\\_SD\\_Card\\_Setup](http://elinux.org/RPi_Easy_SD_Card_Setup)
- [14] How to install java JDK on raspberry pi. *Stackexchange.com*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://raspberrypi.stackexchange.com/questions/4683/how-to-install-java-jdk-on-raspberry-pi>
- [15] Installing the Raspberry Pi Nano Bluetooth Dongle. *Modmypi.com*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <https://www.modmypi.com/blog/installing-the-raspberry-pi-nano-bluetooth-dongle>
- [16] Bluecove for ARMv6/ Raspberry Pi. *Stackoverflow.com*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://stackoverflow.com/questions/15041460/bluecove-for-armv6-raspberry-pi-help-please>
- [17] Bluecove. *Sourceforge.net*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://sourceforge.net/projects/bluecove/files/BlueCove/2.1.0/bluecove-2.1.0-sources-all.zip/download>
- [18] Bluecove. *Sourceforge.net*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://sourceforge.net/projects/bluecove/files/BlueCove/2.1.0/bluecove-2.1.0.jar/download>

## **Přílohy**

Všechny zdrojové kódy jsou k práci přiloženy na CD.

### Srovnávací tabulky mikrokontrolérů

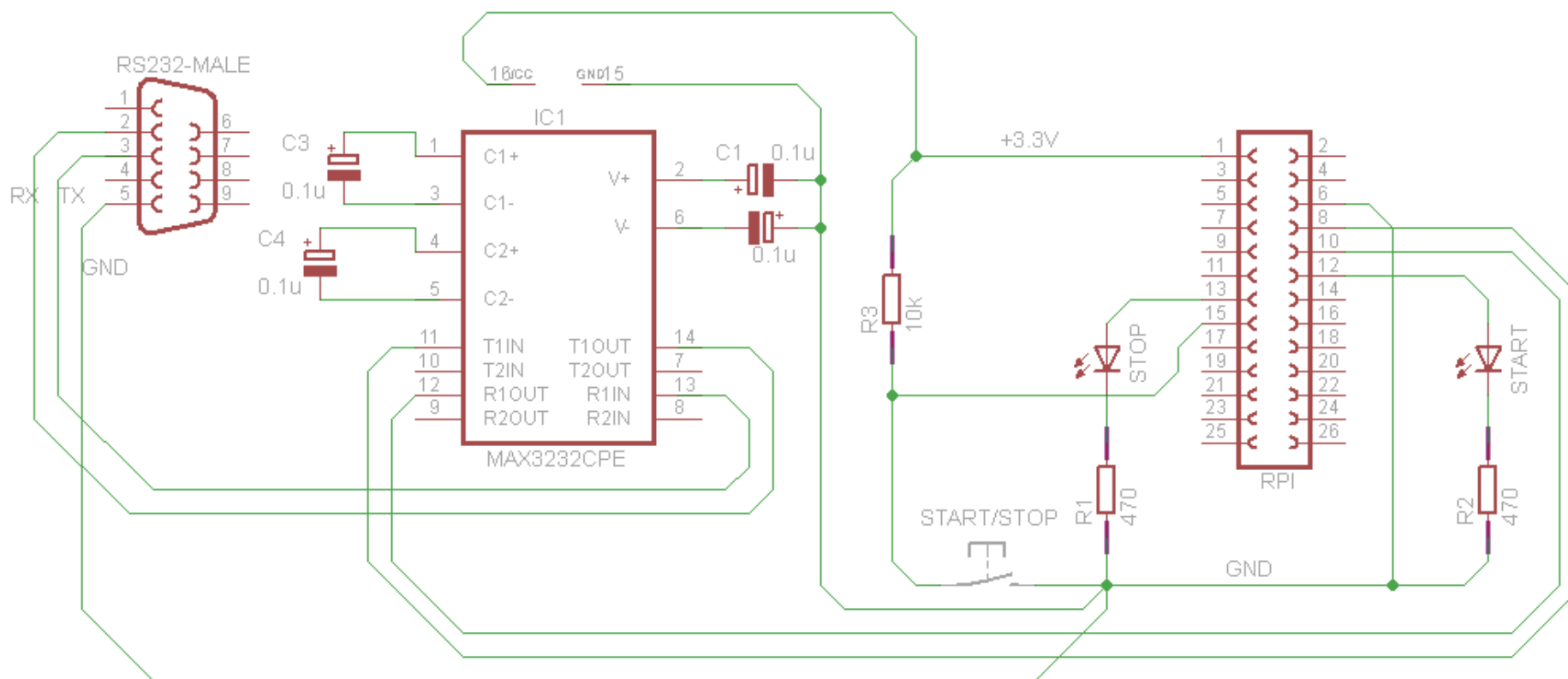
Název	Rozšířenost	Rozměry	Cena	CPU	GPU	RAM	Flash	Max. paměť
Arduino Due	střední	Různé	1200 Kč	AT91SAM3X8E/ 85MHz	X	96kB	512kB	512kB
Raspberry Pi B	velká	86x54 mm	900 Kč	ARM11/ 700MHz	VideoCore IV	512MB	X	32GB SD
Raspberry Pi 2	střední	85x56 mm	1100 Kč	ARM Cortex-A7 QC/ 900MHz	VideoCore IV dualcore	1GB	X	64GB SD
CubieBoard	střední	100x60 mm	1200 Kč	ARM Cortex-A8/ 1GHz	ARM Mali- 400	1GB	4GB	32GB SD
GooseBerry	malá	Větší než RPi	1300 Kč	ARM Cortex-A8/ 1GHz	ARM Mali- 400	512MB	4GB	32GB SD
APC Rock	malá	170x85 mm	2000 Kč	ARM Cortex-A9/ 800MHz	ARM Mali- 400	512MB	4GB	32GB SD
A13 OlinuXino Wifi	malá	120x120 mm	1400 Kč	ARM Cortex-A8/ 1GHz	ARM Mali- 400	1GB	4GB	32GB SD
HackBerry A10	malá	86x54 mm	1300 Kč	ARM Cortex-A8/ 1,2GHz	ARM Mali- 400	1GB	4GB	32GB SD
Cotton Candy	malá	80x25 mm	3900 Kč	ARM Cortex-A9/ 1,2GHz	ARM Mali- 400	1GB	X	64GB SD
PandaBoard	malá	114x102 mm	3600 Kč	ARM Cortex-A9/ 1GHz	SGX 540	1GB	X	64GB SD
BeagleBoard	střední	76x79 mm	2500 Kč	ARM Cortex-A8/ 720MHz	NEON, VFP	512MB	256MB	64GB SD
CuBox	malá	50x50x50 mm	2400 Kč	Marvell Armada 510/ 800MHz	Integrovaný	1GB	X	64GB SD
Gumstix DuoVero Zephyr	malá	58x17 mm	5100 Kč	ARM Cortex-A9/ 1GHz	SGX 540	1GB	X	64GB SD
Rikomagic MK802 II	malá	98x27 mm	1400 Kč	ARM Cortex-A8/ 1GHz	ARM Mali- 400	1GB	X	64GB SD
Arietta G26	malá	53x25 mm	900 Kč	AT91SAM9G25/ 400MHz	X	256MB	X	64GB SD
UDOO	malá	110x85x15 mm	1300 Kč	ARM Cortex-A9 QC/ 1GHz	Integrovaný	1GB	X	64GB SD
Edison	malá	36x25 mm	1600 Kč	Intel Atom DC 500MHz/ Quark 100MHz	X	1GB	4GB	X

Tab. 1 – Srovnávací tabulka mikrokontrolérů

Název	GPIO	Analog IO	USB	Ethernet	WiFi	HDMI	VGA/DVI	Video Out	Audio Out	SATA	Linux	Android
Arduino Due	54	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Raspberry Pi B	26	0	2	1	0	1	0	1	1	0	1	1
Raspberry Pi 2	40	0	2	1	0	1	0	1	1	0	1	1
CubieBoard	96	0	2	1	0	1	0	0	1	1	1	1
GooseBerry	0	0	1	0	1	1	VGA	0	1	0	1	1
APC Rock	24	0	3	1	0	1	VGA	0	1	0	1	1
A13 OlinuXino Wifi	68/74	0	3	0	1	0	VGA	1	1	0	1	1
HackBerry A10	serial	0	2	1	1	1	0	1	1	0	1	1
Cotton Candy	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	1	1
PandaBoard	1	0	3	1	1	1	DVI	0	1	0	1	1
BeagleBoard	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	?
CuBox	0	0	2	1	0	1	0	0	1	1	1	1
Gumstix DuoVero Zephyr	0	0	2	1	1	1	0	0	1	0	1	?
Rikomagic MK802 II	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1
Arietta G26	40	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
UDOO	76	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Edison	20	6	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0

Tab. 2 – Srovnávací tabulka mikrokontrolérů

### Schéma zapojení měřicí desky



Obr. 1 – Schéma zapojení měřicí desky

## Instalace součástí

V první řadě bylo nutné naformátovat vhodnou SD kartu a nahrát na ní operační systém, aby se dalo na RPi vůbec cokoli provádět. Použil jsem SD kartu o velikosti úložiště 8GB a kartu jsem naformátoval přes PC. Dále bylo potřeba nahrát na ni operační systém. Zde bylo několik možností – Android, Noobs, Raspbian, Snappy Ubuntu a další. Uvažovali jsme o použití systému Android a Raspbian. Spojení Androidu a RPi ale bohužel ještě není tak dokonalé, aby šel tento systém bez problémů použít pro naše účely. Pro Raspberry jsou dostupné tyto verze Androidu:

- v2.3
- v4.0
- v 4.0.3

Android v2.3 je ve spojení s Raspberry kritizován pro pomalý běh systému, v4.0 je označována jako nestabilní a v4.0.3 již disponuje rychlým bootem a hardwarovým akcelerátorem, ale to stále neřeší nedostupnost knihoven, nemožnost ovládat některé periferie a slabou podporu. Kvůli těmto nedostakům byl nakonec vybrán operační systém Raspbian, který je jakousi “osekanou” verzí Debian Linuxu.

## Instalace Raspbianu

Vlastní instalace systému na SD kartu je poměrně jednoduchá. Pro instalaci přes počítač s operačním systémem Windows potřebujeme stáhnout obraz Raspbianu z oficiální stránky [11] a dále pak program Win32DiskImager [12]. Naformátovanou SD kartu vložíme do čtečky karet do PC a pomocí programu Win32DiscImager na ni nahrajeme obraz. Poté vložíme kartu do RPi a připojíme napájecí kabel. Další práci se systémem pak můžeme provádět buď pomocí klávesnice, myši a HDMI výstupu, nebo přes SSH.

Pro povolení HDMI je nutné přepsat nastavení v souboru config.txt na SD kartě odkomentováním řádku “hdmi\_force\_hotplug=1“. Odkomentování se provádí smazáním znaku ‘#’ na začátku řádku.

Pro přístup přes SSH stačí buď zjistit IP adresu Raspberry připojeného k PC pomocí ethernetu pomocí příkazu ipconfig v příkazové řádce, nebo nastavit IP adresu ručně v souboru cmdline.txt, který se rovněž nachází na SD kartě. Pro ruční nastavení stačí do zmíněného



souboru připsat zvolenou IP adresu, např. “ip=169.254.1.1”. Toto ruční nastavení může však někdy způsobovat čekání na připojení Ethernetu při startu RPi. Pro SSH přístup pak můžeme použít libovolný program, například Putty. Výchozí uživatelské jméno a heslo pro přihlášení je “pi”.

## Nastavení WiFi

Po úspěšném přihlášení do systému je nutné provést aktualizaci. Pokud přistupujeme k RPi přes SSH, je nutné připojit USB WiFi modul, protože by nebylo možné zároveň přenášet data z internetu a zadávat příkazy přes jediný Ethernet port. Já osobně jsem použil WiFi modul WiPi, dělaný přímo pro RPi. Modul stačí zapojit do USB a nastavit přístup k síti. Nastavení se provádí v souboru /etc/network/interfaces. Můžeme použít například příkaz “sudo pico /etc/network/interfaces”, který nám otevře tento soubor v textovém editoru. Pro naši domácí síť je obsah souboru:

```
auto lo
iface lo inet loopback
```

```
auto eth0
iface eth0 inet static
address 169.254.1.1
netmask 255.255.0.0
```

```
auto wlan0
iface wlan0 inet static
address 192.168.1.101
netmask 255.255.255.0
gateway 192.168.1.1
```

```
wpa-ssid "název sítě"
wpa-psk "heslo"
```

S tímto nastavením se připojuji k RPi přes SSH skrze IP adresu 169.254.1.1 a v bezdrátové síti je pak RPi pod IP adresou 192.168.1.101.

Poté, co máme zprovozněné připojení k síti, je nutné provést aktualizaci systému. Tu provedeme příkazem “sudo apt-get update”.

## Instalace Javy

Pro možnost spouštění Java programů je třeba nainstalovat Java Runtime Environment. Javu nainstalujeme příkazem “sudo apt-get install openjdk-7-jre”. Po skončení instalace je dobré nastavit globální cestu k JRE, abychom nemuseli při spouštění programů zadávat celou

cestu. Pro verzi Java Development Kitu 1.8.0 to provedeme pomocí příkazu “sudo export PATH=/usr/local/jdk1.8.0/bin:\$PATH”. Nyní nám pro spuštění Java programu stačí vykonat příkaz “java -jar cesta\_k\_souboru”.

## Instalace PHP

Pro instalaci PHP serveru provedeme následující příkaz: “sudo apt-get install apache2 php5 libapache2-mod-php5”. Poté je třeba přidat novou skupinu a uživatelský mód, abychom mohli pomocí PHP skriptů vytvářet soubory a vykonávat cmd příkazy. Provedeme následující:

```
sudo groupadd www-data
sudo usermod -g www-data www-data
sudo service apache2 restart
```

Nyní je dobré vyzkoušet, zda PHP server funguje. Funkčnost ověříme jednoduše tím, že do webového prohlížeče napíšeme do adresového řádku IP adresu našeho RPi a stiskneme Enter. Měla by se zobrazit webová stránka s nápisem “It Works!”.

## Instalace Bluetooth

Pro účely komunikace přes rozhraní Bluetooth jsem použil USB adaptér Trust Bluetooth 4.0. Opět je třeba nainstalovat příslušné balíky, abychom zprovoznili jeho funkci. Toto je poněkud komplikovanější, než předešlé instalace. Aby byl adaptér schopen správně fungovat s naším RPi a abychom mohli Bluetooth používat skrze Javu, musíme si ručně zkompilovat knihovnu BlueCove pro naše RPi. Nejprve nainstalujeme potřebné balíky pomocí příkazu “sudo apt-get install bluetooth bluez-utils blueman“. Dále zkusíme najít připojený Bluetooth adaptér v systému, provedeme příkaz „lsusb“. Měl by se nám vypsat seznam zařízení připojených přes USB. V mém případě byl výpis následující:

```
Bus 001 Device 002: ID 0424:9512 Standard Microsystems Corp.
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 001 Device 003: ID 0424:ec00 Standard Microsystems Corp.
Bus 001 Device 004: ID 05e3:0608 Genesys Logic, Inc. USB-2.0 4-Port HUB
Bus 001 Device 005: ID 2019:1201 PLANEX
Bus 001 Device 006: ID 0a12:0001 Cambridge Silicon Radio, Ltd Bluetooth Dongle (HCI mode)
```

Z výpisu je patrné, že byl adaptér nalezen pod číslem 6. Dále můžeme zkusit ověřit stav adaptéru a zkusit nalézt zařízení v dosahu:

```
root@raspberrypi:/home/pi# /etc/init.d/bluetooth status
```

```
[ ok ] bluetooth is running.
```

```
root@raspberrypi:/home/pi# hcitool scan
Scanning ...
A0:F4:50:4A:6C:3B    HTC One V
```

Vidíme, že adaptér běží a že jsme našli v dosahu mobilní telefon. Nyní je třeba zkompilovat BlueCove knihovnu, abychom mohli Bluetooth adaptér ovládat pomocí Javy. Nainstalujeme další potřebné balíky:

```
sudo apt-get install ant
sudo apt-get install libbluetooth-dev
```

Nyní musíme stáhnout zdrojové soubory BlueCove pro Linux (viz [17]). Rozbalíme zdrojové soubory a zkopírujeme je do RPi. Dále stáhneme knihovnu BlueCove (viz [18]). Ve složce „bluecove-2.1.0-sources-all/bluecove/“ vytvoříme složku „target“ a do ní umístíme staženou knihovnu BlueCove (více informací v „bluecove-2.1.0-sources-all/bluecove-gpl/developer-read-me.txt“). Knihovnu je nutné přejmenovat na „bluecove-2.1.0-SNAPSHOT.jar“. Otevřeme složku „bluecove-gpl“ v RPi terminálu a spustíme příkaz „ant all“. Poté se zkompiluje knihovna „bluecove-gpl-2.1.0-SNAPSHOT.jar“ a uloží se do složky „/bluecove-gpl/src/main/resources“. Tuto vygenerovanou knihovnu a knihovnu „bluecove-2.1.0.jar“ je pak nutno připojit k Java projektu, ve kterém budeme Bluetooth používat.

Během kompilace jsem se setkal s následující chybou:

```
BUILD FAILED
/home/pi/bluecove-2.1.0-sources-all/bluecove-gpl/build.xml:87: Unable to find a javac compiler;
com.sun.tools.javac.Main is not on the classpath.
Perhaps JAVA_HOME does not point to the JDK.
It is currently set to "/usr/lib/jvm/java-7-openjdk-armhf/jre"
```

Pro odstranění této chyby je třeba přenastavit systémovou cestu JAVA\_HOME v souboru „.bashrc“. Provedeme příkaz „sudo nano ~/.bashrc“ a do souboru přidáme následující řádky:

```
export JAVA_HOME="/usr/lib/jvm/jdk-7-oracle-armhf"
export PATH=$PATH:$JAVA_HOME/bin
```

Soubor uložíme a restartujeme RPi. Po následném kompilování se objevila další chyba:

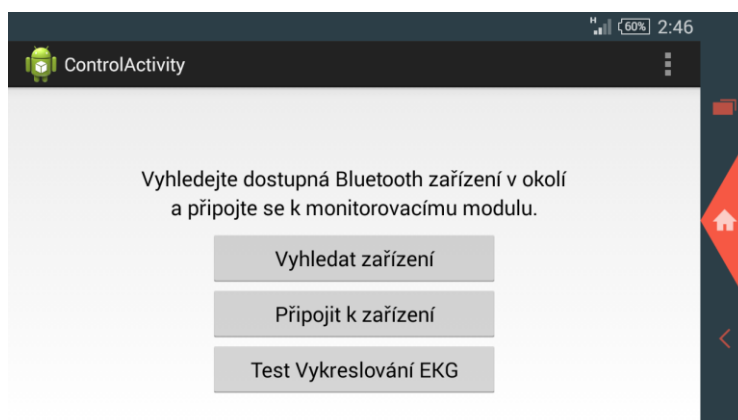
```
compile-native-lib:
[echo] compiling .c -> .o
[apply] In file included from /home/pi/bluecove-2.1.0-sources-all/bluecove
gpl/src/main/c/BlueCoveBlueZ.c:23:0:
[apply] /home/pi/bluecove-2.1.0-sources-all/bluecove-gpl/src/main/c/BlueCoveBlueZ.h:33:33: fatal error:
bluetooth/bluetooth.h: No such file or directory
```

*[apply] compilation terminated.*

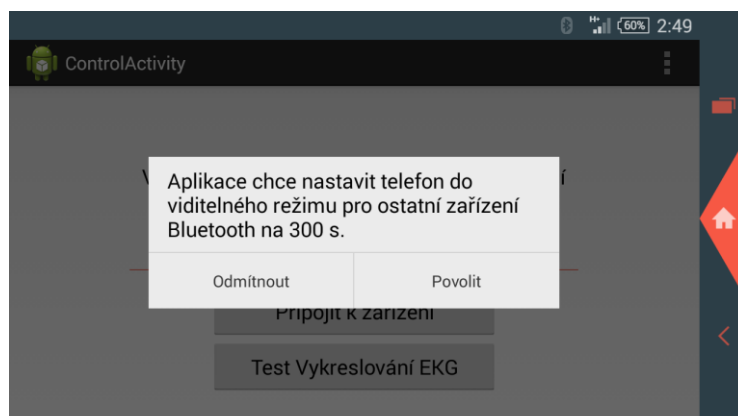
Tato chyba byla způsobena chybějícím hlavičkovým souborem, je potřeba nainstalovat balík zdrojových kódů libbluetooth-dev příkazem „sudo apt-get install libbluetooth-dev“. Poté se již kompilace podařila.

## Fotografická příloha

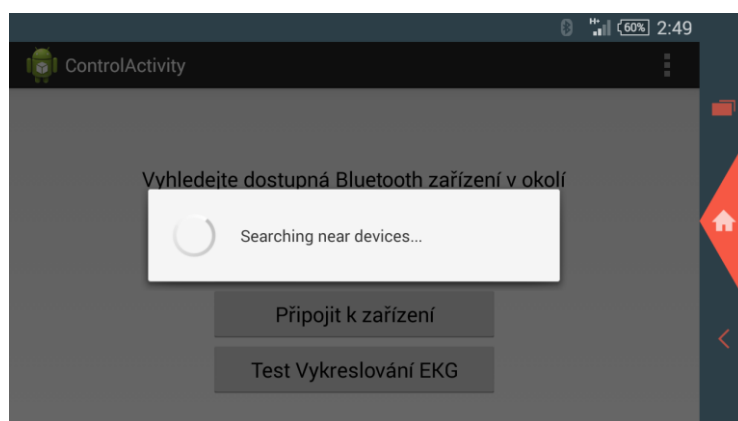
### Screenshots z mobilní aplikace



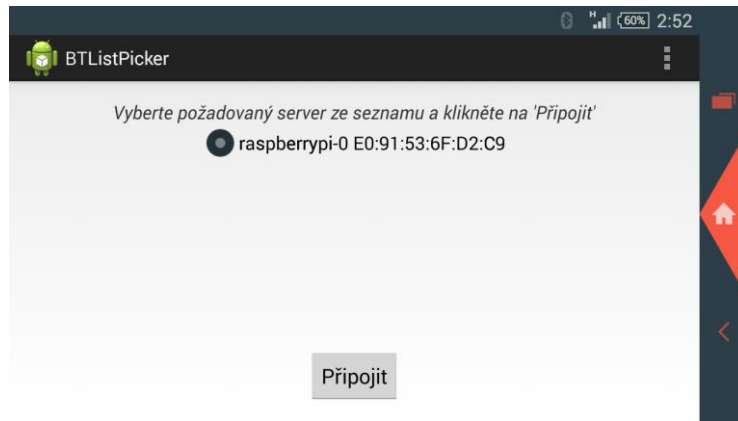
Obr. 2 – ControlActivity – hlavní nabídka



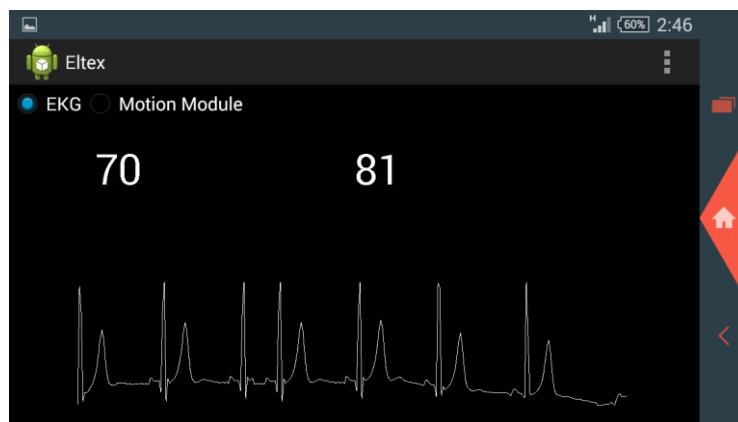
Obr. 3 – Povolení viditelnosti Bluetooth zařízení



Obr. 4 – Vyhledávání zařízení v dosahu

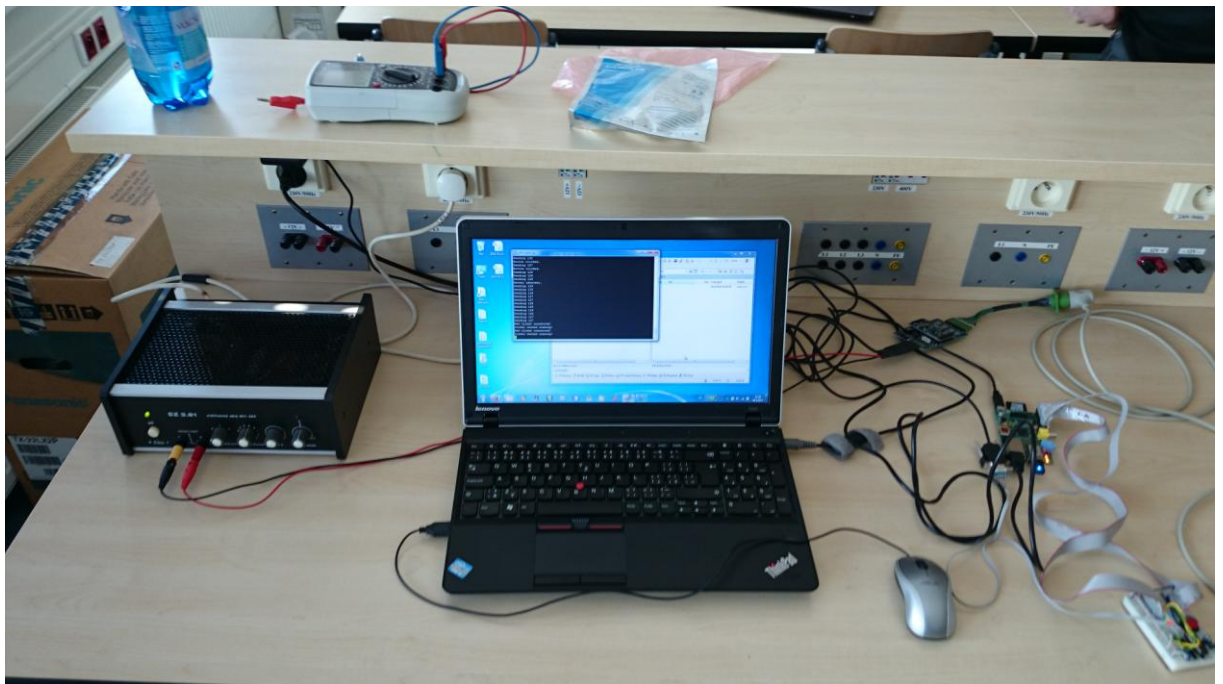


Obr. 5 – BTLISTPicker – výběr zařízení pro připojení

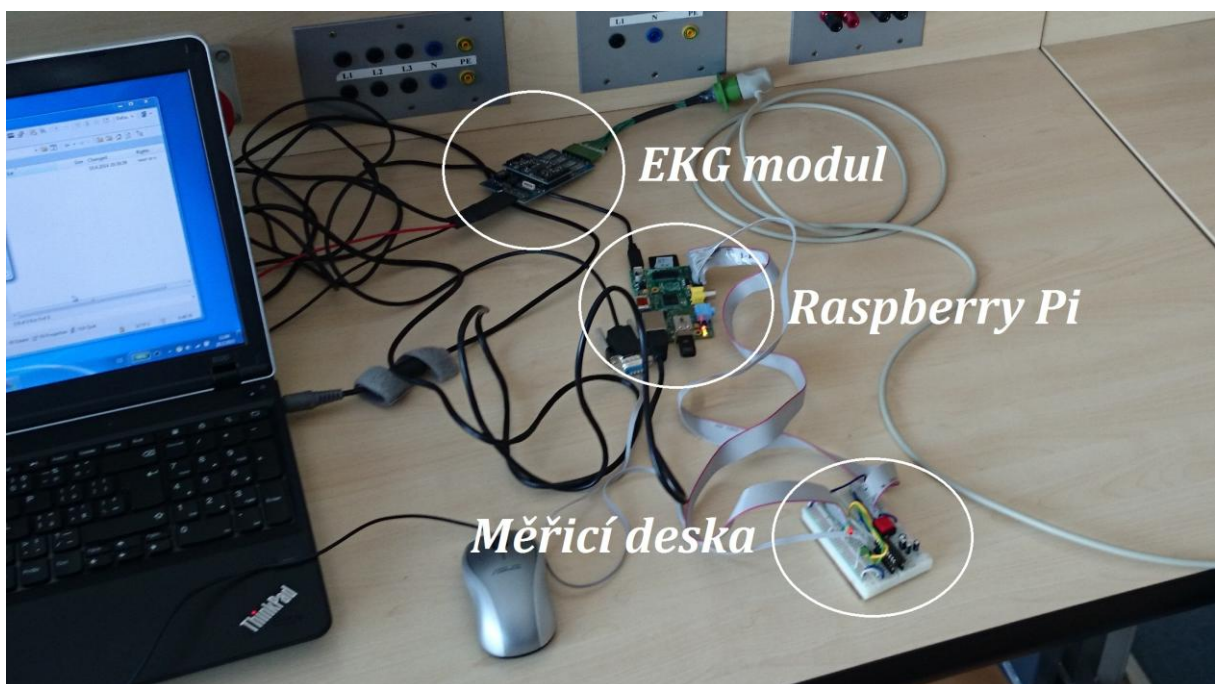


Obr. 6 – Vykreslování křivky EKG

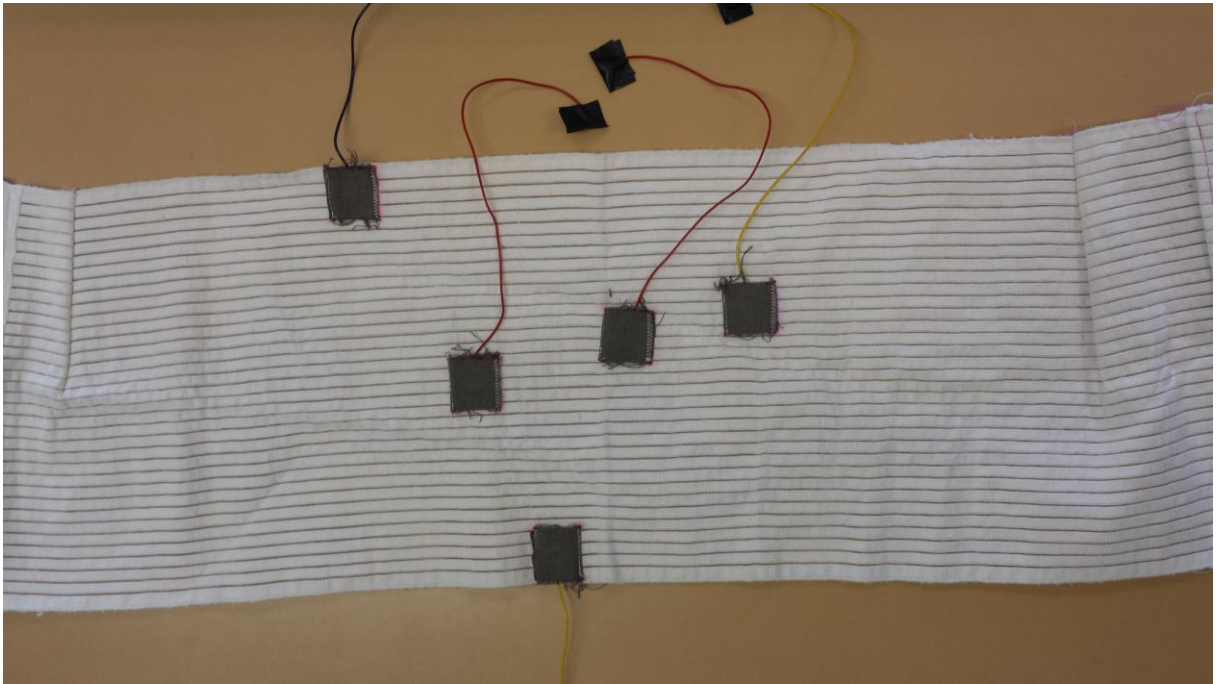
## Fotografie z měření



Obr. 7 – Fotografie zapojení komponentů při měření



Obr. 8 – Fotografie s popisem komponentů



Obr. 9 – Fotografie pásu s pěti textilními elektrodami



Obr. 10 – Fotografie pásu se čtyřmi textilními elektrodami





Obr. 11 – Fotografie připnutého pásu s textilními elektrodami



Obr. 12 – Fotografie obleku se čtyřmi textilními elektrodami



Obr. 13 – Fotografie obleku se dvěma textilními elektrodami