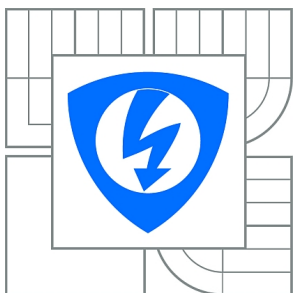


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## **BIOIMPEDANČNÍ MĚŘENÍ**

BIOIMPEDANCE MEASUREMENT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**LENKA PAGÁČOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. JIŘÍ SEKORA**

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Biomedicínská technika a bioinformatika

**Studentka:** Lenka Pagáčová

**ID:** 154644

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2014/2015

**NÁZEV TÉMATU:**

## Bioimpedanční měření

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1) Prostudujte metodu měření obsahu vody a tuku v lidském těle pomocí bioelektrické impedanční analýzy (bioimpedance). 2) Navrhněte vhodný fantom pro bioimpedanční měření. 3) Na základě získaných poznatků navrhněte přípravek pro tato měření. 4) Na modelovém případě ověřte správnost návrhu přípravku. 5) Proveďte vyhodnocení naměřených hodnot. 6) Proveďte diskuzi výsledků.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] BLOMQUIST, K.H., R.E. SEPPONEN, N. LUNDBOM and J. LUNDBOM. An open-source hardware for electrical bioimpedance measurement. 2012 13th Biennial Baltic Electronics Conference. Tallinn, Estonia, October 3-5, 2012

[2] SEOANE, F., J. FERREIRA, J. SANCHÉZ, and R. BRAGÓS, An analog front-end enables electrical impedance spectroscopy system on-chip for biomedical applications. Physiological Measurement, vol. 29, pp. S267-S278, 2008.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 29.5.2015

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Sekora

**Konzultanti bakalářské práce:**

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá analýzou složení těla s využitím bioimpedance. V práci je obsažena teorie o bioimpedanci a metody s analýzou spojené. V praktické části je návrh zařízení pro měření složení těla včetně návrhu řídicího software pro mikrokontrolér. Na sestaveném zařízení proběhlo testování funkčnosti a srovnání dat s komerčním přístrojem Tanita.

## **KLÍČOVÉ SLOVÁ**

Bioimpedance, impedance, měření, BIA, Tanita, InBody, kaliper, multifrekvence, analýza, lidské tělo, tělesný tuk, tělesná voda, svalová hmota

## **ABSTRACT**

The work deals with the body analysis using bioimpedance. The work included theory about bioimpedance and methods associated with the analysis. In the practical part is design of the device for measuring body composition including a software for the microcontroller. The assembled device was tested and compared with commercial product Tanita.

## **KEYWORDS**

Bioimpedance, impedance, measurement, BIA, Tanita, InBody, caliper, multifrekvence, analysis, human body, body fat, body water, muscle mass

## PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Bioimpedanční měření“ vypracovala samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autorka uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušila autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahla nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomá následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúceho autorského zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), vo znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## POĎAKOVANIE

Rád bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Sekorovi, za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

Úvod	10
<b>1 Analýza tela</b>	<b>11</b>
1.1 Dôvody analýzy tela . . . . .	11
1.2 Rozdelenie analýzy . . . . .	11
1.3 Režimy a nastavenia analyzátorov . . . . .	12
1.4 Zásady a obmedzenia analýzy . . . . .	13
1.5 Základné veličiny analýzy ľudského tela . . . . .	15
1.5.1 Telesná voda . . . . .	16
1.5.2 Telesný tuk . . . . .	18
1.5.3 Kostná hmota . . . . .	20
1.5.4 Svalová hmota . . . . .	21
1.6 Ostatné veličiny analýzy ľudského tela . . . . .	21
1.6.1 Hmotnosť tela . . . . .	21
1.6.2 Somatotyp . . . . .	22
1.6.3 Bazálny metabolizmus . . . . .	23
1.6.4 Metabolický vek . . . . .	24
<b>2 Základné fyzikálne veličiny</b>	<b>25</b>
2.1 Elektrický odpor a impedancia . . . . .	25
2.2 Frekvencia . . . . .	25
2.3 Ohmov zákon . . . . .	26
<b>3 Bioelektrická impedančná analýza</b>	<b>27</b>
3.1 BIA (Bioimpedance Analysis) . . . . .	27
3.2 Využitie BIA . . . . .	30
3.3 Model ľudského tela . . . . .	31
3.4 Multifrekvencia . . . . .	32
<b>4 Metódy získavajúce zloženie ľudského tela</b>	<b>33</b>
4.1 Prístroje založené na BIA . . . . .	33
4.1.1 TANITA a InBody . . . . .	33
4.1.2 Bodystat . . . . .	34
4.2 Ostatné prístroje . . . . .	34
4.2.1 Kaliper . . . . .	34
4.2.2 DEXA (DXA) . . . . .	35
4.2.3 Magnetická rezonancia . . . . .	35

<b>5</b>	<b>Návrh praktickej časti</b>	<b>36</b>
5.1	Všeobecný návrh praktickej časti . . . . .	36
5.2	Popis blokovej schémy . . . . .	37
<b>6</b>	<b>Zapojenie prípravku</b>	<b>38</b>
6.1	Mikroprocesorová platforma Arduino . . . . .	38
6.2	Zadávanie vstupných hodnôt . . . . .	38
6.3	Zapojenie displaya . . . . .	39
6.4	Generátor sínusového priebehu . . . . .	40
6.5	Dvojcestný precízny usmerňovač - prevodník na absolútnu hodnotu . . . . .	42
6.6	Ovládanie relé so signalizáciou . . . . .	43
6.7	Batériové napájanie prípravku . . . . .	44
6.8	Softwér prípravku . . . . .	45
<b>7</b>	<b>Diskusia</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>Záver</b>	<b>51</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>52</b>
<b>A</b>	<b>Výsledky merania</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Schéma zapojenia</b>	<b>II</b>
<b>C</b>	<b>Rozpiska súčiastok</b>	<b>III</b>

# ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Percentuálne podiely jednotlivých zložiek ľudského organizmu pre mužov a ženy . . . . .	16
1.2	Podiel celkovej telesnej vody, intracelulárnej a extracelulárnej tekutiny na telesnej hmotnosti vzhľadom k veku a pohlaviu . . . . .	17
1.3	Viscerálny (útrobný) tuk - znázornený červenou farbou . . . . .	19
2.1	Znázornenie frekvencie . . . . .	25
3.1	Znázornenie detekcie vysokého prúdu pretekajúceho svalovým tkanivom	27
3.2	Znázornenie detekcie zníženia prúdu pretekajúceho tukovým tkanivom	28
3.3	Presné nastavenie požadovaného prúdu pomocou odporovej dekády (naľavo) a ukážka napojenia vyšetrovanej osoby do obvodu pomocou elektród (napravo) . . . . .	29
3.4	Znázornenie tela ako jediného valca (naľavo) a ako piatich valcov (napravo) . . . . .	31
3.5	Ukážka zvýšenej impedancie v prípade prične pruhovaného svalstva .	31
3.6	Ukážka zníženia impedancie v prípade pozdĺžne pruhovaného svalstva	32
3.7	Rozdiel účinku nízkej (zelená šípka pod 50 Hz) a vysokej frekvencie (žltá šípka nad 100 Hz) na bunku . . . . .	32
4.1	Bodystat . . . . .	34
4.2	Ukážka kaliperu . . . . .	35
5.1	Bloková schéma zapojenia meranej osoby . . . . .	36
6.1	Zapojenie pinov Arudina a displayu s príslušným zapojením potenciometra a tlačidla . . . . .	39
6.2	Doporučené zapojenie generátora sínusového priebehu pomocou 555 [1]	40
6.3	Schéma zapojenie generátora sínusového priebehu s operačným zosilňovačom, relé s konektormi a odporom v sérii . . . . .	41
6.4	Všeobečná schéma zapojenia napäťového deliču . . . . .	41
6.5	Obecné zapojenie dvojcestného precízneho usmerňovaču . . . . .	42
6.6	Puzdro DC-DC meniču a zapojenie vývodov . . . . .	43
6.7	Reálna schéma zapojenia prevodníku na absolútnu hodnotu . . . . .	43
6.8	Znázornenie jednotlivých relé a príslušných pinov na Arduine . . . . .	44
6.9	Schéma zapojenia jednotlivých relé aj s LED . . . . .	44
6.10	Schéma zapojenia DC1 a DC2 . . . . .	44
6.11	Vývojový diagram riadiaceho softwéru . . . . .	48
6.12	Vývojový diagram obsluhy tlačidla . . . . .	48



## ZOZNAM TABULIEK

1.1	Celková hmotnosť telesného tuku žien v % z hľadiska optimálnej váhy	20
1.2	Celková hmotnosť telesného tuku mužov v % z hľadiska optimálnej váhy . . . . .	20
1.3	Optimálna hmotnosť kostnej hmoty pre ženy a mužov . . . . .	21
1.4	Rozmedzie BMI pre ženy a mužov . . . . .	22
A.1	Vstupné parametre a namerané hodnoty % tuku Tanitou . . . . .	I
A.2	Namerané hodnoty % tuku prípravkom po korekcii . . . . .	I
C.1	Rozpis súčiastok prípravku . . . . .	III

# ÚVOD

Elektrické bioimpedačné monitorovanie je novo vznikajúci nástroj pre biomedicínsky výskum a pre lekársku prax. Je jednou z diagnostických metód založených na štúdiu pasívnych elektrických vlastností biologických tkanív. Tieto vlastnosti boli predmetom štúdia Luigiho Galvani už v 18. storočí. Tento jav však nebol využívaný až do konca 19. storočia (McAdams et Jossinet, 1995), pretože rozvoj novej prístrojovej techniky vypukol až vďaka zriadeniu teórie elektromagnetického poľa (James Clerk Maxwell, 1831-1879). Samotné praktické využitie elektrických pasívnych vlastností bolo zahájené v polovici 20. storočia. Novo objavené vlastnosti a rozvoj techniky mal za následok vytvorenie súboru metód, ktoré sa teraz používajú pre viac aplikácií. Tieto metódy majú spoločné výhody nízkych nákladov na vybavenie, ľahké použitie v praxi a umožnenie online sledovania.

Práve jednou z týchto metód je analýza zloženia ľudského tela. Vzhľadom na to, že bioimpedancia závisí na vlastnostiach tkaniva, ktoré sú geometrické, je možné odhadovať relatívne objemy rôznych tkanív a tekutín v našom tele. Pri určovaní kvapalín v našom organizme, meranie bioimpedancie na jedinom kmitočte zodpovedá extracelulárnej tekutine. Avšak táto predpokladaná hodnota môže mať významné chyby v presnosti. Používaním niekoľkých frekvencií pri meraní odstraňujeme tieto chyby a zvyšujeme tým presnosť poskytovaných dát. Vďaka správne odhadu kvapalín v našom tele určujeme aj ostatné zložky ako sú telesný tuk, svalová hmota, kostná hmota a iné rôzne veličiny stanovené ich pomermi. Vďaka poskytovaniu údajov o zložení nášho tela, sme schopní predchádzať rôznym civilizačným ochoreniam, kontinuálne sledovať zmeny organizmu, či využívať túto metódu pri vzniku nových liekov vo farmácii.

# 1 ANALÝZA TELA

Analýza telesného zloženia je veľmi rýchla, neinvazívna a jednoduchá metóda, ako overiť stav nášho tela. Behom niekoľko sekúnd sa analyzovaná osoba dozvie zloženie tela. Zistí ako je na tom viscerálny tuk, ktorý je veľmi nebezpečný, svaly, voda, podkožný tuk, minerály (len celkovú hodnotu) a ďalšie informácie, ktoré sú dôležité pre správne fungovanie celého organizmu. [26, 24]

## 1.1 Dôvody analýzy tela

Analýzu tela by sme mali podstupovať hlavne preto, aby sme:

- zistili informácie o svojom tele (či pomer svalov, tuku, vody a ďalších látok v našom tele je správny a zodpovedá doporučeným hodnotám našej vekovej kategórii)
- predchádzali zdravotným problémom
- pri nastavovaní nového režimu (cvičenie a strava) kontrolovali, že robíme všetko správne
- sledovali zmeny vo svojom tele - správne zníženie tuku, viscerálneho tuku, navyšovanie vody a svalov atď.

Diagnostika je dôležitá preto, aby sme mali prehľad o svojom tele a vedeli, čo sa v nás deje. V prípade analýzy pomocou bioimpedancie sa jedná o neinvazívnu metódu, ktorá nebolí a je lepšie predchádzať chorobám jednoducho, ako vo chvíli, keď máme problémy a musíme navštíviť lekára. V týchto prípadoch môže byť už vyšetrenie a liečba drahá a často aj bolestivá. Na druhú stranu, vo chvíli, keď sa dozvieme, že niektoré parametre nie sú v poriadku, tak práve včasná diagnóza nám zaručí vyššiu úspešnosť liečby a rýchlejší návrat k lepšiemu zdravotnému stavu. [26, 7]

## 1.2 Rozdelenie analýzy

Analýzu tela rozdeľujeme na segmentálnu a nesegmentálnu.

Nesegmentálna analýza znamená, že výsledky sa zobrazia ako celok, kdežto u segmentálnej analýzy sa zobrazí rozloženie v jednotlivých partiách tela. To znamená rozdelenie na pravú a ľavú ruku, pravú a ľavú nohu a trup.

Segmentálna analýza ponúka vyššiu presnosť v meraní, pretože tým, že analyzátor je vybavený 8 elektródami zaistí obeh prúdu ako v hornej, tak v dolnej polovici

tela. Na základe tohto získame výsledky rozloženia tuku a svalov práve v jednotlivých partiách tela. Vďaka týmto poznatkom sa dozvieme, či máme svalovú hmotu rozloženú rovnomerne a či nám nevznikla **svalová dysbalancia**.

To znamená, že na výsledkoch vidíme rozložené svaly v celom tele a vďaka tomu je hneď zrejmé, či máme rovnako svalov na ľavej a pravej ruke a nohe. Ak sa stane, že na jednej ruke, nohe máme svalov viac, môžeme hovoriť o svalovej dysbalancii. Tú prístroje na analýzu rozpoznávajú od 100 g rozdielu. [26]

Dysbalancia môže byť spôsobená:

- väčším zaťažovaním niektorej časti tela
- rôznou dĺžkou končatin - platí hlavne u nôh
- väčším výskytom krčových žil - platí opäť pre nohy
- otoky
- kovové implantáty alebo umelé kĺby
- bloky na chrbtici atp.

Práve vďaka analýze je možné dysbalanciu odhaliť už v jej začiatkoch a začať pracovať na jej odstránení včas, skôr než je patrná vizuálne alebo bolesťami tela. Dysbalancia vedie k preťaženiu, čo pre telo nie je zdravé.

Rozlišujeme, či ide o **preťaženie jednostranné** - celá polovica tela (pravá ruka aj noha) alebo **do kríža** (pravá ruka a ľavá noha). Týmto môžeme odhaliť ďalší problém, ktorým môže byť blok na chrbte, ktorý je spôsobený nesprávnym držaním tela. V tej chvíli dostávame odporúčenie na náštevu fyzioterapeuta, ktorý nás napraví a naše telo bude opäť správne fungovať.

Ďalšou výhodou segmentálnej analýzy je **rozloženie tuku** v konkrétnych častiach nášho tela. Vďaka tejto informácii poznáme, či sa zbavujeme svalov alebo tukov. [26, 11]

### 1.3 Režimy a nastavenia analyzátorov

1. **Štandardný režim** - jedná sa o režim, do ktorého spadá cca 90 % populácie. Sú to všetci tí, ktorí buď na sebe vôbec nepracujú (necvičia), nemajú žiadnu fyzickú aktivitu, poprípade minimálnu až strednú aktivitu (napr. chodia cvičiť do posilovne, behajú ...).
2. **Atletický režim** - režim, do ktorého spadá ostávajúcich 10 % populácie, ktorá sa venuje športu naplno.

Tieto režimy sa nastavujú zvlášť pre **ženy** a pre **mužov**. [5, 26]

Dospelý, ktorý má približne 12 hodín intenzívnej fyzickej aktivity týždenne a má kľudovú tepovú frekvenciu približne 60 tepov za minútu alebo menej, bude meraný

v atletickom režime. Atletický režim bol navrhnutý po štúdiu osôb, ktoré spĺňajú práve tieto vyššie uvedené kritéria. [26]

Ďalšou položkou, ktorá sa v prístroji pred samotným meraním nastavuje, je **vek**. Viacnásobné výskumy zistili, že v procese starnutia je tendencia znižovania svalovej hmoty a zvyšovania podielu telesného tuku. Tento prirodzený vývoj sa zachová ak počas starnutia necvičíme, čím ďalej tým viac. Vekové rovnice sú momentálne aktualizované u najnovších typoch prístrojov k zaisteniu presnosti pri výpočte telesného tuku. Starsie modely tieto dáta nemali, a preto neposkytovali tak presné výsledky meraní.

Ostatné parametre k nastaveniu : výška a dátum merania. [32]

## 1.4 Zásady a obmedzenia analýzy

Aby bola analýza čo najpresnejšia a výsledky mali vypovedajúcu hodnotu, mala by testovacia osoba najlepšíe 2 hodiny pred analýzou:

- nejest
- nepiť
- nešportovať
- nesprchovať sa

Tieto jednoduché **zásady** vedú k tomu, aby boli výsledky čo najpresnejšie. Jedlo analyzátor vyhodnocuje ako tuk (nevie ho vyhodnotiť ako jedlo), a preto by testovaná osoba mala zájsť pred meraním na toaletu. Ostatné body sú k zaisteniu správnej hydratácie (zavodnenia) tela. Voda je totiž hlavný vodič, ktorý vedie ku správnym výsledkom analýzy. [4, 26]

Zmeny v hydratácii môžu byť tiež spôsobené potravinami, kofeínom alebo alkoholom, fyzickou námahou, stresom, chorobou alebo užívaním liekov. Ak chceme úspešne monitorovať pokrok, mala by analýza vždy prebiehať za rovnakých podmienok a v konkrétnu dennú hodinu.

Ďalším faktorom zmien hydratácie tela u žien je menštruácia, ktorá tiež môže ovplyvniť výsledky merania telesného tuku, hlavne pomocou metódy BIA (bioelektrická impedančná analýza). Zadržovanie tekutín môže spôsobiť kolísanie hmotnosti a tým aj mierne kolísanie percenta telesného tuku. Ženy podstupujúce meranie pomocou metódy BIA by si mali byť vedomé fyzických zmien v ich tele a dobre si naplánovať ich meranie na vždy rovnakú dobu - buď pred alebo po menštruácii. Hormonálne zmeny v dôsledku tehotenstva alebo menopauzy môžu tiež spôsobiť zadržiavanie vody a zmeny v meraní. [26]

Pravidelnosť merania by v ideálnom prípade mala byť zachovaná 1-krát mesačne z dôvodu, že v našom tele sa dejú zmeny veľmi rýchlo. Práve jeden z dôvodov je,

že pri chudnutí môžeme veľmi rýchlo prísť o svalovú hmotu namiesto tuku. Zároveň meranie pomáha pri udržiavaní motivácie, pretože nie vždy sa hýbe váha, ale analýza môže vykázať stratu tuku. [6, 4, 24]

### Frekvencia merania:

- prvá analýza vždy komplexná
- následne 3-4 krát základná analýza
- potom znovu komplexná, podľa toho, či sa v tele náchádza viscerálny tuk

Rozdiel medzi komplexnou a základnou analýzou spočíva v dĺžke konzultácie a množstvom informácií, ktoré sa analyzovaná osoba dozvie. [6, 4, 24]

**Omedzenia v analýze** majú osoby s kardiostimulátorom alebo inými elektro-nickými implantátmi, ktoré nesmú používať akékoľvek analyzátory tela.

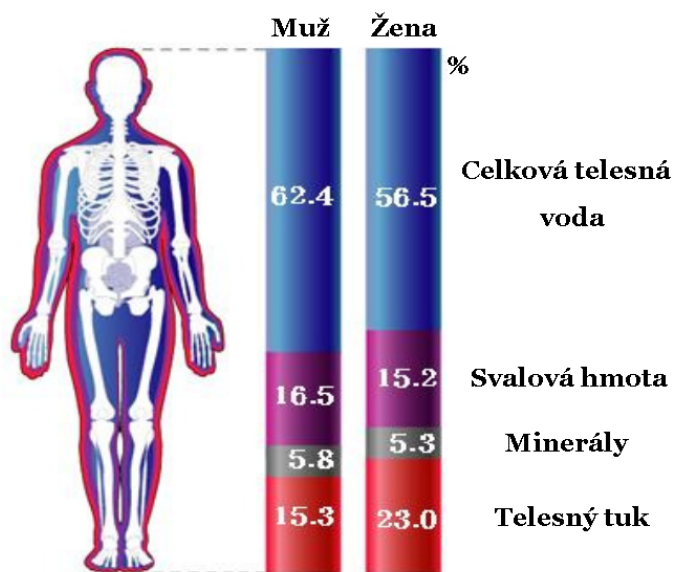
Osoby s neelektrickým lekársym implantátom môžu bezpečne používať analyzátor tela. Akékoľvek kovové implantáty v tele môžu mať vplyv na výsledok telesného tuku a toto percento mierne znížiť. Avšak, pretože kov bude mať aj naďalej rovnaký vplyv na výsledok pri každom meraní, môžeme i naďalej využívať analyzátory tela k sledovaniu relatívnej zmeny v priebehu času.

Pre tehotné ženy nie sú známe žiadne zdravotné riziká spojené s meraním pomocou analyzátorov. Avšak, v tejto kategórii nebol ešte prevedený rozsiahly výskum, preto sa doporučuje tehotným ženám používať analyzátor len za účelom váženia bez analýzy. Pretože v tehotenstve sú dynamické fyziologické zmeny, nemôže tehotná žena očakávať presné výsledky percenta telesného tuku a ďalších údajov. Výsledky sú ovplyvnené množstvom plodovej vody, plodom a pod., takže z ďaleka nevypovedajú objektívne o telesnom stave tehotnej ženy. [6, 26]

## 1.5 Základné veličiny analýzy ľudského tela

Telo ako jeden celok sa skladá z niekoľkých zložiek, ktoré utvárajú celkovú hmotnosť tela. Medzi tieto zložky patrí voda, minerálne látky, proteíny a tuk. Optimálne percentuálne rozdelenie týchto zložiek pre mužov a ženy vidíme na obrázku 1.1.

Z hľadiska analýzy tieto zložky rozdeľujeme do dvoch základných celkov a to **aktívnu a neaktívnu telesnú hmotu**. Aktívna, nazývaná aj netuková telesná hmota, zahŕňa okrem svalov aj kosti, vnútorné orgány, minerály a ďalšie zložky, ktoré ku svojej činnosti potrebujú energiu (spalujú teda kalórie). Do pasívnej telesnej hmoty zaradujeme tukové tkanivo, ktoré ku svojej činnosti nevyžaduje energiu.



Obr. 1.1: Percentuálne podiely jednotlivých zložiek ľudského organizmu pre mužov a ženy

### 1.5.1 Telesná voda

Voda je jednou z najdôležitejších zložiek organizmu a predstavuje viac ako polovicu hmotnosti ľudského tela. Celková telesná voda je súčet všetkých typov tekutín, ktoré rozdeľujeme na:

- extracelulárnu (ECT) - voda mimo bunky, ktorá tvorí 1/3 CTV, teda asi 20 % telesnej hmotnosti,
- intracelulárnu (ICT) - voda a v nej rozpustené ionty a soluty vnútri buniek, ktorá tvorí asi 2/3 CTV, teda 40 % telesnej hmotnosti. [23]

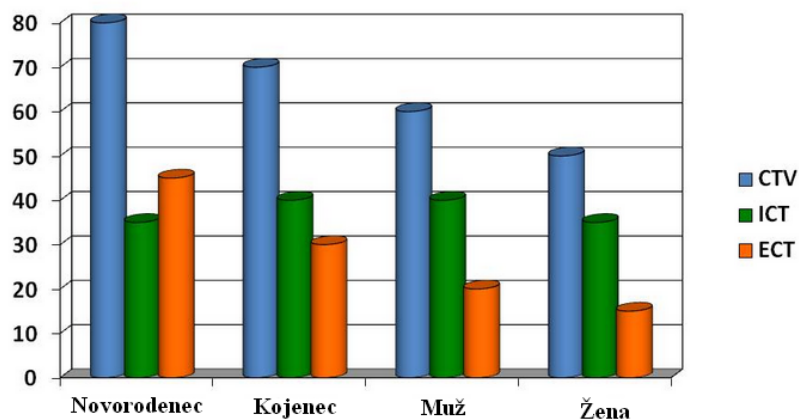
Množstvo celkovej telesnej vody (CTV), ktorú vidíme na obrázku 1.2, závisí na:

- **Veku** - čím je osoba mladšia, tým je vyšší podiel CTV na telesnej hmotnosti. U novorodencov je CTV 75 - 80 %, u kojencov 70 %, v priebehu detstva a dospievania tento údaj klesá na 60 %. V priebehu starnutia ubúda svalovej hmoty a pribúda percento tuku, čo má za následok aj zníženie percenta celkovej telesnej vody u starých ľudí (percento telesnej vody klesá so zvyšovaním percenta tuku).
- **Pohlavia** - ženy majú menší podiel CTV na telesnej hmotnosti než muži. U žien je tento údaj menší než u mužov. Táto odlišnosť je daná väčším percentom tuku u žien a v dospelosti je daná účinkom pohlavných hormónov - estrogénu u žien a androgénu u mužov.



- **Množstva telesného tuku** - tukové tkanivo obsahuje len málo vody, a preto nielen ženy ale aj obézni jedinci majú podiel CTV na hmotnosti menší než sa vyskytuje u štíhlych. [23]

**Podiel CTV, ICT a ECT na telesnej hmotnosti  
vzhľadom k veku a pohlaviu**



Obr. 1.2: Podiel celkovej telesnej vody, intracelulárnej a extracelulárnej tekutiny na telesnej hmotnosti vzhľadom k veku a pohlaviu

Percento celkovej telesnej vody je celkové množstvo tekutiny v ľudskom tele vyjadrené ako percentuálny podiel jeho celkovej hmotnosti. U zdravého človeka je tento podiel v rozmedzí: Ženy: 55 - 60 % Muži: 60 - 65 %

#### **Dôvody meranie telesnej vody:**

Voda je najdôležitejšou živinou v ľudskom tele hneď po kyslíku, ktorá zabezpečuje správne fungovanie organizmu. Hrá dôležitú úlohu v skoro všetkých činnostiach tela, pretože:

- pomáha regulovať telesnú teplotu
  - slúži ako transportér najrôznejších látok a živín
  - je dôležitým rozpúšťadlom (vitamíny, minerálne látky, glukóza, aminokyseliny...)
  - čistí a zvlhčuje pokožku
  - zlepšuje tráviace procesy a vstrebávanie
  - zabraňuje stárnutiu
  - vytvára prostredie pre bezpečnú likvidáciu toxických a odpadných látok
  - chová sa ako lubrikant (zaisťuje mazanie kĺbov) a chráni okolie kĺbov vrátane miechy
  - v tehotenstve sa nachádza v amnion - plodová voda (obklopuje a chráni plod)
- [20, 7]

**Príjem vody** do organizmu je zabezpečený cez GIT alebo v ňom v malom množstve vzniká metabolickými pochodmi. Prijímame ju prostredníctvom potravín, ktoré počas dňa skonzumujeme a vody, ktorú vypijeme (2 - 2,5 l/deň). Metabolická voda (0,25 l/deň) vzniká v organizme v priebehu chemických reakcií.

**Strata vody** z organizmu nastáva 4 spôsobmi:

- močom - táto cesta je čo do objemu i regulácie, najvýznamnejšia (1,5 - 2 l/deň),
- stolicou - tieto straty sú zanedbatelné (0,1 l/deň),
- respiráciou - vo vydychovanom vzduchu u normálne ventilujúceho jedinca sa nachádza určité množstvo vody (0,3 - 0,4 l/deň),
- kožou - odparovanie vody z kože, ktoré nie je závislé na činnosti potných žliaz sa deje trvalo a za bežných podmienok tvorí 0,3 - 0,4 l/deň (celkové straty evaporáciou vody z kože a dýchacieho ústrojenstva činí asi 0,7 l/deň).

Pri dostatočnom množstve vody v tele si zaistíme správnu funkciu telesných procesov a zníženie rizika vzniku zdravotných problémov. [23]

## 1.5.2 Telesný tuk

Z biochemického hľadiska sú tuky estery (prípadne zložené amidy) vyšších karboxylových kyselín (mastných kyselín) a vlkholov. Radia sa medzi lipidy a tvoria širokú skupinu látok, ktoré sú obecné rozpustné v organických rozpúšťadlách a obecné nerozpustné vo vode. V ľudskom organizme vznikajú pri nadbytočnom príjme potravy - sacharidov, bielkovín či tukov. Nezáleží, ktorú z uvedených výživových zložiek konzumujeme, ak je jej príjem vyšší než výdaj energie (cvičením, upratovaním, chôdzou atď.), tento nadbytok bude uložený vo forme tuku.

Optimálne množstvo, ktoré človek potrebuje, záleží hlavne na pohlaví a na veku. Ženy majú viac telesného tuku než muži - o päť percent. Od prírody je ženské telo vyvinuté tak, aby chránilo ju a plod. V dôsledku toho majú ženy viac enzýmov pre ukládanie tuku a menej enzýmov pre spaľovanie. Navyše estrogény, ktoré ženy majú, aktivujú enzýmy a spôsobujú ich množenie.

Rozdelenie telesného tuku je na **podkožný** a **viscerálny (orgánový) tuk**.

Podkožný tuk sa usadzuje pod kožou po celom tele. Pri správnom pomere plní funkciu tepelnej ochrany a je dôležitý pre správne fungovanie nášho tela. [7]

Útrobný (viscerálny) tuk, ktorý vidíme na obrázku 1.3, sa usadzuje medzi orgánmi v dutine brušnej, tam kde sa normálne nevyskytuje a ani sa vyskytovať nemá. Určitú hladinu viscerálneho tuku máme všetci, pretože tvorí ochranu našich orgánov (proti nárazu a pod.). Avšak v prípade, že je tohto tuku veľa, je veľmi nebezpečný a vzniká riziko kardiovaskulárnych ochorení, cukrovky a riziko metabolického syndrómu. Kde je tuk uložený je niekedy dôležitejší údaj ako kolko ho máme. Štúdie

ukázali, že ak máme tuk uložený v oblasti pásu je väčšie riziko, že dostaneme niektorú zo spomenutých ochorení, ako keby máme tuk uložený v oblasti stehien, zadku a bedier. Útrobný tuk je skrytý, a preto ním môže trpieť aj úplne zdravý a štíhly človek. Nemusí sa vytvárať len vplyvom zvýšeného energetického príjmu, ale paradoxne aj pri veľmi nízkom, alebo pri príjme energie, ktorá je nižšia ako naše telo potrebuje (nižšia než naša bazálna potreba). Organizmus v tomto prípade reaguje tak, že si i to málo energie začne ukladať, a preto ak začne človek hladovať, vnútorné tuky sa začnú zvyšovať. [25, 26]

Hodnota viscerálneho tuku by sa mala v optimálnom prípade rovnať počiatočnému číslu nášho veku.

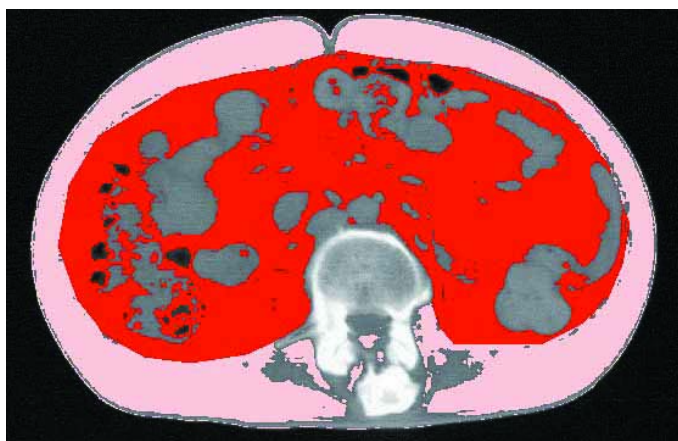
19 = 1

29 = 2

39 = 3

49 = 4

59 = 5



Obr. 1.3: Viscerálny (útrobný) tuk - znázornený červenou farbou

#### **Funcia tuku v ľudskom organizme:**

- bohatá zásobáreň energie,
- dôležitý pre zdravý vývoj,
- transport dôležitých vitamínov a hormónov,
- termoregulačná funkcia,
- je významný stavebný kameň imunitného systému,
- správna funkcia mozgu (tvorený až 70 % tuku) a pod.

Percento telesného tuku je množstvo telesného tuku v pomere k telesnej hmotnosti. Táto hodnota je závislá na trénovanosti, veku a pohlaví. Optimálne množstvo tuku významne sa líši u jednotlivých druhov športov. Množstvo tukového tkaniva sa

tiež dá určiť napríklad z kožnej riasy pomocou kaliperu. Tieto hodnoty bývajú približne o 5 % nižšie než pri meraní pomocou bioimpedancie. Jej optimálne hodnoty rozmedzia pre ženy a mužov vidíme v tabuľkách 1.1 a 1.2. [23]

Tab. 1.1: Celková hmotnosť telesného tuku žien v % z hľadiska optimálnej váhy

<b>ŽENY</b>				
	podvýživaná	zdravá	nadváha	obezita
vek	A	B	C	D
18	0 - 17	18 - 31	32	nad 36
19	0 - 19	20 - 32	33 - 37	nad 37
20 - 39	0 - 21	22 - 33	34 - 39	nad 39
40 - 59	0 - 23	24 - 34	35 - 40	nad 40
60 - 79	0 - 24	25 - 36	37 - 42	nad 42

Tab. 1.2: Celková hmotnosť telesného tuku mužov v % z hľadiska optimálnej váhy

<b>MUŽI</b>				
	podvýživaný	zdravý	nadváha	obezita
vek	A	B	C	D
18	0 - 10	11 - 20	21 - 24	nad 24
19	0 - 9	10 - 20	21 - 24	nad 24
20 - 39	0 - 8	9 - 20	24 - 25	nad 25
40 - 59	0 - 11	12 - 22	23 - 28	nad 28
60 - 79	0 - 13	14 - 25	26 - 30	nad 30

### 1.5.3 Kostná hmota

Kosť (kostné tkanivo) je tvrdé spojivé tkanivo alebo oporný orgán sformovaný z tohto tkaniva. Kosti spolu vytvárajú štruktúru a tvar tela, ochraňujú vnútorné orgány a spolu so svalmi a kĺbami zabezpečujú pohyb. Sú tvorené z väčšej časti anorganickou a menšej časti organickou hmotou.

Základná kostná hmota (kostná matrix) je silno mineralizovaná, čím toto tkanivo získava značnú tvrdosť. Minerálna zložka predstavuje až 65 % hmotnosti kosti. Okrem podpornej funkcie slúži kostné tkanivo ako zásobáreň minerálnych látok, ktoré sú podľa potreby vydávané do krvného obehu. [14]

Hodnota analýzy kostnej hmoty podáva informáciu o hmotnosti minerálov v kostiach ako množstvo kalcia a ostatných minerálov. Pohybovou aktivitou a zdravou

stravou docielime vývin silnejších a zdravších kostí. Priemerné množstvo kostnej hmoty je hodnota odvodená zo štatistických údajov, ktoré sú založené na vzťahu množstva kostnej hmoty k množstvu netukového tkaniva (telesná hmotnosť po odčítaní tuku). Priemerné množstvo kostnej hmoty neinformuje priamo o tvrdosti alebo pevnosti kostí ani o riziku fraktúr.

Tab. 1.3: Optimálna hmotnosť kostnej hmoty pre ženy a mužov

ŽENY			
Celková hmotnosť	menej ako 50 kg	50 - 75 kg	viac ako 75 kg
Hmotnosť kostí	1,95 kg	2,40 kg	2,95 kg
MUŽI			
Celková hmotnosť	menej ako 65 kg	65 - 95 kg	viac ako 95 kg
Hmotnosť kostí	2,70 kg	3,30 kg	3,70 kg

#### 1.5.4 Svalová hmota

Analýza svalovej hmoty zobrazuje obsah kostrového svalstva, hladkú svalovinu a vodu obsiahnutú v týchto svaloch. Ak človek nedodržiava správne stravovacie návyky a pohybový program bude strácať aj svalovú hmotu. [29]

## 1.6 Ostatné veličiny analýzy ľudského tela

### 1.6.1 Hmotnosť tela

Hmotnosť tela je základným morfológickým údajom, z ktorého je nutné vychádzať pri hodnotení dynamiky ľudského pohybu. V dôsledku telesnej záťaže prebiehajú v ľudskom organizme zmeny v telesnom zastúpení rôznych frakcií a hmotnosti. Ide hlavne o úbytok tukového tkaniva, nárast svalovej a popríklad kosternej zložky. Tieto údaje nám vypovedajú o výžive jedinca a jeho aktuálnom zdravotnom stave.

Podpriemernú alebo naopak nadmernú hmotnosť je možné špecifikovať prostredníctvom rôznych somatických indexov, ktoré však nie sú vždy schopné vystihnúť hmotnosť ako komplexnú charakteristiku.

**BMI** je skratka výrazu Body Mass Index (v preklade Index telesnej hmotnosti). V súčasnosti je to asi najčastejšie používaný spôsob, ako odhadnúť riziká spojené s obezitou. Práve na výpočet tohto indexu sa využíva hmotnosť ľudského tela. [22]

BMI sa počíta podľa vzorca 1.1:

$$\text{BMI} = \frac{m}{h^2} \text{ [kg/m}^2\text{]} \quad (1.1)$$

Výsledkom výpočtu je bezrozmerné číslo, ktoré nám po porovnaní s tabuľkovými hodnotami 1.4 vyjadruje či máme podváhu, normálnu váhu alebo trpíme obezitou. Táto hodnota nie je celkom presná, platí hlavne pre priemerného dospelého človeka. Neplatí pre deti, mládež do 18 rokov, tehotné ženy a športovcov. Presné číselné hodnoty nám môže vypočítať len lekár na základe vyšetrenia. [22]

Tab. 1.4: Rozmedzie BMI pre ženy a mužov

BMI	MUŽI	ŽENY
Podváha	pod 20	pod 19
Normálna hmotnosť	20 - 24,9	19 - 23,9
Nadváha	25 - 29,9	24 - 28,9
Obezita I. stupňa	30 - 34,9	29 - 33,9
Obezita II. stupňa	35 - 39,9	34 - 38,9
Obezita III. stupňa	nad 40	nad 39

## 1.6.2 Somatotyp

Termínom somatotyp označujeme kvantitatívny popis stavby a kompozíciu ľudského tela. Prvá zmienka o tomto termíne je už z roku 1940, kedy zakladateľ somatotypológie Williamen H. Sheldonem rozdelil tvar ľudského tela do 3 základných somatotypov:

- **Endomorf** - má predpoklady pre vzpieranie, zápas alebo vodné športy. Tendencia k nadváhe (typ postavy s veľkým počtom tukových buniek), relatívne veľká hlava, široká tvár, krátke končatiny a prsty, pomerne silné kosti, celkovo rozložitý a oblý tvar tela. Malý telesný povrch a nízky energetický výdaj. Endomorf má často dobré predpoklady na naberanie svalovej hmoty, ale obtiažne sa zbavujú tukového tkaniva. Malá aktivita u nich vedie k riziku obezity a srdečným problémom.
- **Ektomorf** - štíhly a chudý typ, postava má lineárne kontúry - dlhé končatiny, dlhé prsty a ruky, slabšie vyvinuté svalstvo a slabá kostra. Veľký energetický výdaj, relatívne veľký povrch tela a málo tukového tkaniva. Ťažko naberá svalovú hmotu, vyžaduje menej náročné tréningy, vysoký príjem bielkovín a dostatok odpočinku. Vhodné športy pre ektomorfov sú vytrvalostné, skok do výšky alebo basketbal
- **Mezomorf** - svalnatý typ so silnou kostrou, širokými ramenami a úzkymi bokmi. Stredne rýchly energetický výdaj. Na silové tréningy reaguje rýchlym nárastom svalovej hmoty. Vhodné športy pre mezomorfa sú: kulturistika, šprinty, gymnastika.

Jednotlivé somatotypy sa u každého jedinca do určitej miery vzájomne kombujú a ich rozloženie môžeme určiť podľa tzv. somatografov. Rozvoj somatotypologie umožnil zaradiť každého jedinca na detailnú stupnicu somatografu.

Somatotyp z hľadiska analýzy je súhrn tvarových a funkčných telesných znakov človeka. Vykazuje zmenu pomeru svalovej hmoty a telesného tuku. Tento údaj môže byť potrebný práve v prípadoch, keby sa hmotnosť tela nemení. [34]

Príklad hodnotenia somatotypu analyzátorom TANITA:

1 - vysoko obézny

2 - obézny

3 - nadváha

4 - málo pohybu

5 - štandard

6 - štandardne svalnatý

7 - štíhly

8 - štíhly a svalnatý

9 - veľmi svalnatý

### 1.6.3 Bazálny metabolizmus

Bazálny metabolizmus je množstvo energie, ktoré potrebuje každý ľudský organizmus na prežitie, teda na pokrytie základných funkcií a procesov (dýchanie, trávenie, regulovanie telesnej teploty a pod.) za úplného telesného a duševného pokoja, bez pohybu, v spánku.

Údaj o bazálnom metabolizme nám slúži najmä pre určovanie optimálneho denného energetického príjmu, ktorý by nemal byť ani v prebytku ani v deficite. Pri určovaní bazálneho metabolizmu treba vziať do úvahy veľké množstvo faktorov, preto tento proces môže byť niekedy obtiažny.

U človeka je BM definovaný pri týchto podmienkach:

- nalačno (16 hodín bez príjmu potravy, 36 hodín bez príjmu bielkovín, ktoré majú výrazný špecifický dynamický efekt),
- indiferentná teplota (20-22 stupňov oblečený, 30 stupňov neoblečený), ktorú organizmus subjektívne nepocituje ani ako teplo ani ako chlad, objektívne sa ani nepotí ani netrasie od chladu,
- pri telesnom a duševnom pokoji.

Úroveň bazálneho metabolizmu sa dá zísť dvoma kalorimetrickými metódami.

**Priama kalorimetria** je finančne a časovo pomerne náročná. Je založená na princípe spaľovania kyslíka. Všetko čo horí, potrebuje kyslík a v našom organizme je to podobne. Meria sa množstvo kyslíka, ktoré daný jedinec inhaluje. Na základe

množstva inhalovaného kyslíka sa dá presne vypočítať základný metabolizmus každého jedinca. **Nepriama kalorimetria** je podstatne jednoduchšia. Bazálny výdaj energie sa tak určí na základe Harris-Benedictovej rovnice 1.2 a 1.3 (potrebujeme poznať pohlavie, výšku, hmotnosť a vek vyšetrovanej osoby):

$$\text{ženy : } BVE = 655 + 9,6 \cdot \text{hmotnosť} + 1,8 \cdot \text{výška} - 4,7 \cdot \text{vek} \quad (1.2)$$

$$\text{muži : } BVE = 665 + 13,8 \cdot \text{hmotnosť} + 5,0 \cdot \text{výška} - 6,8 \cdot \text{vek} \quad (1.3)$$

BVE – bazálny výdaj energie [kJ]

hmotnosť [kg]

výška [cm]

vek [roky]

V priemere BM v populácii je 6 000 - 8 000 kJ. U žien je nižší ako u mužov. Hodnotenie bazálneho metabolizmu sa odvíja od každodenných fyzických aktivít, tréningovosti ale aj genetickej dedičnosti po našich rodičoch. Čím vyšší BM máme, tým viac sú namáhané naše svaly a organizmus spaľuje viac energie. Bohužiaľ s pribúdajúcim vekom a omedzenou pohybovou aktivitou sa BM spomaľuje. [3, 27]

#### 1.6.4 Metabolický vek

Metabolický vek predstavuje údaj o skutočnej starobe nášho organizmu, ktorá sa odvíja od percenta svalov a tuku v našom organizme. MV spočíta na základe bazálneho metabolizmu priemerný vek, ktorému prísluší kvalita vnútorných orgánov. Vďaka tejto hodnote zistíme stav nášho organizmu, ktorý je individuálne ovplyvnený vekom, pohlavím, množstvom svalov, výškou a váhou alebo napríklad stresom.

**Keď analýza vypočíta vyšší MV ako náš skutočný:**

- máme málo svalovej hmoty,
- máme vysoké percento tuku,
- máme vysokú hodnotu bazálneho metabolizmu.

**Keď analýza vypočíta nižší MV ako náš skutočný:**

- máme dostatok svalovej hmoty,
- máme optimálne/malé percento tuku,
- máme optimálnu hodnotu bazálneho metabolizmu.

Zvýšená telesná aktivita s pravidelným dopĺňovaním stavebných látok, hlavne kvalitných bielkovín, nám pomôže zväčšiť percento svalového tkaniva, znížiť náš metabolický vek a cítiť sa dobre a zdravo. [30]



## 2 ZÁKLADNÉ FYZIKÁLNE VELIČINY

### 2.1 Elektrický odpor a impedancia

Veličina, ktorá nám vyjadruje vzťah medzi prúdom a napätím v jednosmerných obvodoch sa nazýva elektrický odpor  $R$  a v striedavých obvodoch impedancia  $Z$ .

**Elektrický odpor  $R$**  si môžeme vysvetliť ako jav, kedy sa elektróny tvoriace elektrický prúd pri svojej ceste vodičom narazia s atómami a tým dochádza k strate ich elektrickej energie, ktorá sa mení v teplo (tepelná energia). Jednotkou elektrického odporu je  $\Omega$ .

**Elektrická impedancia  $Z$**  má dve zložky. **Reálnou** zložkou je elektrický odpor  $R$  a **imaginárnou** je reaktancia  $X$ . Obe zložky majú rovnakú jednotku  $\Omega$ .

Niektoré súčiastky majú len impedanciu reálnu (nedochádza k fázovému posunu medzi napätím a prúdom), iné majú impedanciu imaginárnu (dochádza k fázovému posunu medzi napätím a prúdom). Reaktancia teda spôsobuje, že v elektrickom obvode dochádza k fázovému posunu medzi napätím a prúdom. [18, 6, 21]

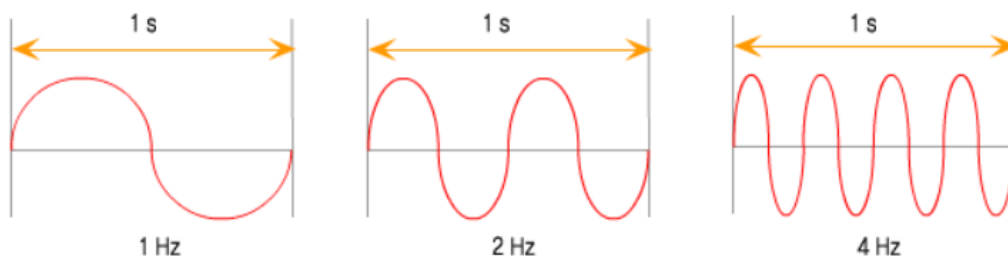
Obecne platí, že ak má impedancia obe zložky (reálnu aj imaginárnu), vypočítame celkovú veľkosť impedancie:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} [\Omega] \quad (2.1)$$

Samotná **elektická bioimpedancia** je definovaná ako meranie elektrickej impedancie biologického vzorku.

### 2.2 Frekvencia

Frekvenciu chápeme ako počet opakovaní za sekundu kompletnej krivky, takže 1 opakovanie za sekundu je 1 Hz a 2 opakovania za sekundu sú 2 Hz, čo vidíme na obrázku 2.1. [28]



Obr. 2.1: Znázornenie frekvencie

## 2.3 Ohmov zákon

Ohmov zákon, vyjadruje vzťah medzi elektrickým odporom, napätím a prúdom 2.2:

$$U = I \cdot R [\text{V}] \quad (2.2)$$

Elektrický prúd v kovovom vodiči je pri stálom odpore priamoúmerný napätiu na koncoch vodiča.

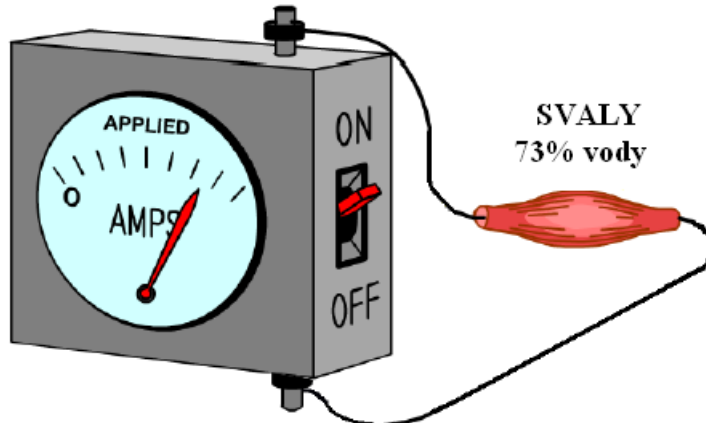
Omedzenie platnosti Ohmova zákona je v tom, že platí len v lineárnych obvodoch (taký obvod, ktorý obsahuje len lineárne súčiastky a zdroje). [18]

## 3 BIOELEKTRICKÁ IMPEDANČNÁ ANALÝZA

### 3.1 BIA (Bioimpedance Analysis)

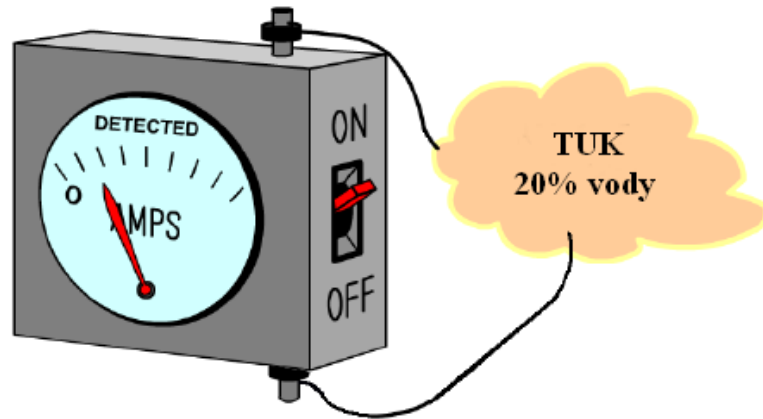
Bioelektrická impedančná analýza je jedna z meracích metód na stanovenie tuku a vody v tele vyvinutá vedcami z celého sveta. Pri tejto bezbolestnej metóde prechádza telom slabé, úplne bezpečné a nepostrehnuteľné elektrické prúdenie. Skutočnosť, že elektrický prúd prechádza ľahšie tekutinou v našich svaloch než tukom je zmysel tohto merania. Prúdenie prechádza oboma nohami a tým umožňuje merať elektrický odpor tela. Podstatou metódy BIA je teda presné zmeranie impedancie. [21]

Elektrický prúd preteká telom cez telesnú vodu, ktorá má vysokú vodivú schopnosť a odpor meraného tela sa tak mení v závislosti na množstve telesnej vody. Elektrický odpor je teda závislý na množstve telesnej vody. Naše svaly obsahujú vysoký podiel vody - 73 % a práve preto nimi preteká vyšší prúd (nízka impedancia) 3.1. Ak zmeriame elektrický odpor, môžeme použiť tento údaj priamo pre výpočet objemu svalovej hmoty v dolných končatinách. Druh pohlavia a telesná výška sa potom používajú pri výpočte celkového objemu svalovej hmoty. [6]



Obr. 3.1: Znáznornenie detekcie vysokého prúdu pretekajúceho svalovým tkanivom

Práve telesný tuk funguje ako izolant a znižuje schopnosť prúdu prechádzať ľudským telom 3.2. Obsahuje len 20 % vody a práve preto cez tento typ tkaniva preteká veľmi malý prúd (vysoká impedancia). [6]



Obr. 3.2: Znárodnenie detekcie zníženia prúdu pretekajúceho tukovým tkanivom

BIA meria telesnú vodu na základe predpokladu, že telo je valec. Ak chceme zistiť túto telesnú vodu potrebujeme zmerať hodnotu bioimpedancie. Ako bolo už spomenuté, impedancia má reálnu zložku rezistanciu a imaginárnu zložku reaktanciu. V tomto prípade môžeme imaginárnu zložku zanedbať, pretože rezistencia tvorí 95 % hodnoty impedancie. [6, 19]

Z nameranej hodnoty možno určiť:

- **TBW** (Total Body Water) - množstvo vody v celom tele zahrňujúce extracelulárnu aj intracelulárnu tekutinu.
- **FFM** (Fat Free Mass) - hmotnosť netukového tkaniva
- **FM** (Fat Mass) - hmotnosť tukového tkaniva
- **% FAT** (Percent Body Fat) - percentuálne množstvo tuku v tele

TBW sa určí pomocou vzťahu 3.1, ktorý odvodili Lukaski a Bolonchuk v [6]:

$$TBW = 0.372 \cdot \left(\frac{H^2}{R}\right) + 3.05 \cdot (P) + 0.124 \cdot (M) - 0.069 \cdot (V) \quad (3.1)$$

H - výška osoby [cm]

R - rezistencia [ $\Omega$ ]

P - pohlavie (pre mužov 1, pre ženy 0)

M - hmotnosť [kg]

V - vek [roky]

Pomocou vypočítaného množstva telesnej vody TBW, sa dá zistiť množstvo beztukovej hmoty FFM 3.2. Pri odpočítaní tejto hmoty od celkovej hmotnosti tela M dostaneme tukovú hmotu FM 3.3. Konštanta hydratácie pre FFM je 0,73. [6]

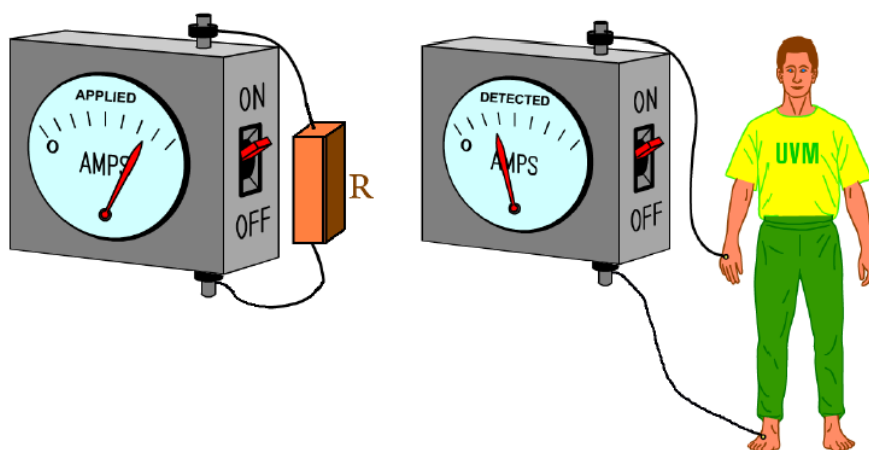
$$FFM = \left(\frac{TBW}{0.73}\right) \quad (3.2)$$

$$FM = M - FFM \quad (3.3)$$

$$\%FAT = \left(\frac{FM}{M}\right) \cdot 100 \quad (3.4)$$

### Jednoduchý príklad na pochopenie bioimpedancie:

Pomocou reostatu alebo odporovej dekády si presne nastavíme prúd, ktorý požadujeme, aby pretekal obvodom pri danom napätí. Do obvodu napojíme vyšetrovanú osobu 3.3 (elektrody meracieho prístroja upevníme na zápästie a členok vyšetrovanej osoby). Merací prístroj nám nameria menší prúd než nami presne nadefinovaný prúd pomocou odporovej dekády. Z tohto vyplýva, že naše telo pre pretekajúci prúd predstavuje väčší odpor (než nami nastavený odpor), ktorý je závislý na typu tkanív. [6]



Obr. 3.3: Presné nastavenie požadovaného prúdu pomocou odporovej dekády (naľavo) a ukážka napojenia vyšetrovanej osoby do obvodu pomocou elektród (napravo)

## 3.2 Využitie BIA

V súčasnosti je veľmi populárne využívanie tejto metódy vo fitness a wellness centrách pri monitorovaní stavu a pokroku klientov. Umožňuje ľuďom meranie ich zdravotného stavu a ukazuje nárast svalovej hmoty a úbytok tukov, vzhľadom na to, že hmotnosť tela nie je v tomto prípade adekvátnym ukazateľom.

Zásadným problémom je obezita zvyšujúca riziko vzniku kardiovaskulárnych chorôb, ktoré sú v dnešnej dobe najčastejšou príčinou smrti. Ďalšie choroby, s ktorými má súvislosť obezita je cukrovka, hypertenzia (vysoký krvný tlak) a rakovina. Vzhľadom na to, že úbytok tukovej hmoty má za následok zníženie rizika týchto chorôb, je metóda BIA veľmi populárna u klinických dietológov. Diabetes, ktorý bol uvedený ako jeden z príkladov ochorenia spojeným s obezitou sa môže zhoršovať so zvyšovaním telesného tuku. Riziko diabetu typu 2 bolo v nedávaných štúdiách priamo spojené práve s obezitou. Kontrola tohto faktoru ohrozujúceho život pomocou BIA metódy je jedným zo spôsobov prevencie zvýšenia telesného tuku a diabetu ako takého. [20, 21, 7]

Na monitoring postupu ochorenia pacientov u určitých typoch ochorení, ktoré majú za následok zmeny v telesnej stavbe, je stále využívaným spôsobom práve BIA systém. Vírus HIV (human imunodeficiency virus) je jedným z príkladov. Toto ochorenie je virová infekcia spôsobená retrovirom, ktorý potláča imunitný systém a následne vedie k náchylnosti k ďalším infekciám. Svalová atrofia je závažným problémom spojeným s týmto ochorením, kde dochádza k rozkladu svalovej hmoty, ktorá môže byť nahradená tukom. Týmto spôsobom sa u pacienta mení zloženie tela, čo môže viesť ku zdravotným rizikám a tiež k vyššiemu riziku úmrtia. Použitie BIA analýzy je možné stavbu chorého pacienta sledovať a úbytok svalovej hmoty zaznamenávať hneď v začiatkoch, čo pomáha práve pri znižovaní rizika úmrtia.

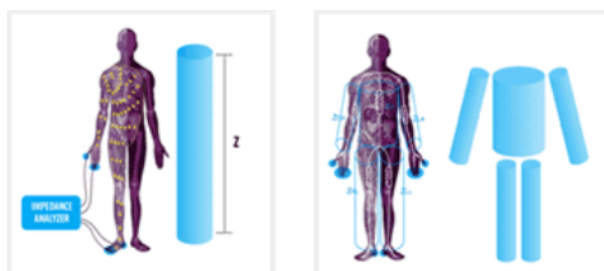
Nedávne pokroky vo vývoji BIA a nové aplikácie činia z tejto metódy technológiu dôležitú pre výskumy skúmajúce zloženie tela. Je univerzálna v použití či už pre analýzu zdravých jedincov, tak pre chorých, ktorí môžu byť v stave narušenia distribúcie vody v tele, čo by inak nemuselo byť zrejmé. Tento fakt robí z BIA ideálnu metódu pre testovanie nových liekov, ktoré zlepšujú stav pacientov a majú vplyv na zloženie tela. Pre farmakologický priemysel to znamená rýchlejšie nasadenie nových liekov na trh. Bioimpedančná metóda je tiež využívaná v štatistickom výskume, kde dáva vedcom lepší pohľad do problémov spojených s nedostatkom pohybu a nesprávnou výživou a tým, ako budú v budúcnosti ovplyvňovať populáciu. [21]

Jeden z konkrétnych výskumov, ktoré sa pomocou bioimpedančnej analýzy uskutočnili je sledovanie nárastu svalovej hmoty pomocou prístroja TANITA, v prípade použitia prírodného zdroja (rašelina) na operovanú končatinu. [33]

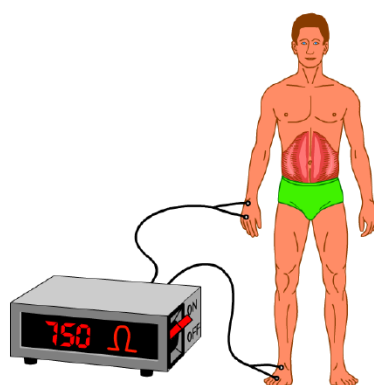
### 3.3 Model ľudského tela

Jedny z prvých metód BIA chápali ľudské telo ako jeden valec. Pokiaľ by sme merali celkovú vodu pomocou jedinej hodnoty impedancie a telo brali ako jeden valec, bola by väčšia pravdepodobnosť výskytu chyby v analýze. Práve pri meraní tela ako celku sa predpokladá, že trup a údy majú rovnaké charakteristiky, preto môže rozdiel v niektorej časti tela ovplyvniť celý výsledok a znižuje presnosť analýzy. Rozvrhnutie telesnej hmoty a metabolickej charakteristiky sú však v pažiach, nohách a trupe. Preto najnovšie prístroje, ktoré používajú metódu BIA rozdeľujú telo do piatich častí - piatich valcov (2 ruky, 2 nohy a trup) a počítajú impedanciu každej časti zvlášť. Toto rozdelenie pri analýze umožňuje presne merať impedanciu aj deťom aj starším osobám, osobám s ťažkou obezitou, športovcom alebo chorým osobám. Takže pri rozdelení ľudského tela do 5 valcov zohľadňujeme pri meraní impedancie tvar a rozdielne charakteristiky každej časti zvlášť 3.4. [19, 15]

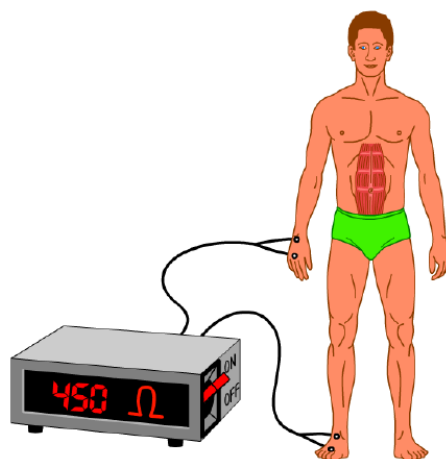
**Orientácia tkaniva:** V prípade priečne - pruhovaného svalstva 3.5 tečie prúd kolmo na orientáciu tkaniva, teda vzniká zvýšenie impedancie. Naopak v prípade pozdĺžnej orientácie svaloviny 3.6 vzniká zníženie impedancie. [6]



Obr. 3.4: Znáročnenie tela ako jediného valca (naľavo) a ako piatich valcov (napravo)



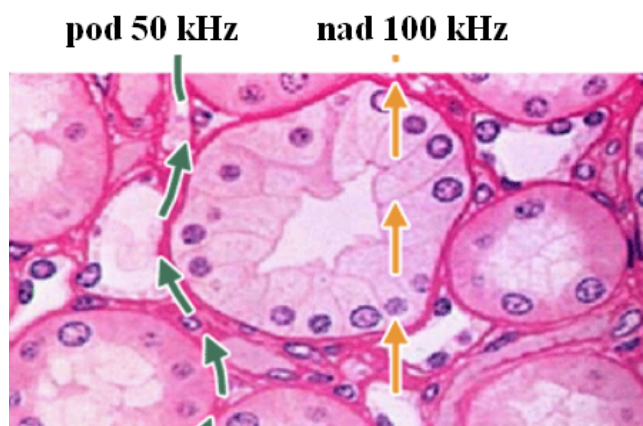
Obr. 3.5: Ukážka zvýšenej impedancie v prípade priečne pruhovaného svalstva



Obr. 3.6: Ukážka zníženia impedancie v prípade pozdĺžne pruhovaného svalstva

### 3.4 Multifrekvencia

Pri analýze telesného zloženia metódou BIA sa používa štandardne frekvencia 50 kHz. Dôvod je, že práve frekvencia okolo 50 kHz má najvyššiu reaktanciu a je s ňou najľahšie zistiť telesné charakteristiky. Druhým dôvodom je, že z technického hľadiska je najľahšie použiteľná. Frekvencia 50 kHz sa šíri iba mimobunecnou tekutinou 3.7, ale nie je schopná prestúpiť bunecnú membránu. Z tohto dôvodu nie je možné presne zmerať vnútrobunecnú tekutinu. Koncom 80. rokov vznikol spôsob používania viac frekvencií a bolo zistené, že frekvencia nad 100 kHz dokáže prestúpiť i bunecnú membránu 3.7 a môžeme merať impedanciu vonku aj vnútri bunecného priestoru (extracelulárna a intracelulárna). Najnovšie prístroje pracujú so 6 frekvenciami : 1, 5, 50, 250, 500 kHz a 1 MHz. Multifrekvenčná technológia moderných prístrojov je náročná technológia, ktorá je výsledkom vedeckého výskumu a skúseností. [28, 15]



Obr. 3.7: Rozdiel účinku nízkej (zelená šípka pod 50 Hz) a vysokej frekvencie (žltá šípka nad 100 Hz) na bunku



## 4 METÓDY ZÍSKAVAJÚCE ZLOŽENIE ĽUDSKÉHO TELA

Nielen BMI má vypovedajúcu hodnotu o tom, či máme nadváhu alebo nie. Dôležitejšie, ale obtiažnejšie merateľné je zloženie tela - hlavne pomer medzi tukovou a svalovou hmotou. Tieto hodnoty sa dajú získať viacerými metódami.

### 4.1 Prístroje založené na BIA

V dnešnej dobe existuje mnoho osobných váh do domácností s rozšírenými funkciami merania vody a tuku v našom tele, no zvyčajne nepracujú s rôznymi frekvenciami a nemajú vysokú presnosť dát. Medzi najznámejšie komerčné prístroje založené na bioimpedančnej analýze s väčšou presnosťou údajov zloženia ľudského tela sú TANITA, InBody a Bodystat.

#### 4.1.1 TANITA a InBody

Tie dva prístroje patria asi medzi najviac využívané v dnešnej dobe na analýzu ľudského tela nielen vo wellness a fitness centrách. Oba prístroje sú založené na bioelektrickej impedančnej analýze a záleží už len od typu, či je konkrétny prístroj monofrekvenčný alebo pracuje s viacerými frekvenciami. Zvyčajne u InBody to bývajú frekvencie 1 kHz, 5 kHz, 50 kHz, 250 kHz, 500 kHz a 1 000 kHz. Prístroje môžu mať rôznu veľkosť napájacieho prúdu, no využívajú osem dotykových elektród rovnako umiestnených na pravej a ľavej časti tela, v oblasti dlane a palca ruky, prednom segmente nohy a na päte. [11, 24] Konkrétne porovnanie oboch druhov prístrojov je vypracované v článku. [17]

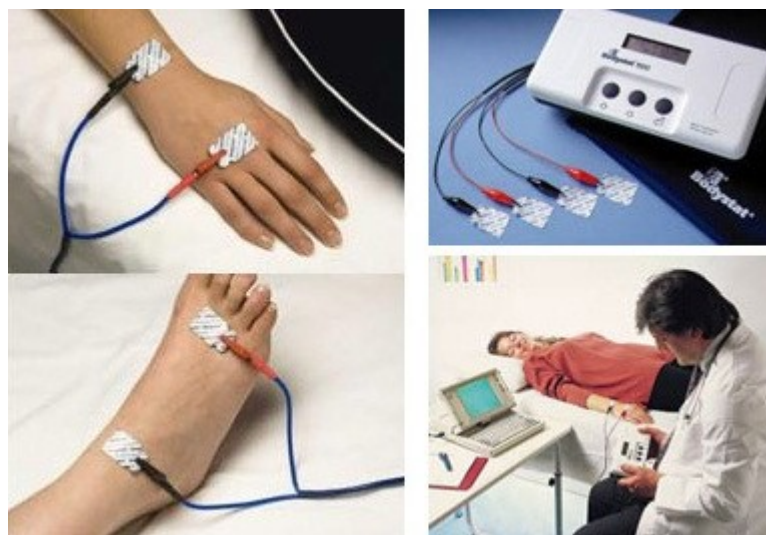
**GMON PRO** je program určený pre použitie s prístrojom TANITA. Práve pomocou tohto programu sa dajú získať všetky možné informácie z merania zloženia ľudského tela. Každá osoba zmeraná TANITOU, má pomocou tohto programu vytvorenú kartu, do ktorej sa ukladajú všetky merania. Vďaka tomu sa dá vracieť k jednotlivým výsledkom a hlavne sledovať vývoj hodnôt. Pri opakovaných meraniach program sám vytvára grafy, pre lepšiu orientáciu vo výsledkoch v čase. GMON PRO odpadajú povinnosti vytvárania tabuliek a grafov, ručného zapisovania, a pod. Celé spracovanie a ukladanie výsledkov do karty dotýkanej meranej osoby trvá 30 sekúnd. [24]

## 4.1.2 Bodystat

Ďalší z prístrojov, ktorý pracuje na princípe BIA je Bodystat. Tento prístroj má od jednofrekvenčných, cez dvojfrekvenčné až po multifrekvenčné vyhotovenia (11 - 50 frekvencií). Prístroj obsahuje 4 nalepovacie elektródy, ktoré sa prikladajú na pravú ruku (povrch ruky - blízkosť ukazováku a na zápästie) a na pravú nohu (povrch nohy - blízkosť prstov a na členok). Multifrekvenčné analyzátory pracujúce na 4 frekvenciách merajú okrem reaktancie a rezistancie aj fázový uhol. Najmodernejšie prístroje, ktoré merajú až na 50 frekvenciách dokážu aj BIVA (vektorovú analýzu), niektoré majú aj zabudovanú tlačiareň. Referencie podávajúce špičkoví odborníci na tieto prístroje sú aj z LF MU Brno - Ústav preventívneho lekárstva.

Zásadná odlišnosť Bodystatu od ostatných analyzátorov založených na BIA je spôsob vyšetrenia, ktoré prebieha v ležiacej polohe. Tento fakt spôsobuje ďaleko presnejšie výsledky aké poskytujú obdobné prístroje.

Na obrázku 4.1 vidíme umiestnenie elektród na nohe a ruke, polohu vyšetrenia aj samotný prístroj. [8, 9, 12]



Obr. 4.1: Bodystat

## 4.2 Ostatné prístroje

### 4.2.1 Kaliper

Kaliper, ktorý vidíme na obrázku 4.2, je mechanický prístroj na meranie percenta telesného tuku. Pomocou kaliperu meráme hrúbku kožnej riasy na určitých miestach na našom tele a podľa návodu a tabuliek určíme percento telesného tuku. [13]



Obr. 4.2: Ukážka kaliperu

### 4.2.2 DEXA (DXA)

DEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry) je metóda založená na rôznej priestupnosti rentgenového žiarenia. Prístrojom založeným na tejto metóde sa sleduje napríklad množstvo tuku v tele a jeho rozloženie alebo úbytok kostnej hmoty.

Skenovanie kostnej hustoty (kostná denzitometria) je rozšírená forma rentgenovej technológie, ktorá je dnešný zavedený štandard pre meranie hustoty kostného minerálu. Rentgénová snímka je neinvazívny test, ktorá pomáha lekárom diagnostikovať a liečiť zdravotné ťažkosti. Použitie rentgenových lúčov vystavuje časť ľudského tela malou dávkou ionizujúceho žiarenia pre výrobu snímku vnútri tela. Rentgenové lúče sú najstaršie a najčastejšie používanou formou lekárskeho zobrazovania.

DXA sa zvyčajne vykonáva v dolnej časti chrbtice a bodov. U detí a niektorých dospelých je občas potrebné naskenovať celé telo.

Tento prístroj, ktorý je veľmi presný je využívaný v zdravotníctve a hlavne pri výskumoch. Cena takýchto prístrojov je niekoľko desiatok miliónov a vyšetrenie je taktiež veľmi nákladné. [26, 10]

### 4.2.3 Magnetická rezonancia

Magnetická rezonancia je prístroj, ktorý dokáže zobrazovať vnútorné orgány v ľudskom tele. Touto metódou môžeme najpresnejšie odhaliť stav viscerálneho tuku v našom organizme. Ako v prípade DXA sa jedná o prístroj, ktorý svojou cenou presahuje desiatky miliónov korún a vyšetrenie taktiež predstavuje niekoľko tisíc korún. Najčastejšie využitie magnetickej rezonancie v zdravotníctve je na vyšetrenie nádorov a pod. [26]

## 5 NÁVRH PRAKTICKEJ ČASTI

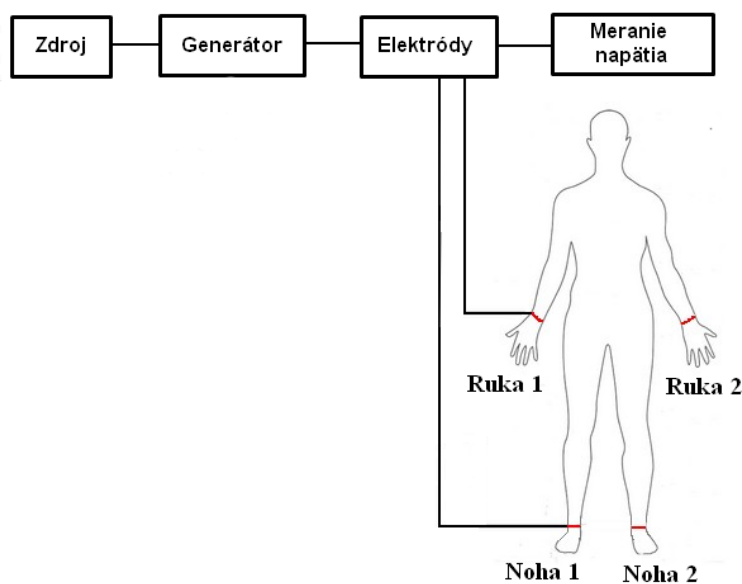
### 5.1 Všeobecný návrh praktickej časti

Praktická časť pozostáva z návrhu prípravku na meranie telesného tuku, príslušného softvéru a porovnania hodnôt z prípravku a z komerčného prístroja Tanita. Blokujú schému prípravku vidíme na obrázku 5.1. Na generátor budem privádzať frekvenciu 100 kHz a merať hodnoty napätia na ľudskom tele, z ktorých získam prepočtom hodnoty bioimpedancie. Elektródy pokusnej osobe nasadím na obe ruky a obe nohy a zmerám príslušné kombinácie:

- Noha - Noha,
- Noha - Ruka,
- Ruka - Ruka.

Osoby, na ktorých budem prevádzať merania budú minimálne 3 a pri meraní budem dodržiavať podmienky správnej analýzy ľudského tela, takže všetky osoby budú merané v približne rovnakom čase na prípravku aj na Tanite.

Ďalším bodom praktickej časti bakalárskej práce bude porovnať moje namerané data s datami z komerčného prístroja a tieto informácie spracovať. Pri porovnávaní dát získam určité súvislosti, vďaka ktorým budem môcť odvodiť prepočtové vzťahy (popríklad tieto vzťahy nájdem v literatúre a porovnam ich s mojimi) medzi mnou získanými datami a datami z komerčného prístroja. Pre overenie môžem tieto merania uskutočniť znovu a spätne skontrolovať či sú moje prepočtové vzťahy správne určené.



Obr. 5.1: Blokujú schéma zapojenia meranej osoby

## 5.2 Popis blokovej schémy

Bloková schéma 5.1:

- **Zdroj** - v obvode bude napojený zdroj nízkeho napätia, ktorý nebudem počas merania meniť. Celý návrh bude zostavený na batériový zdroj, vďaka ktorému bude meraná osoba galvanicky oddelená od siete.
- **Generátor** - generátor sínusového priebehu bude zostavený na 100 kHz.
- **Elektródy** - jednotlivé elektródy pripojím na pokusnú osobu a postupne sa budú premeriavať požadované kombinácie.
- **Pokusná osoba** - všetky osoby, ktoré budem merať, budú pripravené a upozornené na zásady správneho merania bioimpedancie.
- **Meranie napätia** - pomocou meracieho zariadenia budem snímať hodnoty napätia a z nich prepočtom získam impedanciu ľudského tela.

## 6 ZAPOJENIE PRÍPRAVKU

### 6.1 Mikroprocesorová platforma Arduino

Pri návrhu zariadenia bola zvolená platforma Arduino, ktorá predstavuje open-source platformu založenú na jednoduchom mikrokontroléri ATmega od firmy Atmel, a grafickom vývojovom prostredí, ktoré vychádza z prostredia Wiring a Processing (prostredie pre výuku programovania). Arduino projekty môžu byť samostatné, alebo môžu komunikovať so softvérom bežiacom na našom počítači (Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider).

Hlavnými výhodami, ktoré viedli k výberu mikroprocesorovej platformy boli:

- **Cena** - Arduino platformy sú relatívne lacné v porovnaní s inými mikrokontrolérnymi platformami. Najlacnejšie verzie modulu Arduino možno zostaviť ručne, a dokonca aj predmontované moduly Arduino majú veľmi dostupnú cenu.
- **Softvér** - softvéry väčšiny mikrokontrolérov sú obmedzené na Windows, no softvér Arduina beží na Windows, Macintosh OSX, aj Linux operačné systémy.
- **Jednoduché a jasné programovacie prostredie** - programovacie prostredie Arduino je ľahko použiteľné pre začiatočníkov, ale dostatočne flexibilné, aby pre pokročilých používateľov bolo rovnako využiteľné.
- **Open source a rozšíriteľný Software** - programovací jazyk možno rozšíriť prostredníctvom knižníc C ++, a ľudia, ktorí chcú pochopiť technické detaily môžu urobiť skok z Arduino do programovacieho jazyka C, AVR, na ktorých je založený. Ak by zákazník chcel, môže si pridať AVR-C kód priamo do našich Arduino programov.
- **Open source a rozšíriteľný hardware** - Arduino je založený na Atmel ATmega8 a ATmega168 mikroprocesoroch. Plány pre moduly sú publikované pod licenciou Creative Commons, takže skúsení návrhári obvodov si môžu robiť vlastnú verziu modulu, rozširovať ju a zlepšovať. Dokonca aj pomerne neskúsení užívatelia môžu vytvárať verzie modulu pre pochopenie funkčnosti a zároveň ušetrili peniaze.

[2]

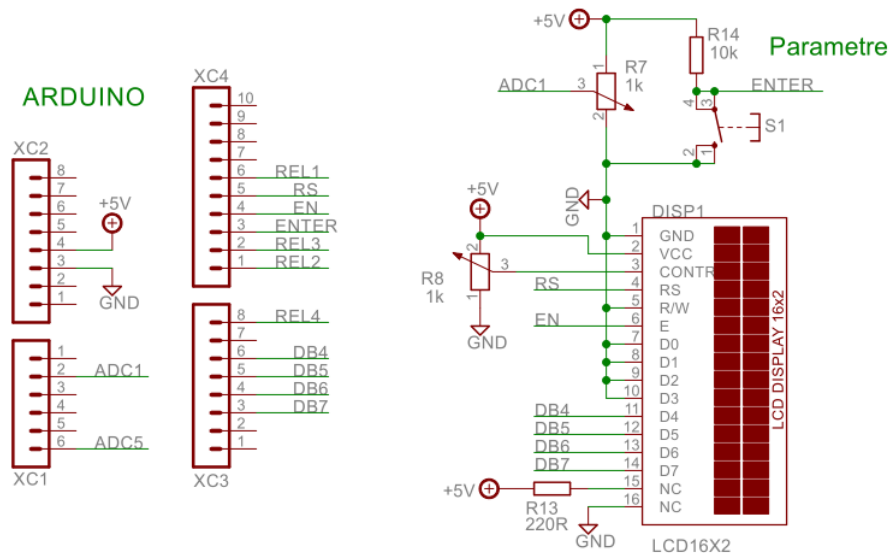
### 6.2 Zadávanie vstupných hodnôt

Na zadávanie vstupných hodnôt (váha, vek, pohlavie a výška) je do zapojenia pridané tlačidlo a potenciometer, čo vidíme na schéme zapojenia 6.1. **Tlačidlo** je zapojené na digitálnom pine 10 a cez 10 k $\Omega$  rezistor zapojený do napájania. **Poten-**

**ciometer** na zmenu vstupných hodnôt je na analógovom vstupe ADC1. Otáčaním potenciometra meníme hodnoty odporu, ktoré vďaka príslušne naprogramovanému softvéru ponúkajú užívateľovi rozsah vstupných hodnôt. Po výbere odpovedajúcej vstupnej hodnoty, ktorú si vybral užívateľ potvrdzuje túto hodnotu stlačením tlačidla a prepína sa do ďalších vstupných hodnôt. Po potvrdení všetkých štyroch vstupných hodnôt sa prepne softvér do modu merania, čo používateľ uvidí aj na displayi ("Prebieha meranie"). Pri meraní sa zopnú jednotlivé relé do 3 rôznych kombinácií a zmerá sa impedancia ľudského tela. Konkrétne zopnutia relé sú signalizované príslušnými diódami.

### 6.3 Zapojenie displaya

Zapojenie displaya, ktoré vidíme na obrázku 6.1 je realizované podľa doporučeného zapojenia z Arduino projects book. LCD má 16 stĺpcov a 2 riadky, teda 32 políčok na zobrazovanie. Množstvo pinov nachádzajúcich sa na displayi je používaných na komunikáciu a napájanie. Ako prvé bolo potrebné prepojiť napájanie a uzemnenie na dosku z príslušných vývodov Arduina (5V, GND). Arduino digitálne piny 12, 11 sú prepojené s D6 a D4, digitálne piny 5-2 sú prepojené s D14-1. Piny D16, D5 a D1 sú uzemnené, D15 cez odpor spojený s napájaním a D2 priamo spojený s napájaním. V zapojení je použitý potenciometer, ktorého hodnoty menia kontrast displayu. LCD piny D9-7 nie sú zapojené vôbec. [16]



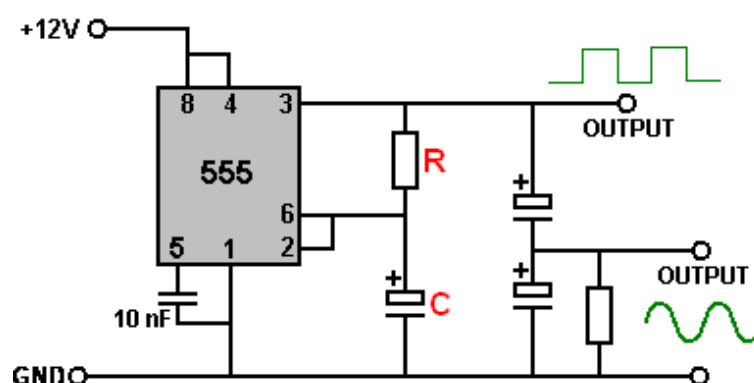
Obr. 6.1: Zapojenie pinov Arudina a displayu s príslušným zapojením potenciometra a tlačidla

## 6.4 Generátor sínusového priebehu

Generátor sínusového priebehu, ktorého schému vidíme sa obrázku 6.2, je vytvorený pomocou časovača 555. Napájanie tohto časovača je z DC-DC, ktorý vidíme na obrázku 6.6. V prvotnom zapojení vytvára 555 obdĺžnikový priebeh, ktorý sa pomocou kondenzátorov a odporov upraví na priebeh sínusového tvaru. Na meranie ľudskej impedancie bola zvolená frekvencia 100 kHz, ktorá by mala byť schopná prechádzať do intracelulárneho prostredia bunky a poskytnúť správne hodnoty na výpočet bioimpedancie. Zvolená frekvencia bola vytvorená pomocou odporu 37 kΩ zapojeným medzi pinom 3 a 6 a kondenzátorom 100 nF pripojeným na GND. Výpočet frekvencie sa počíta podľa vzorca 6.1, do ktorého vstupujú hodnoty R a C, vyznačené na schéme zapojenia 6.2 červenou farbou. Zapojenie časovača je ďalej realizované prepojením pinu 2 a 6, a zapojením kondenzátora 10 nF medzi pin 1 a 5. Ostatné odpory a kondenzátory sú zapojené podľa schémy na obrázku 6.2 a výsledný signál je po filtrácii sínusového tvaru.[1]

Výpočet frekvencie zapojenia časovača 555:

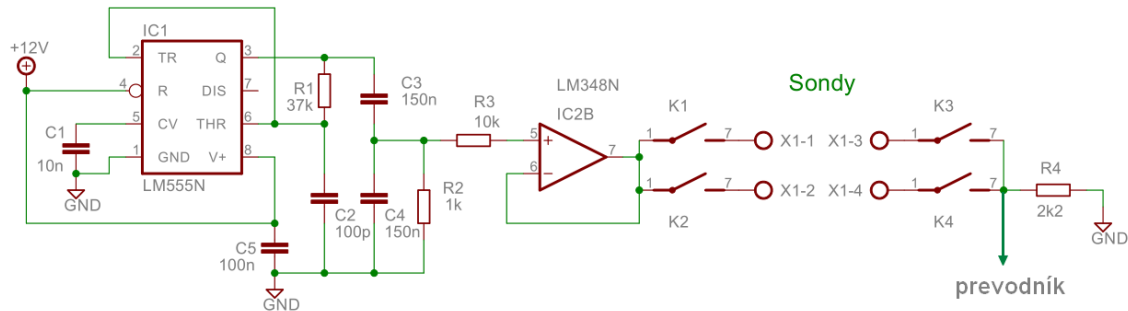
$$f = \frac{1,44}{2 \cdot (R) \cdot (C)} [\text{Hz}] \quad (6.1)$$



Obr. 6.2: Doporučené zapojenie generátora sínusového priebehu pomocou 555 [1]

Za generátorom sínusového priebehu sa nachádza napätový sledovač, ktorý má zosílenie 1. Na realizáciu bol použitý jeden z operačných zosilňovačov v puzdre LM348. Za napätovým sledovačom má pripravok v zapojení sadu relé s elektródami na meranie požadovaných kombinácií impedancie ľudského tela. K impedancii ľudského tela je v sérii zapojený odpor s hodnotou 2,2 kΩ. Hodnota tohto odporu je približne rovnaká ako hodnota impedancie ľudského tela pri 100 kHz, ktoré boli zistené pri prvotných meraniach, z ktorých sa na začiatku vychádzalo. Celý pripravok bol navrhnutý na teórii o napätovom deliči. Zapojenie generátora sínusového

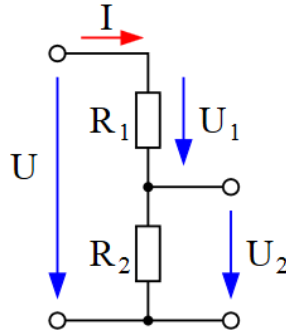




Obr. 6.3: Schéma zapojenie generátora sínusového priebehu s operačným zosilňovačom, relé s konektormi a odporom v sérii

priebehu s napätovým sledovačom, jednotlivé relé s elektródami a odpor v sérii s ľudským telom vidíme na obrázku 6.3.

Celý prípravok bol navrhnutý na teórii o napätovom deliči. Tento delič napätia sa používa na získanie výstupného napätia, ktoré je úmerné na vstupnom napätí. Všeobecné zapojenie vidíme na obrázku 6.4, kde v zapojení prípravku U1 predstavuje napätie na známom odpore, U2 je merané napätie na človeku, U je hodnota napätia generátoru 1,9 V, R1 je známy odpor 2,2 k $\Omega$  a R2 je hodnota bioimpedancie ľudského tela, ktorú potrebujeme zistiť. [31]



Obr. 6.4: Všeobecná schéma zapojenia napätového deliču

Všeobecné vzťahy platné v napätovom deliči sú uvedené vo vzorcoch 6.2, 6.3, 6.4.

Pre U1 platí:

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \text{ [V]} \quad (6.2)$$

Pre U2 platí:

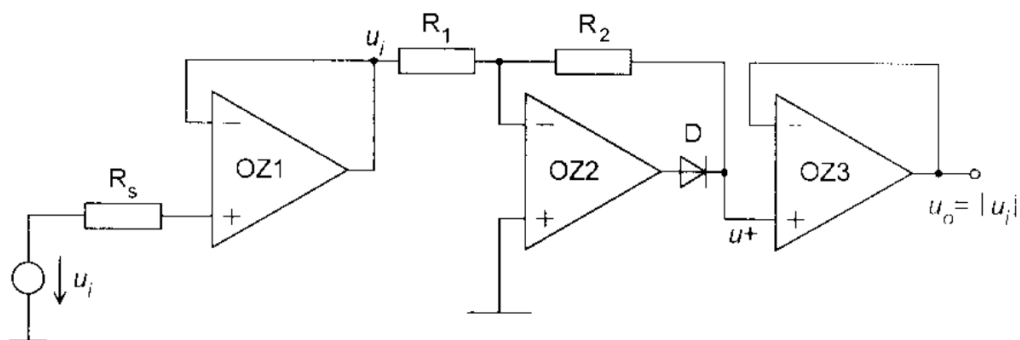
$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \text{ [V]} \quad (6.3)$$

V prípade, že  $R_1 = R_2$  platí:

$$U_1 = U_2 = \frac{1}{2} \cdot (U) \text{ [V]} \quad (6.4)$$

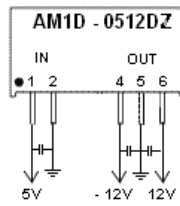
## 6.5 Dvojcestný precízny usmerňovač - prevodník na absolútnu hodnotu

Obecné zapojenie prevodníku na absolútnu hodnotu, ktoré vidíme na obrázku 6.5 sa skladá z 3 operačných zosilňovačov OZ1, OZ2 a OZ3. Prvá časť prevodníku (napätový sledovač) nám impedančne prispôsobuje signál, ktorý z pacienta vstupuje do vstupu OZ1. Napätový sledovač má zosilnenie 1. Druhá časť prevodníku s použitím OZ2 nám usmerňuje kladné polvlny a zosilňuje signál, ktorý prichádza na vstup OZ2 z výstupu OZ1. Zosilnenie v našom prípade je pomer hodnoty odporov  $R_2/R_1$ . Signál je po prechode celým usmerňovačom vrátane OZ3 usmernený na jednosmerné napätie.

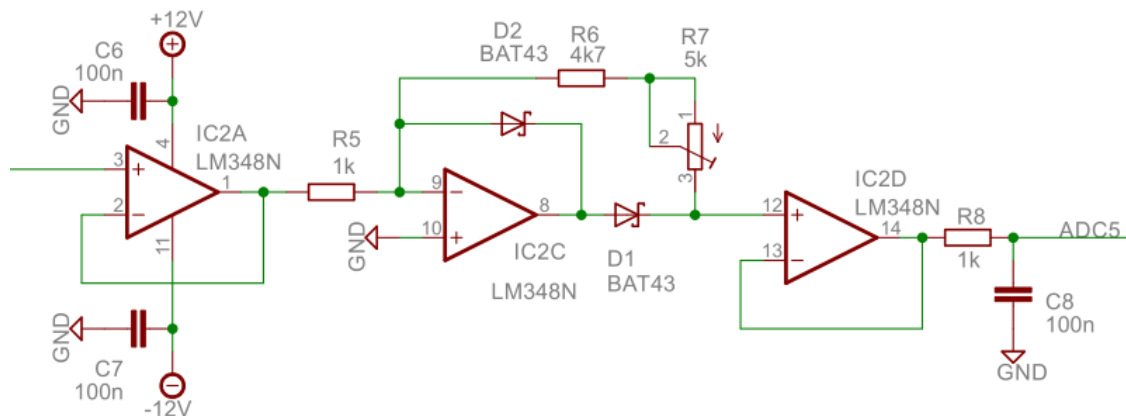


Obr. 6.5: Obecné zapojenie dvojcestného precízneho usmerňovaču

Zapojenie operačných zosilňovačov, ktoré vidíme na obrázku real je v skutočnosti v jednom spoločnom puzdre LM348. V prvej časti zapojenia sa nachádzajú podľa doporučených zapojení dva 100 nF kondenzátory a napájanie  $\pm 12V$  operačného zosilňovača je z meniča DC2 (AM1D-0512DZ), ktorého puzdro vidíme na obrázku 6.6. Tento menič nám mení  $+5V$  na  $\pm 12V$ . V druhej časti zapojenia sú použité 2 rýchle diódy a rezistory s pomerom  $4\text{ k}\Omega/1\text{ k}\Omega$ , čo je zosílenie 4. V schéme zapojenia je k odporu  $4\text{ k}\Omega$  pridaný potenciometer na prípadnú zmenu zosílenia. Táto časť nám signál zosiluje a upravuje na kladné polvlny. Posledná časť zapojenia usmerňovača predstavuje opäť napätový sledovač, kde je zapojený odpor s hodnotou  $1\text{ k}\Omega$  a doporučený kondenzátor  $100\text{ nF}$ . Z celého zapojenia prevodníku vychádza jednosmerné napätie, s premenlivou hodnotou podľa ľudskej impedancie, ktoré by v ideálnych podmienkach malo mať maximálnu hodnotu  $5\text{ V}$ , aby bol ADC schopný namerané výsledky spracovať.



Obr. 6.6: Puzdro DC-DC meniču a zapojenie vývodov



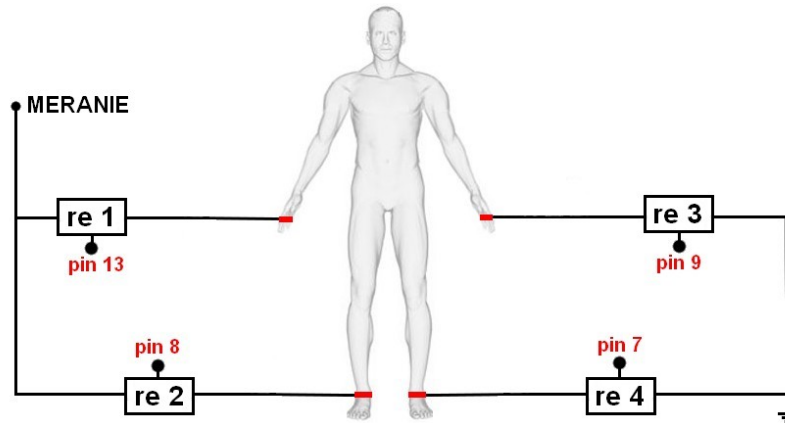
Obr. 6.7: Reálna schéma zapojenia prevodníku na absolútnu hodnotu

## 6.6 Ovládanie relé so signalizáciou

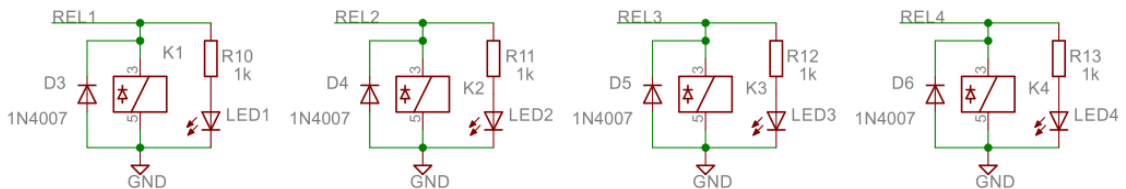
Zapojenie relé so signalizáciou znázornené na obrázku 6.8, nám slúži na prepínanie kontaktov na elektródach do rôznych kombinácii potrebných pre meranie impedancie ľudského tela. Jednotlivé relé sú na pinoch 7, 8, 9, 13 a pre ochranu pred poškodením má každé v zapojení diódu. Relé 1 a 2 sú navzájom prepojené a takisto relé 3 a 4 sú prepojené. Všetky sú nakoniec spoločne uzemnené cez štvrté relé. LED nám slúžia ako signalizácie pre zobrazenie aktuálnej kombinácie relé a každá je cez rezistor s hodnotou 1 k $\Omega$  zapojená ku konkrétnemu relé. Pri meraní prebehnú 3 konkrétne kombinácie zopnutia relé:

- Relé 1 - Relé 3 (ruka - ruka)
- Relé 1 - Relé 4 (ruka - noha)
- Relé 2 - Relé 4 (noha - noha)

Kombinácie nám slúžia na zmeranie ľudskej bioimpedancie v jednotlivých častiach tela. Najnovšie prístroje na meranie % telesného tuku rozdeľujú telo do piatich segmentov a každý vyhodnocujú zvlášť. Môj prípravok vyhodnocuje ruky, nohy a trup. Na oboch rukách a oboch nohách zobrazuje rovnaké hodnoty. Trup vypočítava z meranej kombinácie Ruka - Noha, od ktorej odpočíta hodnotu ruky a nohy.



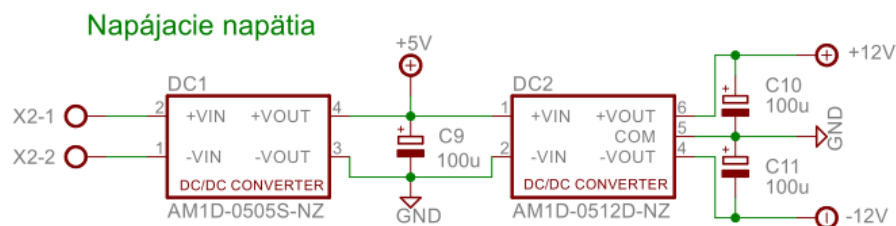
Obr. 6.8: Znázornenie jednotlivých relé a príslušných pinov na Arduinoe



Obr. 6.9: Schéma zapojenia jednotlivých relé aj s LED

## 6.7 Batériové napájanie prípravku

Napájanie prípravku externým batériovým zdrojom by malo nahrádzať napájanie z USB portu počítača, čo je 5 V. Máme dve možnosti zapojenia batérií do obvodu. Ako prvý môžeme použiť stabilizátor napätia na 5 V, ktorý nám z určitého napätia bateriek zastabilizuje požadované napätie (5 V). Druhou možnosťou je DC-DC ako v prípade napájania operačných zosilňovačov, ktorý z hodnoty batériového napätia vytvorí nami požadovanú hodnotu. Vďaka napájaniu prípravku z bateriek je ľudské telo chránené od nebezpečenstva vysokých napätí a tým galvanicky oddelené od elektrickej siete. V schéme 6.10 vidíme zapojenie batériového zdroja pomocou DC1 a zdroja pre operačné zosilňovače pomocou DC2.



Obr. 6.10: Schéma zapojenia DC1 a DC2

Celková schéma zapojenia celého prípravku je v prílohe B na strane II príloh.

## 6.8 Softwér prípravku

Na začiatku programu sa načítala knižnica pre LCD a jeho jednotlivé piny.

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
```

Následne sa relé a potvrdzovacie tlačidlo Enter priradili na piny Arduina:

```
const int Rele1 = 13;
const int Rele2 = 8;
const int Rele3 = 9;
const int Rele4 = 7;
const int Enter = 10;
```

Na príklade vidíme niekoľko ukážok definovania premenných a ich nulových počiatočných hodnôt, no aj definovanie ADC pinu pre snímanie meraných hodnôt A5 a nastavovač vstupných parametrov A1:

```
int uiNohaNoha = 0;
float fRukaRuka = 0;
float R = 0;
float VAHA = 0;
float ZOS = ?;
int sensorValue = 0;
int sensorPin = A5;
int NastavovacPin = A1;
int Nastavovac = 0;
```

Na zadávanie vstupných parametrov (váha, výška, vek a pohlavie) je v prípravku použitý potenciometer, ktorý je napojený na ADC1. Zmenou hodnôt potenciometru sa menia hodnoty vstupných parametrov. Vzhľadom na to, že ADC priraduje digitálne hodnoty 0 - 1023, bol zvolený prepočítavací vzorec, ktorý tento rozsah zmení na požadovaný rozsah vstupných parametrov. Po prepočte je konkrétny parameter vypísaný na LCD a potvrdzuje sa tlačidlom Enter. Na príklade vidíme zadávanie vstupného parametru VÁHA:

```
do{
  Nastavovac = analogRead(NastavovacPin);
  VAHA = 40.0 + (float)Nastavovac*(120.0/1024.0);
```

```

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("VAHA: ");
    lcd.print(VAHA);
}while (digitalRead(Enter)==HIGH);
do{
    continue;
}while (digitalRead(Enter)==LOW);

```

Po nastavení vstupných parametrov sa na LCD vypíše „Prebieha meranie“ a postupne sa zopnú kombinácie relé, vďaka ktorým prebehnú merania medzi požadovanými časťami tela. Po zopnutí jednotlivých relé nasleduje pauza 1 sekunda a načítanie analógovej hodnoty. Na príklade vidíme jednu konkrétnu kombináciu Ruka-Ruka:

```

digitalWrite(Rele1,HIGH);
digitalWrite(Rele3,HIGH);
digitalWrite(Rele2,LOW);
digitalWrite(Rele4,LOW);
delay(1000);
uiRukaRuka = analogRead(sensorPin);

```

Ku každej meranej kombinácii sú podľa teórie o bioimpedancii pridané vzorce (3.1, 3.2, 3.3, 3.4) na výpočet percenta telesného tuku. Po výpočtoch je zadaný výsledok na display. ADC spracováva napätie v rozsahu 0 - 5V, ktorým priraduje hodnoty 0 - 1023. Podľa tejto informácie vzniká spätný prepočet na hodnotu nameraného napätia 6.5.

$$U_{adc} = \frac{5}{1024} \cdot (ADC) \quad (6.5)$$

Na výpočet bioimpedancie ľudského tela teda využívame nameranú hodnotu napätia, napätie vytvorené generátorom sínusového priebehu a hodnotu známeho odporu zapojenú do obvodu s ľudským telom ako napäťový delič. Do výpočtu ešte musíme zaradiť zesílenie použité v prevodníku na absolútnu hodnotu. Z týchto informácií vzniká vzorec na výpočet bioimpedancie 6.6:

$$R_{\check{c}} = \frac{(U_{sin} - U_{adc}) \cdot (R)}{U_{adc} \cdot (ZOS)} \quad (6.6)$$

$R_{\check{c}}$  = impedancia ľudského tela [ $\Omega$ ]

$R$  = známy odpor zapojený s ľudským telom ako napäťový delič [ $\Omega$ ]

$U_{adc}$  = napätie na ADC [V]

$U_{sin}$  = napätie na generátore sínusového priebehu [V]

ZOS = hodnota zesílenia použitá v prevodníku na absolútnu hodnotu

ADC = hodnota z ADC prevodníku

Na príklade Ruka-Ruka vidíme prepočet digitálnej hodnoty, výpočet impedancie, použitie vzorcov na výpočet telesného tuku a následne vypísanie výsledku na display:

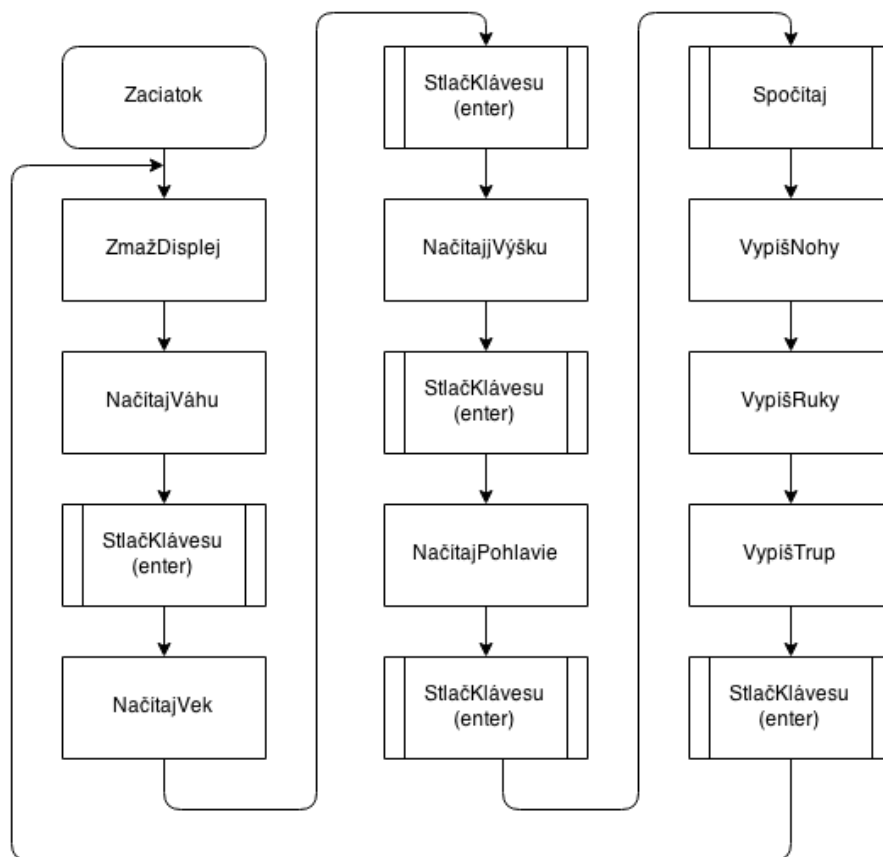
```
fRukaRuka = uiRukaRuka * (5.0/1024.0);
Impedance = ((1,9-(fRukaRuka))*2,2*1000)/((fRukaRuka)*ZOS);
R2 = Impedance / 2;
TBW = 0.372 * (VYSKA*VYSKA / R2) + 3.05 * POHLAVIE +
      + 0.124 * VAHA - 0.069 * VEK;
FM = TBW / 0.73;
FM = VAHA - FFM;
Ru = (FM / VAHA)*100;
RUKY = round(Ru);

lcd.setCursor(8, 0);
lcd.print("Ruky ");
lcd.print(RUKY);
lcd.print(" %");
```

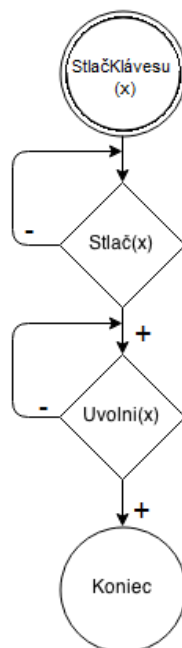
Na poslednom príklade vidíme ako sa užívateľ Enter tlačidlom môže dostať na úplný začiatok programu a celý proces merania zopakovať:

```
do {
    continue;
}while (digitalRead(Enter)==HIGH);
do{
    continue;
}while (digitalRead(Enter)==LOW);
}
```

Celý proces softvéru môžeme vidieť na vývojovom diagrame 6.11. Na obrázku 6.12 je vývojový diagram obsluhy tlačidla.



Obr. 6.11: Vývojový diagram riadiaceho softwéru



Obr. 6.12: Vývojový diagram obsluhy tlačidla



## 7 DISKUSIA

Úvodné skúšobné merania sa uskutočnili na funkčných prístrojoch, hodnoty sa prepočítali podľa vzorcov na percento telesného tuku a výsledky sa porovnali so skutočnými, ktoré boli namerané na komerčnom prístroji Tanita. Merania sa uskutočnili pri rôznych frekvenciách, v rovnakom čase a na 3 rôznych osobách (jedna žena, dvaja muži). Z týchto skúšobných frekvencií sa do prípravku na realizáciu vybrala jedna, 100 kHz. Práve táto frekvencia má podľa literatúry [28, 15] najlepšie zodpovedajúce hodnoty realite, vlastnosť prenikať intracelulárnym prostredím a tým poskytnúť dôveryhodné informácie o bioimpedancii ľudského tela. Na 3 pokusných osobách sa pri piatich rôznych frekvenciách (1 kHz, 10 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 200 kHz) merala hodnota napätia a prúdu prechádzajúca bunkami. Z týchto hodnôt sa vypočítala bioimpedancia a následne percento telesného tuku. Ďalšími dôležitými informáciami k výpočtom bol vek, výška, pohlavie a hmotnosť pokusnej osoby. Pri porovnávaní výsledkov nameraných v laboratóriu a na komerčnom prístroji vznikol približne štvornásobný rozdiel v hodnotách.

Vzorce pre výpočet telesného tuku zistené podľa literatúry [6] sa bohužiaľ nedajú overiť podľa katalógov komerčných zariadení. Vzhľadom na skutočnosť, že výrobcovia komerčných prístrojov založených na bioimpedancii neposkytujú svoje „know how“, nie je možné zistiť, prípadne dohľadať chybu merania. Z týchto dôvodov sa na prepočet nameraných hodnôt zvolil a vo výslednom prepočte v prílohe A použil koeficient  $k = 4$ , ktorým sa vydělili výsledky, aby mali približne rovnakú vypovedajúcu hodnotu ako informácie z komerčných prístrojov.

V priebehu riešenia práce došlo k výmene operačného zosilňovača, aj keď pôvodný zosilňovač TL064 má maximálnu frekvenciu podľa katalógového listu do 1 MHz s bezproblémovým prenosom do 100 kHz (čo by bolo dostačujúce pre danú aplikáciu). Reálne sa ale na frekvencii 100 kHz prejavilo veľké skreslenie. Z tohto dôvodu bolo výsledné meranie uskutočnené na zníženej frekvencii sínusového priebehu 50 kHz. Znížená frekvencia bola realizovaná výmenou rezistoru 37 k $\Omega$  v generátore sínusového priebehu za rezistor 100 k $\Omega$  a použitím druhého operačného zosiňovaču LM348. Na základe informácií podľa literatúry [28, 15] je teda možné toto zníženie považovať za dôvod rozdielnych hodnôt medzi meraním na profesionálnom komerčnom prístroji Tanita a v rámci bakalárskej práce zostaveným prístrojom.

Pri použití iného operačného zosilňovača, ktorého charakteristika bola s ohľadom na frekvenciu 100 kHz lepšia (konkrétne LM348, ekvivalent TL064), sa prejavili parazitné vlastnosti nepájivého poľa. Z tohto dôvodu nebola nakoniec frekvencia 100 kHz testovaná. Tento problém by bolo možné vyriešiť návrhom a osadením DPS, čo z časových dôvodov už nebolo realizované.

Výsledné testovanie, ktoré sa nachádza v prílohe A, bolo prevedené na 5 res-

pondentoch. Pri meraní bola použitá vyššie uvedená optimalizácia. Až na jedného respondenta (č. 4) vychádzajú namerané výsledky vyššie, než výsledky Tanity, čo by odpovedalo predpokladu podľa zdroja [15], t.j. nepriama úmera medzi frekvenciou a impedanciou.

## 8 ZÁVER

V rámci bakalárskej práce bolo zostavené zariadenie pre meranie telesného tuku na princípe bioimpedančného merania. Pri jej riešení som sa oboznámila s nastavením, rozdelením, zásadami a obmedzeniami analýzy ľudského tela a s jednotlivými veličinami, ktoré sa analýzou dajú stanoviť. V neposlednom rade som si uvedomila rôznorodosť využitia bioimpedančnej analýzy tela, či už vo farmácii, vo fitness odvetví, v zdravotníctve ako prevencia alebo sledovanie pokrokov liečebných procedúr.

V teoretickej časti práce je diskutovaný spôsob merania bioimpedancie, ktorý bol experimentálne overený na troch pokusných osobách s dodržaním správnych zásad analýzy ľudského tela. Na základe tohto merania bol prevedený návrh hardverovej časti, konkrétne schéma zapojenia meriaceho prístroja (v prílohe B) a zostavený riadiaci program pre mikrokontrolér AtMega. Pre vývoj bola využitá platforma Arduino UNO, kde boli využité digitálne výstupy pre automatizované meranie a AD prevodník na digitalizáciu výsledkov pre ich spracovanie.

Výsledkom návrhu je autonómne zariadenie, ktoré vykonáva analýzu zloženia tela zo 4 vstupných elektród (horné a dolné končatiny) a na zobrazovacej jednotke zobrazuje výsledky merania. Vstupné údaje užívateľ zadáva priamo výberom na display.

Vzhľadom k tomu, že výsledné zariadenie bolo navrhnuté s použitím malého napätia z oddeleného zdroja (možnosť batériového napájania a prevádzka na 5 V), bol bod zadania ukladajúci návrh fantomu merania po dohode s vedúcim práce vynechaný a bolo prevedené priame meranie na respondentoch.

V závere práce bolo prevedené overenie funkčnosti navrhnutého prístroja a porovnanie s komerčným zariadením Tanita, ktoré je popísané v časti 7. Aj keď sa vyskytli problémy s pracovnou frekvenciou, ktoré boli vyriešené meraním na najnižšej možnej frekvencii (50 kHz), bolo zadanie práce splnené.

# LITERATÚRA

- [1] 555 a 556 - Základní zapojení. In: Pandatron [online]. 2008 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <[http://pandatron.cz/?490&555\\_a\\_556\\_-\\_zakladni\\_zapojeni](http://pandatron.cz/?490&555_a_556_-_zakladni_zapojeni)>.
- [2] ARDUINO: What is Arudino? [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <[www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)>.
- [3] Bazálny metabolizmus. [online]. [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <<http://metabolizmus.sk/rozdelenie/bazalny-metabolizmus/>>.
- [4] Bioelektrická impedance. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://vivaherbal.wz.cz/model.html>>.
- [5] BIOELEKTRICKÁ IMPEDANČNÍ ANALÝZA (BIA). [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <[http://www.corazonplus.cz/jawon\\_bia.html](http://www.corazonplus.cz/jawon_bia.html)>.
- [6] BIOIMPEDANCE: Bioimpedance, Střídavý proud. [online]. s. 14 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <<http://old.lf3.cuni.cz/biofyzika/doc/02bioimpedance.pdf>>.
- [7] BIOIMPEDANCE: PŘÍRODNÍ METODA MĚŘENÍ TUKU A VODY V TĚLE. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://compex.zdravi-cz.eu/bioimpedance.php>>.
- [8] BODYSTAT. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://bodystat.cz/>>.
- [9] BODYSTAT bioimpedanční analyzátor složení těla. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://www.optingservis.cz/index.php/nabidka-zboi/298-bodystat-bioimpedan-analyzr-slofen>>.
- [10] Bone Densitometry. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?pg=dexa>>.
- [11] Co dokáže InBody 230?: Nejpřesnější analyzátory na světovém trhu. [online]. s. 22 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <<http://www.inbody4care.sk/soubory/pdf/co-dokaze-inbody-230-new.pdf>>.
- [12] Co je přístroj Bodystat 1500 a k čemu slouží?. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://www.nutribju.cz/programy/bodystat/>>.
- [13] Český návod ke kalipečným kleštím: Jak změřit % podkožního tuku s kaliperačnými kleštěmi. [online]. s. 4 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <<http://fitplan.cz/shop/wp-content/uploads/navod-kaliper.pdf>>.

- [14] ČIHÁK, Radomír. Anatomie 1. 3. vyd. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3817-8.
- [15] ČO JE BIA?. [online]. [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <<http://www.inbody4care.sk/co-je-bia.php>>.
- [16] FITRGERALD, Scott (ed.) a Michael SHILOH (ed.). 2012. The Arduino Project book. Italy.
- [17] GÁBA, Aleš, Izabela ZAJĄC-GAWLAK, Miroslava PŘIDALOVÁ a Dariusz POŚPIECH. Analýza rozdílů vybraných parametrů tělesného složení stanovených přístrojem InBody 720 a Tanita BC-418. 2011, s. 10.
- [18] HAJACH, Tomáš, Miroslav TUMA a Eva ŠTELIAROVÁ. Základy elektrotechniky II: pre 2. ročník stredných priemyselných škôl elektrotechnických. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1984.
- [19] INBODY: ČO JE BIA?. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://ambulancia.medicalgroup.sk/inbody.php>>.
- [20] InBody S10: PŘESNÝ ANALYZÁTOR SLOŽENÍ TĚLA. [online]. s. 8 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <<http://www.biospace.cz/soubory/inbodys10/inbodys10.pdf>>.
- [21] J TUORKEY, Muobarak. Bioelectrical Impedance as a Diagnostic Factor in the Clinical Practice and Prognostic Factor for Survival in Cancer Patients: Prediction, Accuracy and Reliability. Journal of Biosensors [online]. 2012, vol. 03, issue 04, s. - [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.4172/2155-6210.1000121. Dostupné z: <<http://www.omicsonline.org/2155-6210/2155-6210-3-121.digital/2155-6210-3-121.html>>.
- [22] Kalkulačka: Vyrátajte si BMI, koľko jest, piť a cvičiť. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://www.chudnutie-ako.sk/bmi/>>.
- [23] MASÁR, Oto a Antonín MALINA. FYZIOLÓGIA: PRE NELEKÁRSKE ODBORY. Trenčín, 2006.
- [24] MENCL DIAG: Analýza těla pomocí metody BIA. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://www.mencldiag.cz/>>.
- [25] MENCL, Klára. Viscerální neboli útrobní tuk. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://klaramencl.cz/visceralni-neboli-utrobni-tuk/>>.

- [26] MENCL, Pepan. Analýza tela. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://analyzatela.blogspot.cz>>.
- [27] Metabolizmus. [online]. s. 57 [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <[http://www.fmed.uniba.sk/fileadmin/user\\_upload/editors/ustavy/fyziologia/Metabolizmus\\_1314.pdf](http://www.fmed.uniba.sk/fileadmin/user_upload/editors/ustavy/fyziologia/Metabolizmus_1314.pdf)>.
- [28] Multi-Frequency Bio-electrical Impedance Analysis. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://www.jawon.com/reng/res/multi-frequency-bioelectrical-impedance-analysis.html>>.
- [29] Složení našeho těla. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <<http://www.aerobics.cz/print.asp?from=clanky&id=105>>.
- [30] Snižte svůj metabolický věk a omládněte s námi!. [online]. [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <<http://www.marianne.cz/krasa-a-zdravi/zdravi/snizte-svuj-metabolicky-vek-a-omladnete-s-nami>>.
- [31] STÝSKALA, PH.D, Ing. Vítězslav. ODPOROVÉ DĚLIČE NAPĚTÍ: Určeno pro posluchače bakalářských studijních programů FS [online]. : 29 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <[http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske\\_FS/prednasky/sylab\\_prechdej%20delic%20slovník\\_bc%20FSb.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/sylab_prechdej%20delic%20slovník_bc%20FSb.pdf)>.
- [32] TANITA CORPORATION. Tanita manual bc-545n. [online]. s. 84 [cit. 2014-12-23]. DOI: 227601(1)-1205MA. Dostupné z: <[http://www.tanita.eu/fileadmin/user\\_upload/Documenten/PDF/BC-545N\\_User\\_manual.pdf](http://www.tanita.eu/fileadmin/user_upload/Documenten/PDF/BC-545N_User_manual.pdf)>.
- [33] Tanita zapojena do výzkumu: Výsledky programu s použitím Tanita BC 418 MA. In: [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <[http://www.mencldiag.cz/images/PDFnw/140108\\_zprava\\_nem\\_cb.pdf](http://www.mencldiag.cz/images/PDFnw/140108_zprava_nem_cb.pdf)>.
- [34] VITEK, Libor. Co je to somatotyp a jak ho měříme?. [online]. [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <<http://www.sportvital.cz/zdravi/diagnostika/co-je-to-somatotyp-a-jak-ho-merime/>>.

# PŘÍLOHY

## A VÝSLEDKY MERANIA

Tab. A.1: Vstupné parametre a namerané hodnoty % tuku Tanitou

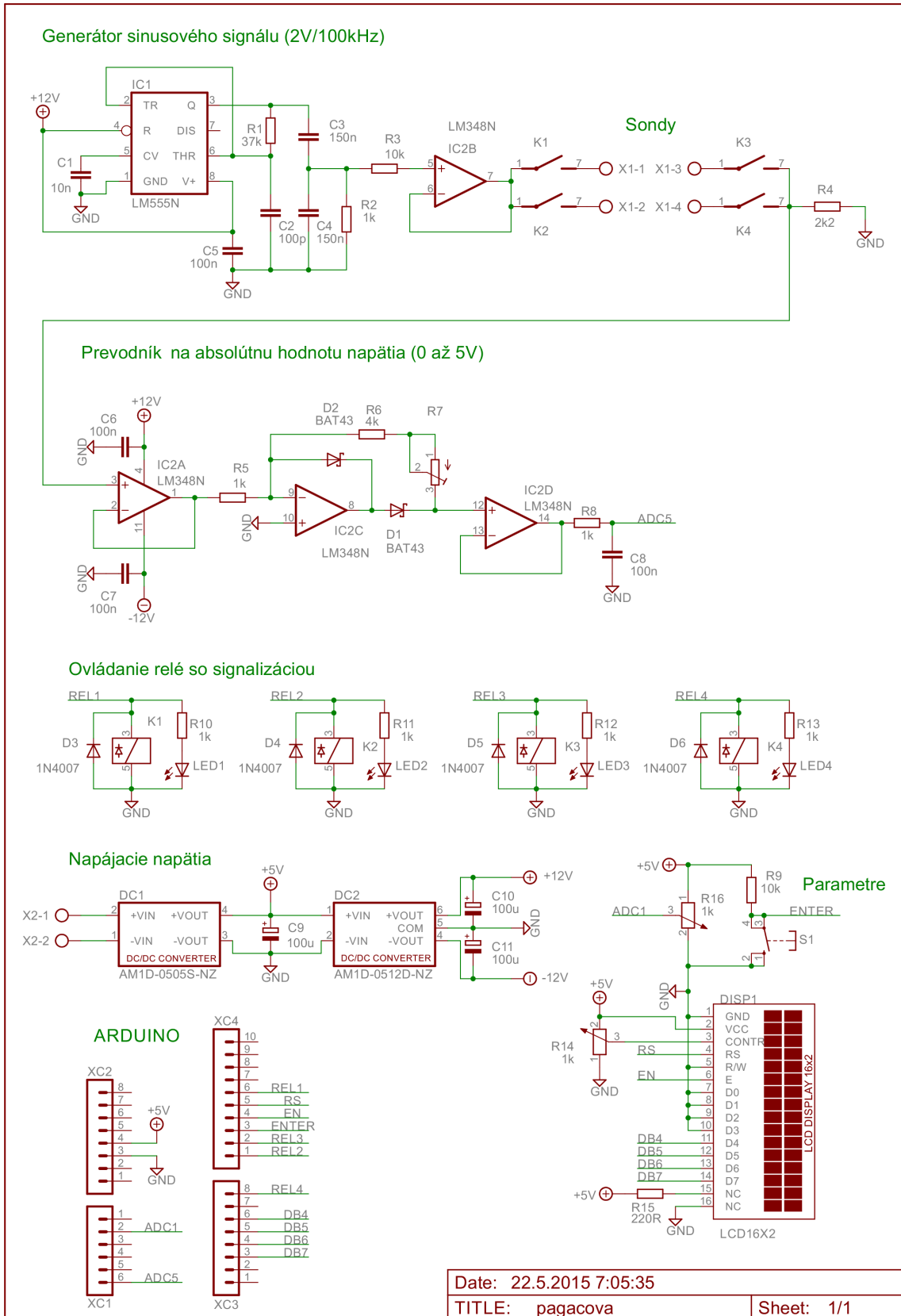
Osoba č.	Vek [roky]	Váha [kg]	Výška [cm]	Pohlavie	Tanita [%]
1	27	74	178	muž	7,9
2	32	108	198	muž	22,0
3	26	64	174	muž	11,8
4	29	51	161	žena	25,0
5	22	54	160	žena	20,4

Tab. A.2: Namerané hodnoty % tuku prípravkom po korekcii

Osoba č.	ruky [%]	nohy [%]	trup [%]	priemer [%]
1	17,3	16,8	25	18,6
2	17,8	17,8	62	26,6
3	16,0	15,5	20	16,6
4	16,5	16,0	20	17,0
5	16,3	16,5	54	23,9



# B SCHÉMA ZAPOJENIA



## C ROZPISKA SÚČIASTOK

Tab. C.1: Rozpis súčiastok prípravku

súčiastka	hodnota	typ súčiastky
R1	37 k $\Omega$	uhlíkový rezistor
R2, R5, R8, R10 - R14, R16	1 k $\Omega$	uhlíkový rezistor
R3, R9	10 k $\Omega$	uhlíkový rezistor
R4	2,2 k $\Omega$	uhlíkový rezistor
R6	4 k $\Omega$	uhlíkový rezistor
R7	0 k $\Omega$	uhlíkový rezistor
R15	220 $\Omega$	uhlíkový rezistor
C1	10 nF	elektrolytický kondenzátor
C2	10 pF	elektrolytický kondenzátor
C3, C4	150 nF	elektrolytický kondenzátor
C5 - C8	100 nF	elektrolytický kondenzátor
C9 - C11	100 $\mu$ F	elektrolytický kondenzátor
IC1	LM555N	časovač
IC2 A - D	LM348N	operačný zosiňovač
D1 - D2	BAT43	rýchla dióda
D3 - D6	1N4007	dióda
LED1 - LED4	L-53SYC	svetlo-emitujúca dióda
REL1 - REL4		relé
DC1	AM1D-0505S-NZ	DC/DC konverter
DC2	AM1D-0512D-NZ	DC/DC konverter