

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2018

Vojtěch Marek



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

# METODY MĚŘENÍ PODKOŽNÍHO TUKU

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Marek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Daniela Chlíbařová, Ph.D.

BRNO 2018

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

**Student:** Vojtěch Marek

**ID:** 171264

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2017/18

**NÁZEV TÉMATU:**

## Metody měření podkožního tuku

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1) Proveďte rešerši metod odhadu tělesného složení a používaných přístrojů k měření tělesného podkožního tuku u nás i ve světě. Sledujte technické parametry přístrojů, rovnice pro odhad tělesného tuku, možnosti využití přístrojů v terénních i laboratorních podmínkách, časovou délku měření, přesnost měření, možnosti statistického zpracování výsledků. 2) Seznamte se s přístrojovým vybavením pro měření podkožního tuku dostupným na CESA VUT v Brně. 3) Prakticky proveďte vlastní měření souboru dobrovolníků některými vybranými metodami. 4) Proveďte analýzu a statistické vyhodnocení naměřených dat. Srovnajte přesnost použitých metod měření. 5) Navrhněte program pro zpracování a vyhodnocení dat. 6) Proveďte diskuzi získaných výsledků a zhodnoťte účinnost a přesnost použitých metod.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] BOSY-WESTPHAL, A, LATER, W, HITZE, B, SATO, T, KOSSEL, E, GLUER, CC, HELLER, M, MULLER, MJ. Accuracy of bioelectrical impedance consumer devices for measurement of body composition in comparison to whole body magnetic resonance imaging and dual X-ray absorptiometry. *Obes Facts*. 2008;1(6):319-24.

[2] HEW-BUTLER, T, HOLEXA, BT, FOGARD, K, STUEMPFLE, KJ, HOFFMAN, MD. Comparison of body composition techniques before and after a 161-km ultramarathon using DXA, BIS and BIA. *Int J Sports Med*. 2015, 36(2):169-74.

**Termín zadání:** 5.2.2018

**Termín odevzdání:** 25.5.2018

**Vedoucí práce:** Mgr. Daniela Chlíbařová, Ph.D.

**Konzultant:**

**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**

Tato práce se zabývá porovnáním metod měření podkožního tuku. Stručně popisuje tělesnou stavbu, zabývá se rešerší nejvýznamnějších metod měření podkožního tuku. Popisuje použité přístroje, které byly použity při měření. Dále se zabývá statistickým vyhodnocením, naměřených dat. Práce potvrzuje, že výsledky měření jednotlivých přístrojů se liší na statisticky významné hladině, zároveň nebyl identifikovaný jednoznačný faktor, který by to zapříčinil.

## **Klíčová slova**

Podkožní tuk, kožní řasa, jednofrekvenční, multifrekvenční, bioimpedance, InBody, Omron, statistická analýza.

## **Abstract**

The thesis studies comparison of methods of subcutaneous fat measurements. It briefly describes body composition, and deals with research of the most important methods. It describes used devices, which were used. It deals with statistical evaluation of measured data. This thesis approves, that results are different among the devices on statistically significant level, simultaneously there wasnt clear factor, that would have caused it.

## **Keywords**

Subcutaneous fat, skin fold, singlefrequency, multifrequency, bioimpedance, InBody, Omron, statistical analysis.

## **Bibliografická citace:**

MAREK, V. *Metody měření podkožního tuku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 41s. Vedoucí práce: Mgr. Daniela Chlíbačková, Ph.D.

## Prohlášení

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma Metody měření podkožního tuku jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.“

V Brně dne.....

.....

podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Mgr. Daniele Chlíbkové, Ph.D. za účinnou metodickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce, konzultantce práce Ing. Marině Ronzhině, Ph.D. za její odbornou pomoc nejen při statistickém zpracování.

Dále děkuji Mgr. Richardu Adamíku a Bc. Pavle Vítové, DiS. za pomoc při sběru dat této práce, díky nimž mohla tato práce vzniknout.

V Brně dne.....

.....

podpis autora

# Obsah

1	Úvod .....	1
2	Tělesné složení .....	2
2.1.	Aktivní tělesná hmota .....	2
2.2.	Pasivní tělesná hmota .....	3
3	Metody měření podkožního tuku .....	4
3.1.	Antropometrické metody .....	4
3.1.1.	Indexy tělesného složení .....	4
3.1.2.	Měření kožních řas .....	5
3.2.	Biofyzikální metody .....	8
3.2.1.	Bioimpedance .....	8
3.2.2.	Hydrodenzitometrie .....	10
3.2.3.	Celotělová pletysmografie .....	10
3.2.4.	Spektroskopie infračerveného světla .....	11
3.2.5.	Duální celotělová rentgenová absorpciometrie .....	11
3.2.6.	Magnetická rezonance .....	11
3.2.7.	Ultrazvuk .....	11
3.3.	Biochemické metody .....	12
3.3.1.	Měření celkové tělesné vody .....	12
3.3.2.	Měření celkového tělesného draslíku .....	12
4	Popis použitých přístrojů .....	13
4.1.	InBody 230 .....	13
4.2.	Omron BF508 .....	15
5	Metodika .....	17
6	Statistické zpracování a vyhodnocení .....	18
6.1.	Teorie .....	18
6.2.	Výsledky měření a statistické analýza .....	19
6.3.	Shrnutí .....	30
7	Program na zpracování dat .....	31
8	Závěr .....	36
	Literatura .....	37
	Seznam symbolů, veličin a zkratk .....	41
	Obsah příloženého CD .....	41

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - základní modely tělesného složení.....	2
Obrázek 2 - kožní řasy dle Pařízkové.....	6
Obrázek 3 - měření kožních řas, Durnin, Womersley .....	7
Obrázek 4 - kožní řasy - Jackson, Pollock.....	8
Obrázek 5 - InBody 230.....	13
Obrázek 6 - Rozložení elektrod.....	13
Obrázek 7 - Princip měření napětí .....	13
Obrázek 8 - Záznam z měření InBody 230 .....	14
Obrázek 9 - Omron BF508.....	15
Obrázek 10- krabicové grafy výsledků měření pro muže .....	19
Obrázek 11- krabicové grafy výsledků měření pro ženy .....	20
Obrázek 12 – S-W test + histogram, muži InBody .....	20
Obrázek 13 - S-W test + histogram, muži - Omron.....	21
Obrázek 14 - S-W test + histogram, ženy + InBody.....	21
Obrázek 15 - S-W test + histogram - Omron .....	22
Obrázek 16 - bodový graf - ženy.....	23
Obrázek 17 - bodový graf – muži .....	23
Obrázek 18 - rozdíl u jednotlivých měření - muži .....	24
Obrázek 19 - rozdíl u jednotlivých měření - ženy .....	24
Obrázek 20 - korelace vztažená k výšce, muži .....	25
Obrázek 21 - korelace vztažená k výšce, ženy .....	25
Obrázek 22 - korelace vztažená k věku, muži.....	26
Obrázek 23 - korelace vztažená k věku, ženy .....	26
Obrázek 24 - korelace vztažená k váze, muži .....	27
Obrázek 25 - korelace vztažená k váze, ženy .....	27
Obrázek 26 - korelace vztažená k BMI, muži .....	28
Obrázek 27 - korelace vztažená k BMI, ženy .....	28
Obrázek 28 - korelace spearmanovým koeficientem, ženy .....	29
Obrázek 29 - korelace spearmanovým koeficientem, muži .....	29
Obrázek 30 - program při spuštění.....	31
Obrázek 31 - výpočet BMI + zpětná vazba .....	32
Obrázek 32 - Rozdíl žena/muž.....	32
Obrázek 33 - porovnání zpětné vazby při změně věku.....	33
Obrázek 34 - porovnání zpětné vazby při změně pohlaví .....	33
Obrázek 35 – záznam z měření.....	33
Obrázek 36 - zobrazení chybějících údajů .....	35

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Indexy tělené hmotnosti .....	4
Tabulka 2 - Klasifikace BMI .....	5
Tabulka 3 - Regresní rovnice, dle Pařízkové .....	6
Tabulka 4 - Součet kožních řas metodou ISAK.....	7
Tabulka 5 - regresní rovnice pro výpočet husoty těla .....	7
Tabulka 6 - predikční rovnice bioimpedance .....	9
Tabulka 7 - klasifikace podkožního tuku .....	15
Tabulka 8 - klasifikace viscelárního tuku .....	15
Tabulka 9 - porovnání přístrojů .....	16
Tabulka 10 - Srovnání metod - Muži .....	30
Tabulka 11 - Srovnání metod - Ženy .....	30

# 1 ÚVOD

Sledování procenta podkožního tuku je v poslední době velmi rozšířeným tématem. Nejen u lidí, kteří se zabývají vzhledem a zdravým životním stylem, ale otevírá se otázka obezity jako rozšiřující se celosvětové civilizační choroby. Ta je hlavně způsobena vyšším příjmem energie než výdejem, nezdravým stravováním nejen ve formě fast food, nemluvě o nedostatku pohybu. Obezita má řadu nežádoucích účinků na tělo, ze kterých bych vyzdvihl zvýšenou zátěž pro srdce a páteř, vyšší krevní tlak, cukrovku atd. Z tohoto důvodu je sledování a hodnocení stavu těla i jeho komponentů důležitým faktorem.

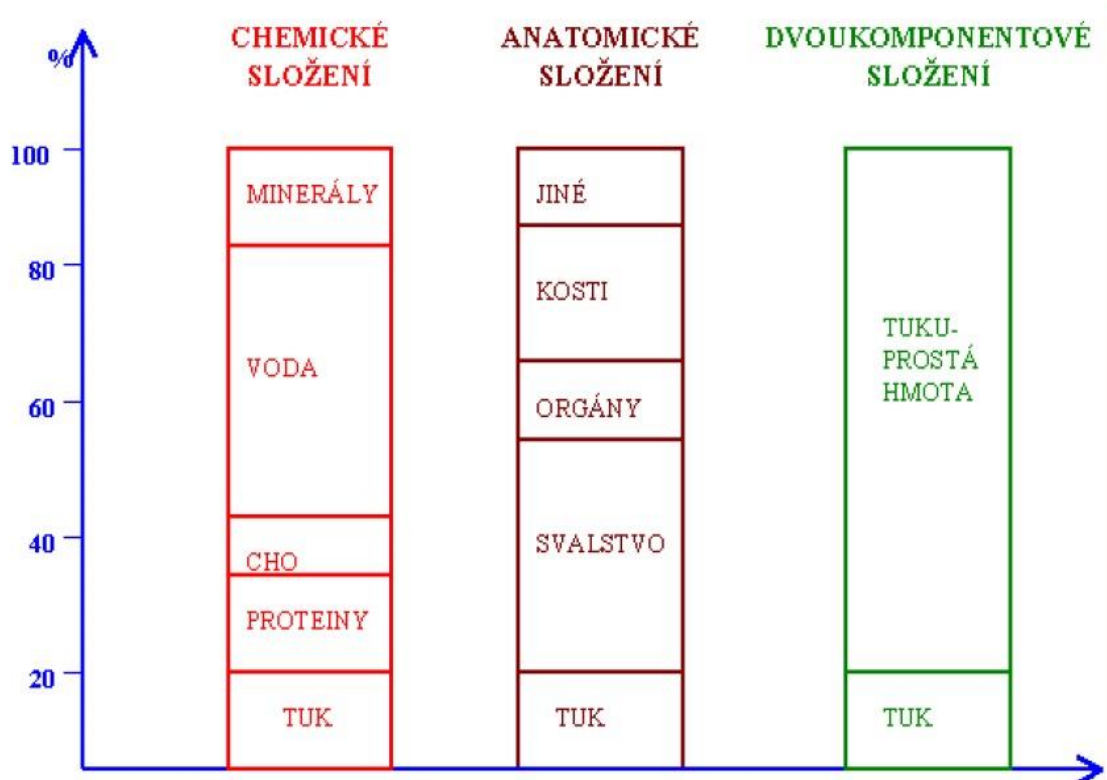
Měřit podkožní tuk je možné doma, nebo ve specializovaných zařízeních, poradnách atd. Kvůli tomu byly na měření zvoleny přístroje pracující na stejném principu bioimpedance. Přístroj Omron BF508, který je cenově dostupný pro širokou veřejnost, je snazší na obsluhu, ale je méně sofistikovaný. A přístroj InBody 230, který se nachází spíše ve specializovaných zařízeních, důvody jsou několikanásobně vyšší pořizovací cena, větší sofistikovanost, a z toho pramenící potřeba větší znalosti problematiky lidského těla. V práci jsem se rozhodl zabývat měřením podkožního tuku, jakožto klíčovou příčinou nadváhy, obezity, nebo práce nad dobře vypadajícím tělem.

V druhé kapitole je stručné rozdělení tělesných modelů, se zaměřením na dvoukomponentový model. Třetí kapitola obsahuje rešerši metod měření podkožního tuku, s popsáním výhod a nevýhod jednotlivých metod. Ve čtvrté kapitole jsou blíže popsány přístroje použité u praktického měření. Pátá kapitola obsahuje metodiku vlastního měření. Statistická teorie a zpracování naměřených dat je popsáno v kapitole šesté. V poslední kapitole je podrobně popsán program na zpracování a vyhodnocení procenta podkožního tuku. Cílem této práce je porovnání těchto přístrojů měření podkožního tuku.

*Prilis nahle prechazite od uvodu do problematiky k popisu obsahu práce. Z uvodu by mělo byt jasne, proc vznikla vase práce, proc delate zrovna to, co delate. Jaky ma vyznam porovnaní výsledku ruznych pristroju. Není jasne co to jsou za pristroje a jak souvisi se sledovanim procenta tuku. Tedy, není ani zminka o metodách mereni tuku. Podle uvodu by si ctenar mel představit, proc je toto téma dulezite a zhruba jak na to. A také na co se muze tesit ve vasi práci.*

## 2 TĚLESNÉ SLOŽENÍ

Tělo jako celek se dá rozložit na několik komponentů ze tří základních modelů. Z hlediska chemického, které je využíváno hlavně v oblasti energetického výdeje organismu, se tělo skládá z vody, minerálů, sacharidů (CHO), proteinů a tuku. Z hlediska anatomického se tkáň dělí na svalstvo, tuk, kosti, orgány a zbylé tkáň. Dvoukomponentové rozdělení dělí tělo pouze na tuk – jakožto pasivní tělesnou hmotu a tukuprostou hmotu – aktivní tělesnou hmotu, což je vzhledem k zaměření této práce nejpodstatnější, a proto je blíže popsáno v následujících podkapitolách [32].



Obrázek 1 - základní modely tělesného složení [32]

### 2.1. Aktivní tělesná hmota

Do aktivní tělesné hmoty patří vše krom tuku, což znamená svaly, kosti, orgány a zbylé tkáň (z hlediska anatomického). Tato hmota spotřebovává energii – proto je nazývána aktivní [2].

## **2.2. Pasivní tělesná hmota**

Pasivní tělesná hmota má jedinou složku a tou je tělesný tuk. Tuk má v těle hlavně funkci zásobní, termoregulační a ochrannou. Jeho nadbytečné ukládání je způsobeno vyšším příjmem energie (v jakékoli formě – sacharidy, tuky či proteiny), než výdejem [2]. Rozlišujeme hlavní dva typy tuku – viscerální, který se ukládá v tělních orgánech, jako jsou ledviny, játra [2], a tuk podkožní. Podkožní tuk je tělem ukládán pod kůží, je tudíž viditelný. Ukládá se hlavně v oblasti břicha, boků a hýždí. Dále také na horních či dolních končetinách. Větší množství zvyšuje zátěž nejen na srdce, ale i kosti a klouby [24].

## 3 METODY MĚŘENÍ PODKOŽNÍHO TUKU

### 3.1. Antropometrické metody

Antropometrie je souhrn metod, které slouží k odhadu tělesného složení pomocí antropometrických faktorů, jako jsou výška, váha, obvody určitých částí těla, tloušťka kožních řas atd.

#### 3.1.1. Indexy tělesného složení

K odhadu tělesného složení slouží různé množství indexů, které jsou uvedeny v Tabulce 1, které je převzata z [30].

Tabulka 1 - Indexy tělesné hmotnosti

Index	Rovnice
Queteletův- Bouchardův Index	$\frac{Hmotnost \cdot 10}{Výška}$
Kaupův Index	$\frac{Hmotnost \cdot 1000}{Výška^2}$
Rohrerův Index	$\frac{Hmotnost \cdot 10^5}{Výška^3}$
Pignet-Vervaeck Index	$\frac{(Hmotnost + Obvod Hrudníku) \cdot 10}{Výška}$
Erismanův Index	$\frac{1}{2} \cdot Výška - Obvod Hrudníku$
WHR (waist to hip ratio)	Obvod Pasu - Obvod boků
BMI	$\frac{Hmotnost [kg]}{Výška^2 [m]}$

Hmotnost se uvádí v kilogramech. Výška, obvod hrudníku, obvod pasu a boků je v centimetrech. Mezi hlavní výhody tohoto měření se řadí levnost, časová + finanční nenáročnost. Velmi dobře se dá použít v terénu, avšak jejich velkou nevýhodou je neschopnost rozlišit mezi aktivní a pasivní tělesnou hmotou [30].

Body mass index (BMI), neboli Index tělesné hmotnosti je běžně nepoužívanější index.

Tabulka 2 znázorňuje klasifikaci BMI, tabulka převzata z oficiálních stránek Světové zdravotnické organizace WHO [28].

**Tabulka 2 - Klasifikace BMI**

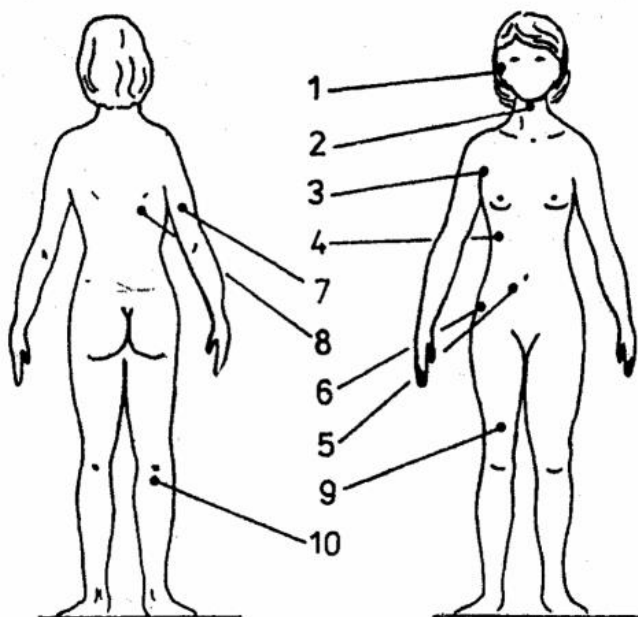
Klasifikace	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
Podváha	<18.50
Silná podváha	<16.00
Střední podváha	16.00 - 16.99
Mírná podváha	17.00 - 18.49
Normální váha	18.50 - 24.99
Nadváha	25.00 - 29.99
Obezita	≥30.00
Obezita prvního stupně	30.00 - 34.99
Obezita druhého stupně	35.00 - 39.99
Obezita třetího stupně	≥40.00

Mezi hlavní výhody patří již dříve zmíněná rychlost, jednoduchost, časová a finanční nenáročnost měření. Avšak její validita není vždy směrodatná, protože metoda nezohledňuje poměr aktivní a pasivní tělesné hmoty.

### 3.1.2. Měření kožních řas

Měření kožních řas (KŘ), nebo-li kaliperace, je metoda, kde se měří tloušťka ohybu kůže a podkožního tuku. Metoda je založena na předpokladu, že 50 % celkového tuku se nachází v podkoží [1]. Provádí se součtem tloušťky kožních řas na přesně definovaných místech, která se však u různých autorů liší. Pařízková využívá k měření součet 10 kožních řas, čímž navazuje na práci Durnina a Womersleyho (1970), kteří využívali k měření pouze 4 kožní řasy [6]. Pro větší přesnost měření je žádoucí, aby měřitel měl zkušenosti s lokalizací míst na těle, protože i malá odchylka od přesného místa se výrazně projeví na výsledku. Měření probíhá na výše zobrazených místech, vždy na pravé straně těla, a probíhá 2-3x na každém místě, při dvou (tří) měření je výsledná hodnota průměrem (mediánem) dílčích měření. Pokud je problém kožní řasu správně nahmatat, proband zatne sval v určitém místě do maxima a pak povolí, což by mělo umožnit určit kožní řasu co nejpřesněji [25]. U této metody je tedy možná vysoká míra subjektivní chyby [32], avšak její výhodou je neinvazivnost, časová a finanční nenáročnost.

### Měření 10-ti kožních řas dle Pařízkové (Obrázek 2):



Obrázek 2 - kožní řasy dle Pařízkové [35]

Měření probíhá ve stoje, kromě bodů 9,10.

Regresní rovnice pro výpočet % tuku v těle (%BF), dle Pařízkové [29] zobrazuje Tabulka 3.

Tabulka 3 - Regresní rovnice, dle Pařízkové

Kategorie	rovnice	Věk
Muži	$\%BF = 22,32 \cdot \log(x) - 29,0$	17-45
Ženy	$\%BF = 39,57 \cdot \log(x) - 61,25$	17-45

Kde %BF je procento podkožního tuku, x je součet všech kožních řas.

**Měření kožních řas metodou ISAK** – všechny měření probíhají ve stoje, kromě bodů 6,7 [25]:

1. Paže: Měření KŘ probíhá na zadní straně horní končetiny, směr je svislý.
2. Paže: Měření KŘ probíhá na horní končetině, na přední straně, nad bicepsovým svalem. Směr je svislý.
3. Záda: Měření KŘ probíhá pod lopatkou, úhel stisku kožní řasy je shodný s linií okolní kůže.
4. Bok: Měření KŘ probíhá nad výstupem kyčelní kosti, úhel měření je totožný s úhlem výstupku kosti kyčelní.
5. Břicho: KŘ měříme ve směru vertikálním, dva centimetry od pupku.
6. Stehno: Vyšetřovaný musí sedět, nebo si rukama podpírat stehno, aby bylo relaxované. KŘ je měřena na přední straně stehna, ve svislém směru.

7. Lýtko: Noha je umístěna tak, aby lýtko svíralo se stehnem úhel 90°. KŘ je měřena z boku lýtky, ve svislém směru.

Součet tloušťky kožních řas se porovná s Tabulkou 4 [25]:

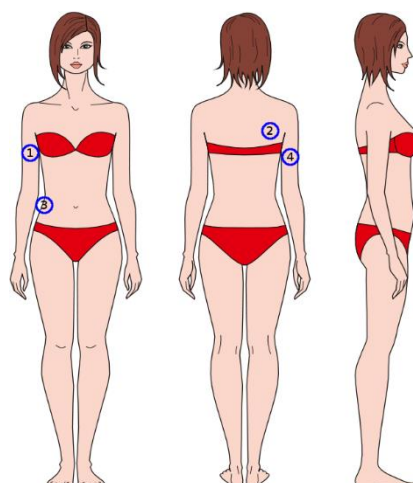
**Tabulka 4 - Součet kožních řas metodou ISAK**

%BF	Výborný	Dobrý	Průměrný	Podprůměrný	Špatný
<b>Muži</b>	60-80	81-90	91-110	111-150	150+
<b>Ženy</b>	70-90	91-100	101-120	121-150	150+

### Metoda Durnina, Womersleyho

Procento tuku je odvozeno ze součtu čtyř kožních řas – všechny části měříme na pravé straně těla.

- Nad bicipsem – 1
- pod lopatkou – 2
- nad kostí kyčelní - 3
- nad tricipsem - 4



Obrázek 3 - měření kožních řas, Durnin, Womersley [49]

Abychom získali výsledné procento podkožního tuku v těle, musíme si vypočítat předpokládanou hustotu těla pomocí následujících rovnic z Tabulky 5 [37]:

**Tabulka 5 - regresní rovnice pro výpočet hustoty těla**

Věk (roky)	Rovnice pro muže	Rovnice pro ženy
< 17	$H = 1.1533 - (0.0643 \times KŘ)$	$H = 1.1369 - (0.0598 \times KŘ)$
17-19	$H = 1.1620 - (0.0630 \times KŘ)$	$H = 1.1549 - (0.0678 \times KŘ)$
20-29	$H = 1.1631 - (0.0632 \times KŘ)$	$H = 1.1599 - (0.0717 \times KŘ)$
30-39	$H = 1.1422 - (0.0544 \times KŘ)$	$H = 1.1423 - (0.0632 \times KŘ)$
40 -49	$H = 1.1620 - (0.0700 \times KŘ)$	$H = 1.1333 - (0.0612 \times KŘ)$
> 50	$H = 1.1715 - (0.0779 \times KŘ)$	$H = 1.1339 - (0.0645 \times KŘ)$

Kde  $H$  je hustota těla,  $KŘ$  je logaritmus součtu všech 4 tloušťek kožních řas

% podkožního tuku vypočítáme dle Siri - pomocí rovnice 1 [8].

$$\%BF = \left( \frac{495}{Hustota} \right) - 450 \quad (1)$$

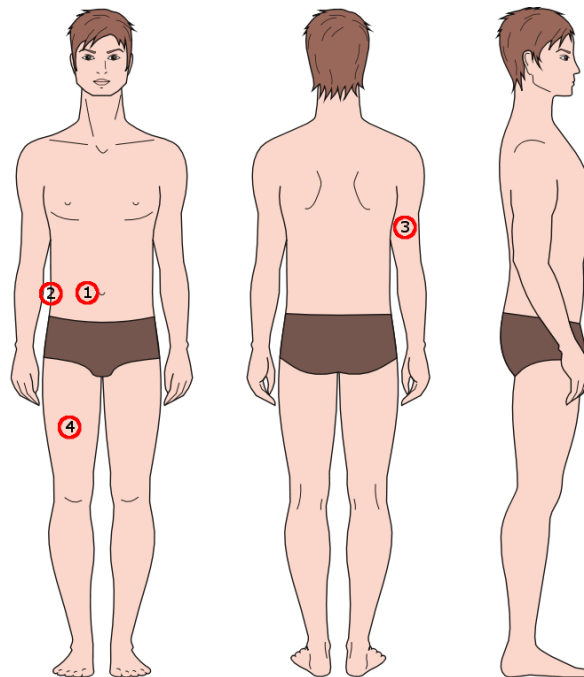
## Metoda Jackson, Pollock

Procento tuku je odvozeno ze součtu čtyř kožních řas, které jsou měřeny na pravé straně těla. Pro získání výsledku podkožního tuku dosadíme výsledek do jedné z rovnic [36]:

**Pro ženy:** % BF =  $(0.29669) \cdot (\text{součet všech 4 kožních řas}) - (0.00043) \cdot (\text{kvadrát součtu kožních řas}) + (0.02963) \cdot (\text{věk}) + 1,4072$

**Pro muže:** % BF =  $(0.29288) \cdot (\text{součet všech 4 kožních řas}) - (0,0005) \cdot (\text{kvadrát součtu kožních řas}) + (0.15845) \cdot (\text{věk}) - 5,76377$

- Umbilicus - 1
- Suprailiac - 2
- Triceps - 3
- Stehno - 4



Obrázek 4 - kožní řasy - Jackson, Pollock [50]

## 3.2. Biofyzikální metody

Biofyzikální metody jsou metody využívající fyzikálních jevů aplikované na biologii člověka.

### 3.2.1. Bioimpedance

Bioimpedance neboli bioelectrical impedance analysis (BIA) je metoda založená na měření odporu proudu, který prochází tělem. Tento střídavý proud má nízkou intenzitu a vysokou frekvenci. Měření je založeno na faktu, že svaly obsahují vysoké procento vody (73 %) – obsahují hodně elektrolytu a chovají se jako elektrické vodiče. Tuk je hydrofobní, tudíž se jedná z elektrického hlediska o izolátor. Z této

skutečnosti je možné vypočítat nejen procento svalové tkáně ve vyšetřované oblasti, ale také tuk a vodu [2].

Některé studie vykazují dobrou přesnost, jedno-frekvenční BIA [12][13][14], jiné špatnou – vůči referenčním metodám (DEXA, MRI – popsáno níže) [15][16]. Prvním důvodem je skutečnost, že u BIA metody velmi záleží na váze, etnicitě, fyzické charakteristice – vzhledem k tomu u jaké populace byla BIA rovnice tvořena [3].

Druhým důvodem je, že můžeme narazit na dva typy přístrojů – bipolární a tetrapolární. Bipolární snímají a počítají pouze ze dvou míst (4 elektrod). Jedná se například o nášlapné zařízení Tanita BC-730 [18], na kterém se stojí holýma nohama, proud prochází pouze spodní částí těla a nohama, dále bimanuální zařízení Omron BF306 [19], kde se měření provádí v natažených rukou – proud prochází přes paže a vrchní část těla [2][3]. Z tohoto důvodu jsou přesnější tetrapolární přístroje, které mají snímací elektrody na všech 4 končetinách (8 elektrod). Proud u těchto přístrojů prochází celým tělem, což může mít vliv na přesnost měření, vzhledem k rozdílnému uložení tuků u každého jedince [5].

Třetím důvodem nepříznivého vlivu při měření je hydratace tukuprosté hmoty (chyba 2-4 %), která závisí na renálním, srdečním selhání, dlouhodobé obezitě či hubnutí, otocích, konzumaci vody před měřením, u žen menstruační cyklus [3][5]. V tomto ohledu se více osvědčila metoda duální rentgenová absorpciometrie nebo multifrekvenční BIA (DSM BIA) [3]. Výhody této metody jsou využití pro veřejnost, což způsobuje časová nenáročnost, neinvazivnost. Finanční náročnost se liší u jednotlivých přístrojů. Predikční rovnice [17][18] jsou uvedeny v Tabulce 6:

**Tabulka 6 - predikční rovnice bioimpedance**

Populační skupina	Predikční rovnice	%BF
Americký indiáni, Černoši, Hispánci nebo muži bílé rasy, 17-62 let	FFM (Kg) = 0.00066360 (ht <sup>2</sup> ) – 0.02117 (R) + 0.62854 (BM) – 0.12380 (věk) + 9.33285	<20% BF
	FFM (kg) = 0.00088580 (ht <sup>2</sup> ) – 0.02999 (R) + 0.42688 (BM) – 0.07002 (věk) + 14.52435	≥20%

Americké indiánky, Černošky, Hispánky nebo ženy bílé rasy, 17-62 let	FFM (kg) = $0.000646 (ht^2) -$ $0.014 (R) + 0.421 (BM) +$ 10.4	<30%
	FFM (kg) = $0.00091186 (ht^2) -$ $0.01466 (R) +$ $0.29990 (BM) -$ $0.07012 (\text{věk}) + 9.37938$	≥30%

Kde %BF je procento tělesného tuku, FFM je tukuprostá hmota (kg), BM je hmotnost těla (kg), R je odpor (resistence) ( $\Omega$ ), X je reaktance ( $\Omega$ ), ht je tělesná výška (cm).

Pro štíhlé probandy (<20% BF u mužů a <30% BF u žen) se používá první rovnice. Pro probandy s nadváhou (≥20% BF u mužů a ≥30% BF u žen) se používá druhá rovnice. U nejednoznačných probandu je potřeba vypočítat průměr z obou rovnic [18].

### 3.2.2. Hydrodenzitometrie

Hydrodenzitometrie, neboli hydrostatické vážení je metoda založena na Archimédově zákonu, avšak nepočítá se přímo podkožní tuk, ale denzita těla, ta je vypočtena z hmotnosti probanda ve vodě (při maximálním výdechu) a na „suchu“, při známé hustotě vody, závislé na teplotě [32]. Tato metoda je považována za „zlatý standart“, protože při opakovaném měření podává stabilní výsledky [27]. Mezi hlavní nevýhody patří časová náročnost, potřeba zkušeného pracovníka pro výpočet podílu podkožního tuku, a v neposlední řadě probandi mohou mít psychické bloky být ponořeni pod vodu s co největším výdechem [27].

### 3.2.3. Celotělová pletysmografie

Celotělová pletysmografie je metoda vycházející z hydrodenzitometrie, při které se vypočítá denzita těla ze změn tlaku způsobeném dýcháním v hermeticky uzavřeném prostoru. Délka měření je přibližně 5-10 minut. Komplikací u této metody může být silná klaustrofobie probandů [33].

Výpočet procenta tělesného tuku z denzity, podle rovnice 1, viz kapitola 3.1.2.

### **3.2.4. Spektroskopie infračerveného světla**

Metoda ang. „*Infrared Interactance*“ je založena na rozdílnosti vlastností průchodu infračerveného světla tukuprostou hmotou a tukem. Sonda prosvítí kůži světlem o různé vlnové délce, to se odráží a je různě pohlcováno, optické vlákna snímají příchozí světlo, z něhož je pak vypočteno procento tělního tuku [26]. Výhody této metody jsou její neinvazivnost, rychlost [26]. Existují studie (např. [26]), které dokazují dostatečnou přesnost této metody. Oproti tomu katedra kineziologie a zdraví na univerzitě v Georgii uvádí jako nevýhodou její nepřesnost [27].

### **3.2.5. Duální celotělová rentgenová absorpciometrie**

Dual Energy X-ray Absortimetry (DEXA) je metoda založena na odlišné absorpci záření o dvou různých energiích. Počítačové zpracování dat nám umožňuje výpočet komponentů těla (kostní minerály, jednotlivé měkké tkáně, atd.). Nevýhodou této metody může být nedostatečná velikost snímací plochy (obvykle 60x190 cm), což může snížit přesnost měření u vysokých nebo obézních lidí [34]. Kvůli zvyšování absorbované dávky ionizujícího záření není doporučováno častější měření. Cenová náročnost, malá dostupnost, avšak její velká přesnost jsou důvody, proč je metoda využívána hlavně ve studiích jako metoda referenční [3][4].

### **3.2.6. Magnetická rezonance**

Magnetic resonance imaging (MRI) je metoda založena na měření délky relaxačních časů (T1, T2) po zásahu radiofrekvenčního impulsu. Touto metodou lze přehledně zobrazit téměř všechny tkáně v těle. Principem metody je rozdílnost relaxačních časů – tuk má z důvodu větších jader daleko kratší relaxační čas T1 nežli voda – na snímcích se proto jeví světlejší oproti tmavší vodě [7]. Po MRI skenu celého těla je počítačově z voxelů vypočtena tuková hmota. Největší výhodou je její přesnost, a také fakt, že radiofrekvenční puls nezatěžuje tělo ionizujícím zářením. Z těchto důvodů je (podobně jako DEXA) používána jako metoda referenční [3][4]. Mezi hlavní nevýhody se uvádí časová náročnost (z důvodu relaxačních časů), což je společně s finanční náročností důvod, proč se tato metoda používá pouze pro výzkum [5]. Cena vyšetření jedné části těla 6 000-20 000 Kč pro samoplátce [9].

### **3.2.7. Ultrazvuk**

Metoda měření podkožního tuku ultrazvukem je založena na zpracování odražených ultrazvukových signálů [20]. Nezbytností je použití gelu, který snižuje rozdíl akustických impedancí na rozhraní sondy a kůže. Důvodem je téměř nulová

akustická impedance vzduchu [20], která by znehodnotila snímek. Signál je vysílán ze sondy a přenášen je skrz kůži do hlubších vrstev vyšetřované části těla (tuk, svaly, kosti). Na jednotlivých rozhraních (kůže-tuk, tuk-sval, atd.) se částečně odráží zpět k sondě a částečně proniká hlouběji [20]. Tyto ozvěny (ang. echos) jsou sondou zachycovány a počítačovým zpracováním převedeny do obrazového signálu. Finanční náročnost je podobná jako u metody bioimpedanční. Tato metoda vykazuje velikou přesnost, vůči metodě DEXA, můžeme to posoudit dle korelačních koeficientů  $r = 0,97$  pro ženy,  $r = 0,98$  pro muže. Čas potřebný k vyšetření je přibližně 7 minut [22], což je dlouhá doba ve srovnání s metodou bioimpedanční, ale krátká vzhledem k metodě MRI.

### **3.3. Biochemické metody**

Biochemické metody jsou metody využívající poznatků chemického modelu člověka a jevů aplikované na biologii člověka.

#### **3.3.1. Měření celkové tělesné vody**

Metoda je založena na detekci vody v aktivní tělesné hmotě. Voda je značena izotopy ( $^2\text{H}_2\text{O}$ ,  $^3\text{H}_2\text{O}$ ,...) a následně přístroji detekována. Metoda je velmi drahá, proto je využívána spíše k výzkumným účelům [6].

#### **3.3.2. Měření celkového tělesného draslíku**

Metoda vychází z faktu, že lidské tělo obsahuje radioaktivní izotop draslíku ( $^{40}\text{K}$ ), který se nachází v konstantním poměru v aktivní tělesné hmotě, z čehož je následně vypočítat aktivní i pasivní tělesnou hmotu. Přístroje vyžadují častou kalibraci pro požadovanou přesnost, a celkově je tato metoda nákladná [31].

## 4 POPIS POUŽITÝCH PŘÍSTROJŮ

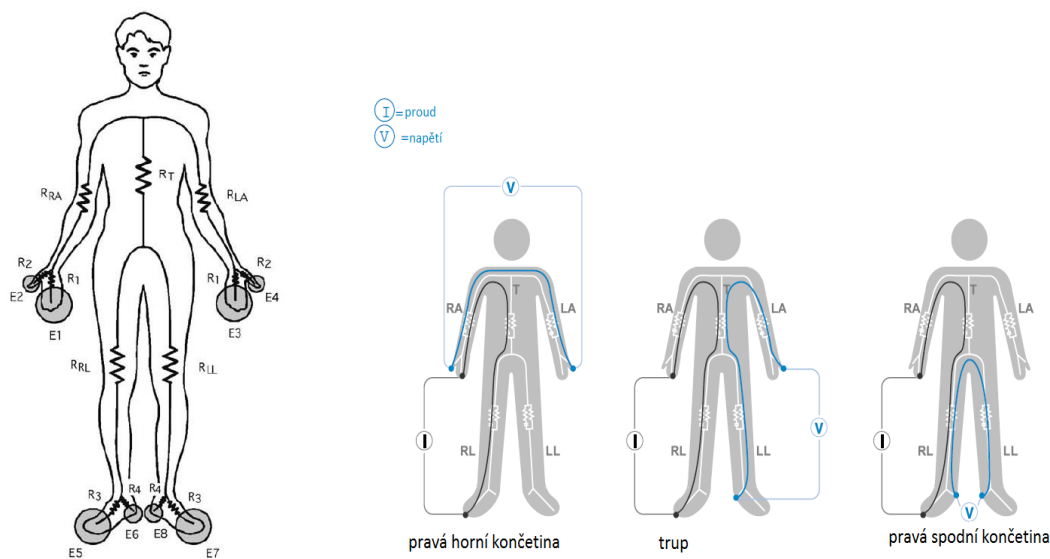
### 4.1. InBody 230

Přesnost přístroje InBody 230 je rozporuplná [12], některé studie vykazují výbornou přesnost, jiné velmi špatnou vůči referenční metodě DEXA [13].



Obrázek 5 - InBody 230 [44]

Přístroj funguje na základě multifrekvenční bioimpedanční analýzy (DSM BIA), k měření se využívá proudu  $330 \mu\text{A}$ , použité frekvencí jsou dvě: 20 kHz, 100 kHz [10]. Měření se skládá z 10 měření impedance na každém z 5 válců těla ( $R_{RA}$  – pravá horní končetina,  $R_{LA}$  – levá horní končetina,  $R_{RL}$  – pravá dolní končetina,  $R_{LL}$  – levá dolní končetina,  $R_T$  – trup). Využívá se 8 elektrod (E1-E8) – viz Obrázek 6.



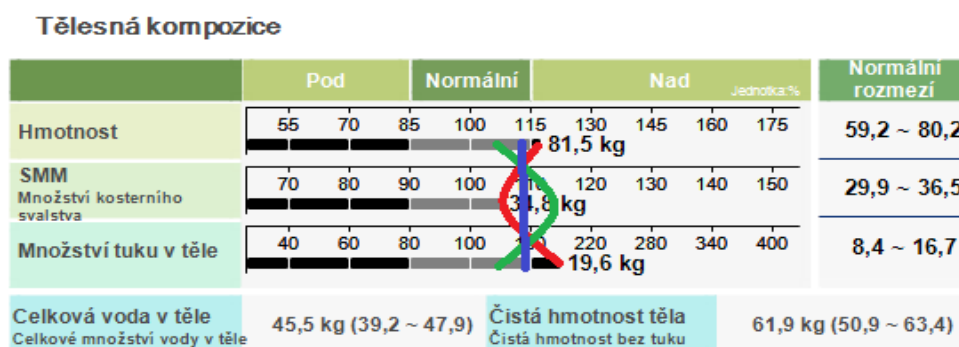
Obrázek 6 - Rozložení elektrod [45]

Obrázek 7 - Princip měření napětí [46]

Na obrázku 7 vidíme princip měření impedance jednotlivých částí těla, díky tomu je přístroj schopný změřit nejen celkový tuk a kosterní svalstvo, ale i dílčí části těla.

Výpočet impedance jednotlivých částí těla vychází z Ohmova zákona, vypočítá se jako podíl napětí a proudu. Z téhle skutečnosti je vypočítána celková hmotnost vody v těle, proto je nezbytné dodržet podmínky pro měření – mohou velmi významně ovlivnit měření. Dále je vypočítána tukuprostá hmota, což je podíl celkové hmotnosti vody v těle vydělené 0,73 – důvodem je podíl vody ve svalech – 73% [2]. Poslední krok při výpočtu tuku v těle je odečet tukuprosté hmoty od celkové váhy probanda [46].

Vstupními informacemi jsou jméno, výška, věk a pohlaví. Na výstupu z měření, v sekci Tělesná kompozice vidíme probandovu hmotnost, množství kosterního svalstva, množství tuku v těle. Tyto údaje jsou graficky zpracovány pro lepší orientaci laika – je zde rozmezí, v jakém by se měli hodnoty pohybovat vzhledem ke vstupním informacím. Je zde uvedena celková voda v těle a tukuprostá hmota.



Obrázek 8 - Záznam z měření InBody 230 [48]

Na obrázku 8 můžeme vidět, že proband má mírnou nadváhu – pomyslná spojnice tří údajů tvoří písmeno C (vyšší hmotnost, méně kosterního svalstva, vyšší podíl tuku). Tréninkovým cílem probanda je postupně snížit podíl tukové složky (podíl svalové hmoty alespoň udržet), aby tato spojnice tvořila písmeno I, následně písmeno D.

V oddílu Diagnóza obezity jsou uvedeny vypočítané hodnoty BMI a výpočet procenta podkožního tuku v těle [10], rovnice 2.

$$\% \text{ BF} = \frac{\text{Tuk}[\text{kg}]}{\text{Hmotnost}[\text{kg}]} \times 100 \quad (2)$$

## 4.2. Omron BF508



Obrázek 9 - Omron BF508 [47]

Tento přístroj je jednofrekvenční bioimpedanční měřicí metodou, k měření se využívá proudu 0,5 mA a frekvenci 50 kHz [19]. Není tak sofistikovaný jako InBody 230. Vstupní parametry pro měření tuku jsou výška, věk, pohlaví. Přístroj je schopný zvážit probanda v rozmezí 0-150 kg po 0,1 kg, vypočítat BMI (7-90 s přírůstkem 0,1), % tělesného tuku (od 5-60 % s přírůstkem 0,1 %, viz tabulka 7) a viscerální tuk (celočíslné bezrozměrné hodnoty od 0-30, viz tabulka 8). Na displeji po měření nalezneme klasifikaci výsledku, kde jsou interpretovány na stupnici (-, 0, +, ++) – dle zvoleného parametru.

Tabulka 7 - klasifikace podkožního tuku

Pohlaví	Věk	Nízká(-)	Normální(0)	Zvýšená(+)	Vysoká(++)
Žena	20-39	<21%	21.0-32.9%	33.0-38.9%	≥39.0%
	40-59	<23%	23.0-33.9%	34.0-39.9%	≥40.0%
	60-79	<24%	24.0-35.9%	36.0-41.9%	≥42.0%
Muž	20-39	<8%	8.0-19.9%	20.0-24.9%	≥25.0%
	40-59	<11%	11.0-21.9%	22.0-27.9%	≥28.0%
	60-79	<13%	13.0-24.9%	25.0-29.9%	≥30.0%

Tabulka 8 - klasifikace viscerálního tuku

Hodnota viscerálního tuku	Hodnocení
1-9	Normální hodnota (0)
10-14	Vysoká hodnota (+)
15-30	Velmi vysoká hodnota (++)

% tělesného tuku je odkázáno na Mezinárodní zdravotnickou organizaci WHO [11]. Hodnoty viscerálního tuku se odkazují na Omron Healthcare [11].

**Tabulka 9 - porovnání přístrojů**

<b>Přístroj</b>	<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
InBody 230	Použití více frekvencí při měření => možnost zjistit více parametrů. Vyšší sofistikovanost. Přesnost výrobci nespécifikovaná	Vyšší cena
Omron BF508	Nižší pořizovací cena => lepší dostupnost široké veřejnosti. Rychlejší měření. Přesnost udávaná výrobci = 3,5%.	Méně informací na výstupu.

## 5 METODIKA

Výše uvedenými metodami bylo změřeno 95 studentů VUT, kteří souhlasili s užitím osobních údajů k vypracování této bakalářské práce. Měřeno bylo 48 mužů a 47 žen ve věkovém rozmezí 19-27 let. Váhové rozmezí u žen 46-106 kg u mužů 56-108 kg, výškově ženy 154,5-181 cm, muži 168-198 cm. Probandi byli účastníky fyzioprogramů v Centru sportovních aktivit Vysokého učení technického v Brně v zimním semestru 2017. Všichni alespoň 1x týdně sportovali a před výzkumným šetřením byli informováni o nutnosti nepít, nejíst a nesportovat alespoň 2 hodiny.

Měření probíhalo od ranních hodin (9-10) do hodin odpoledních (15-16). Probandi byli nejdříve změřeni na přístroji InBody 230, následně na přístroji Omron BF508, a poté byli přeměřeni kaliperem, který v práci není zahrnut, kvůli validitě výsledků. Probandi byli měřeni ve spodním prádle, kvůli vyšší přesnosti měření.

Měření na InBody: proband se postavil na přístroj InBody 230, načetly se jeho/její osobní informace ze systému. Přístroj jej/ji zvážil, poté proband uchytil měřící elektrody, natáhl ruce a dal je mírně od těla, v tomto vzpřímeném postoji vydržel do konce měření (přibližně 30 sekund). Naměřená data byla uložena do počítače, následně dvakrát vytištěna, 1x pro probanda, 1x pro účely této bakalářské práce – aby bylo možno data zadat do počítače, kvůli statistickému zpracování.

Měření na Omron: proband se postavil na přístroj Omron BF508, kde byly nastaveny individuální údaje. Proband oběma rukama uchopil madlo, ve kterém jsou měřící elektrody přístroje. Postoj vzpřímený, ruce s madlem volně před tělem. Přístroj jej/ji zvážil, poté proband natáhl ruce před sebe, do výše ramen, v tomto vzpřímeném postoji vydržel do konce měření (přibližně 5 sekund). Naměřená data byla poté opsána do počítače na statistické zpracování. Dále byli probandi měřeni kaliperačními metodami Durnin/Womersley a Jackson/Pollock, ale nebyla zahrnuta ve statistickém zpracování, z důvodu, že by mohla být ovlivněna subjektivní chybou nezkušeného měřitele, pro názornost budou pro zajímavost krabicové grafy hodnot změřených těmito způsoby uvedeny v příloze.

# 6 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ

## 6.1. Teorie

Postup při statistickém zpracování:

1. Krokem je zvolení Nulté hypotézy  $H_0$ : Data naměřená z přístrojů InBody 230 a Omron BF508 se neliší.
2. Krokem je vytvoření krabicových grafů, z důvodů orientační vizualizace dat.
3. Krok, je provést test normality rozložení. Použitý test normality byl Shapirův-Wilkův (S-W), který znázorňuje rovnice (3) [39][40].

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x(i))^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3)$$

kde  $x(i)$  je náhodný seřazený vzorek,  $\bar{x}$  je průměr všech prvků,  $a(i)$  je konstanta vypočítaná rovnicí 4.

$$(a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}, \quad (4)$$

Kde  $m$  jsou očekávané hodnoty nezávislých a totožně distribuovaných náhodných veličin z normálního rozdělení.  $V$  je kovarianční matice.

Čím více se blíží hodnota  $W$  k 1, tím více testovaná data odpovídají normálnímu rozdělení. Rozdělující pravidlo: pokud je  $p$ -hodnota souboru větší než 0,05 - normalita se **nezamítá** [23].  $P$  je  $p$  - hodnota, neboli nejmenší hladina statistické významnosti.

4. Krokem je provedení t-testu pro párové prvky, nebo-li prvky závislé, jedná se o 2 měření stejného probanda. T-test se používá pro data s normálním rozdělením [41], rovnice 5.

$$t = \frac{\bar{d}}{\sqrt{s^2/n}} \quad (5)$$

Kde  $\bar{d}$  je průměrný rozdíl,  $s$  je rozptyl vzorků a  $n$  velikost vzorků.

5. Krok – Na základě  $p$ -hodnoty se rozhodne, za bude Nultá hypotéza zamítnuta, či nikoliv .
6. Bližší statistické zkoumání – vychází z předpokladu, že rozdíl mezi naměřenými hodnotami může být způsobeny věkem, výškou, váhou, nebo BMI.
  - Pearsonuv lineární koeficient vyjadřující rovnice 6, slouží pro kvantifikaci lineárního vztahu mezi dvěma náhodnými veličinami  $(x,y)$  [42].  $R \in (-1,1)$ , když se  $r$  blíží -1, je mezi sledovanými veličinami silná nepřímá lineární

závislost, při  $r$  blíží se k 1 je mezi veličinami silná přímá lineární závislost. U  $r$  v okolí 0 je korelace nulová, či velmi slabá.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{(n-1) s_x s_y}, \quad (6)$$

Kde  $r$  = korelační koeficient;  $x, y$  – sledované veličiny,  $\bar{x}, \bar{y}$  jsou výběrové průměry a  $s_x, s_y$  jsou výběrové směrodatné odchylky.

- Spearmanův koeficient, vyjadřující rovnice 7, slouží k zjištění do jaké míry vztah veličin odpovídá monotónní funkci, které může být i nelinerární [43].

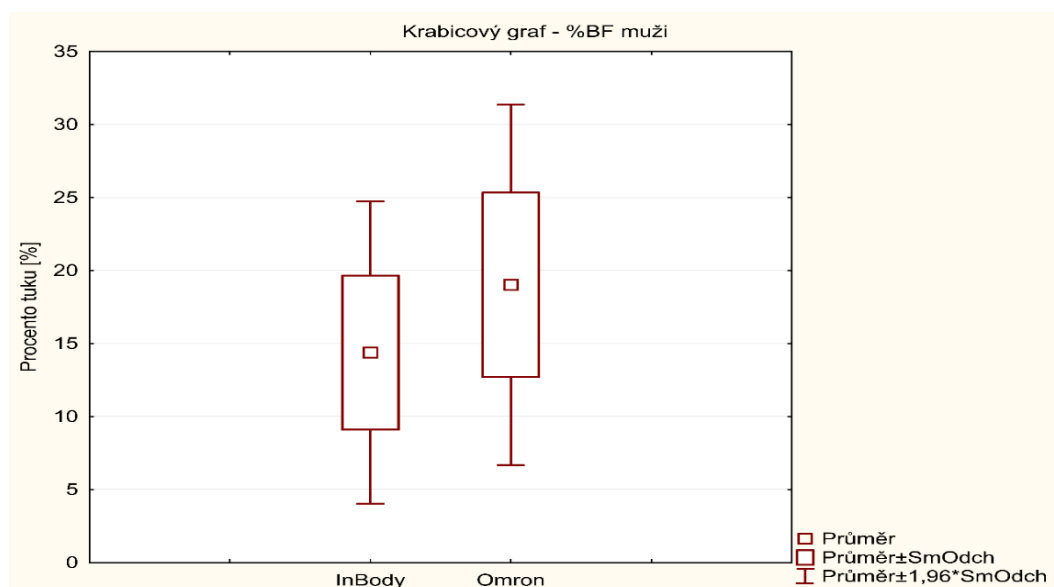
$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ri} y_{ri} - n \bar{x}_r \bar{y}_r}{(n-1) s_{x_r} s_{y_r}}, \quad (7)$$

Kde  $r$  = korelační koeficient;  $x, y$  – sledované veličiny,  $\bar{x}, \bar{y}$  jsou výběrové průměry a  $s_x, s_y$  jsou výběrové směrodatné odchylky, index  $r$  značí pořadí ve skupině.

## 6.2. Výsledky měření a statistické analýza

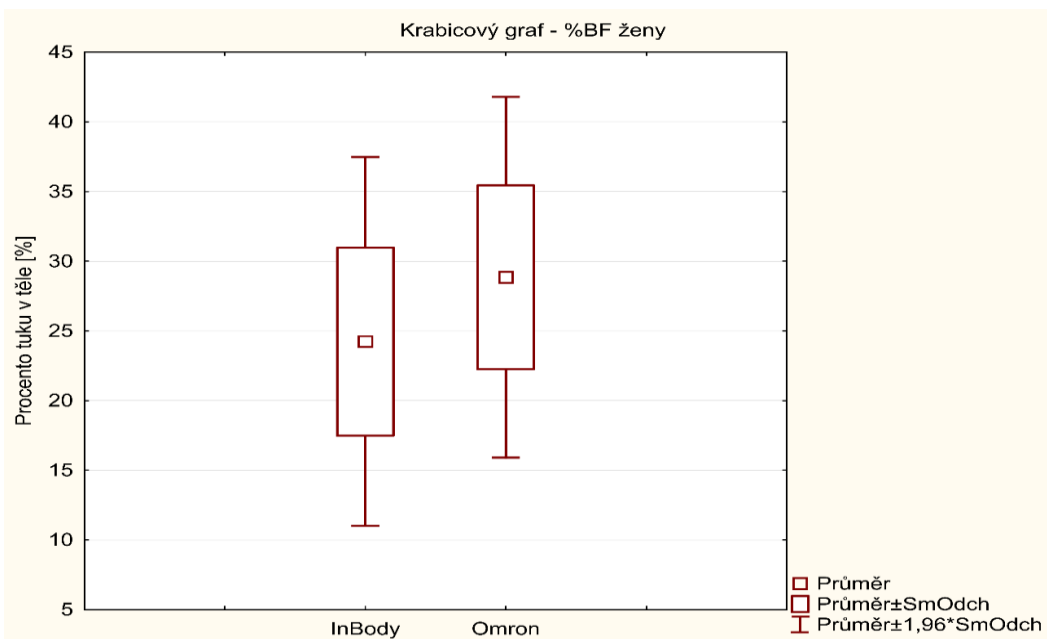
Statistické zpracování, všechny výpočty a veškeré vykreslení grafů, bylo prováděno v programu Statistika. Testovaná skupina byla rozdělena dle pohlaví.

1. Zvolení Nulté hypotézy  $H_0$ : Data naměřená z přístrojů InBody 230 a Omron BF508 se neliší.
2. Krok. Data naměřená přístrojem InBody vykazují menší průměr, u mužů 14,38 %BF se směrodatnou odchylkou 5,28 oproti tomu přístroj Omron naměřil průměrnou hodnotu 19,03 %BF se směrodatnou větší odchylkou 6,31. U žen přístroj InBody vyhodnotil průměr o hodnotě 24,24 %BF



Obrázek 10- krabicové grafy výsledků měření pro muže

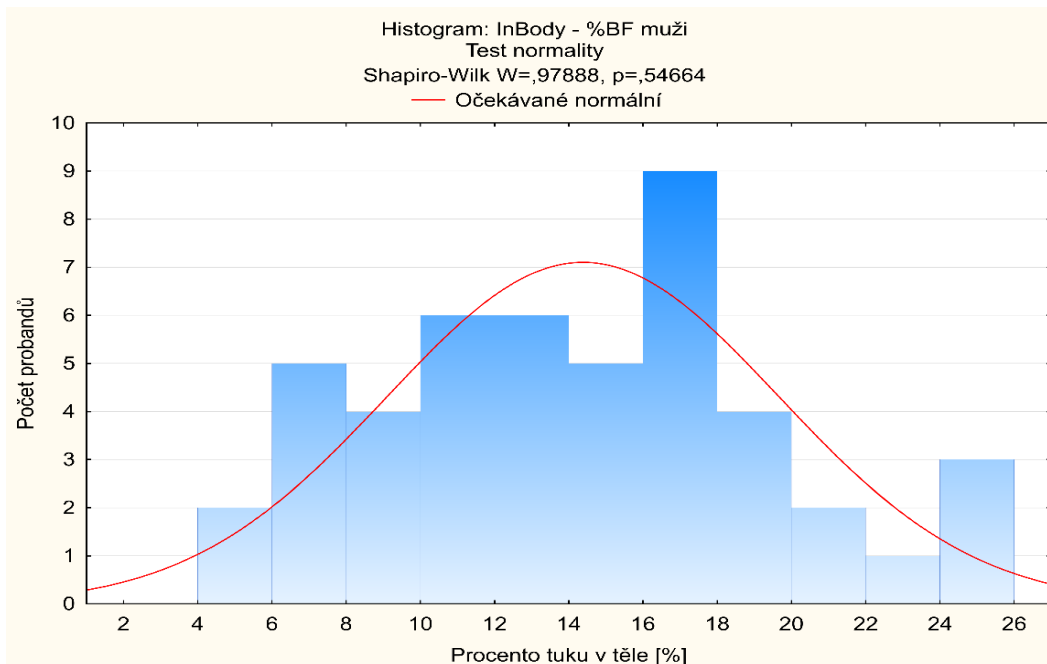
s odchylkou 6,75. Přístroj Omron změřil tuto skupinu s průměrem 28,84 %BF, ale s menší odchylkou oproti InBody - 6,60.



Obrázek 11- krabicové grafy výsledků měření pro ženy

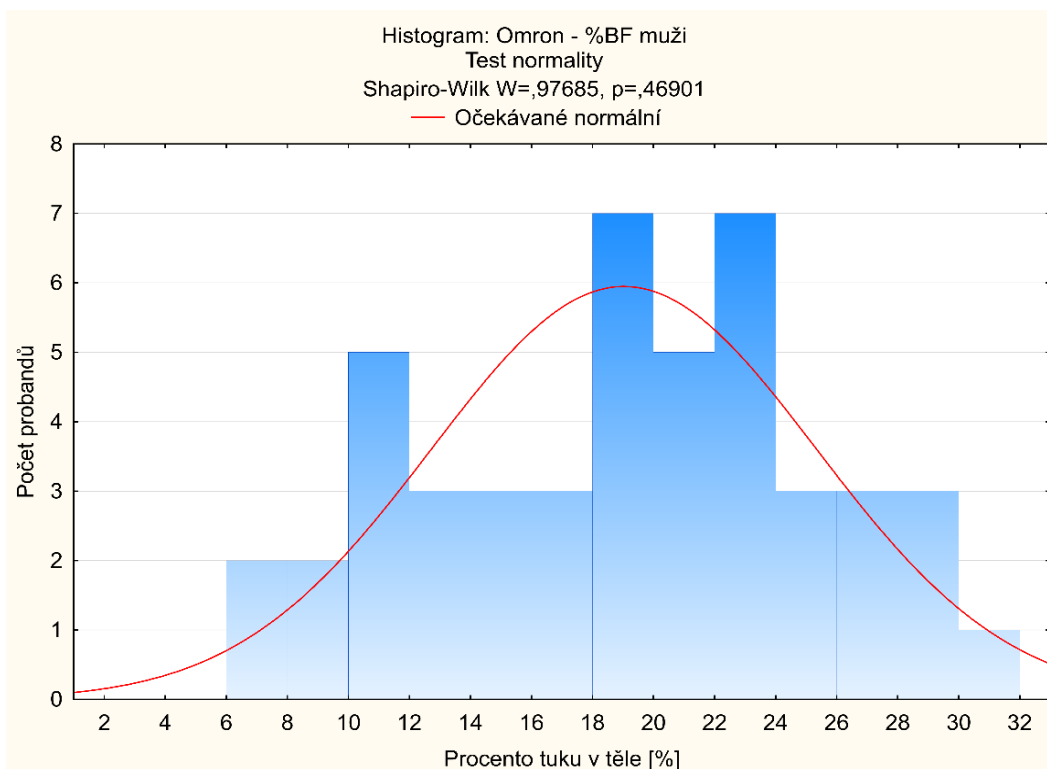
### 3. Krok – test normality

a. Muži - InBody 230: S-W:  $W=0,97888$ ,  $p=0,54664$ , červená čára symbolizuje ideální normální rozdělení.



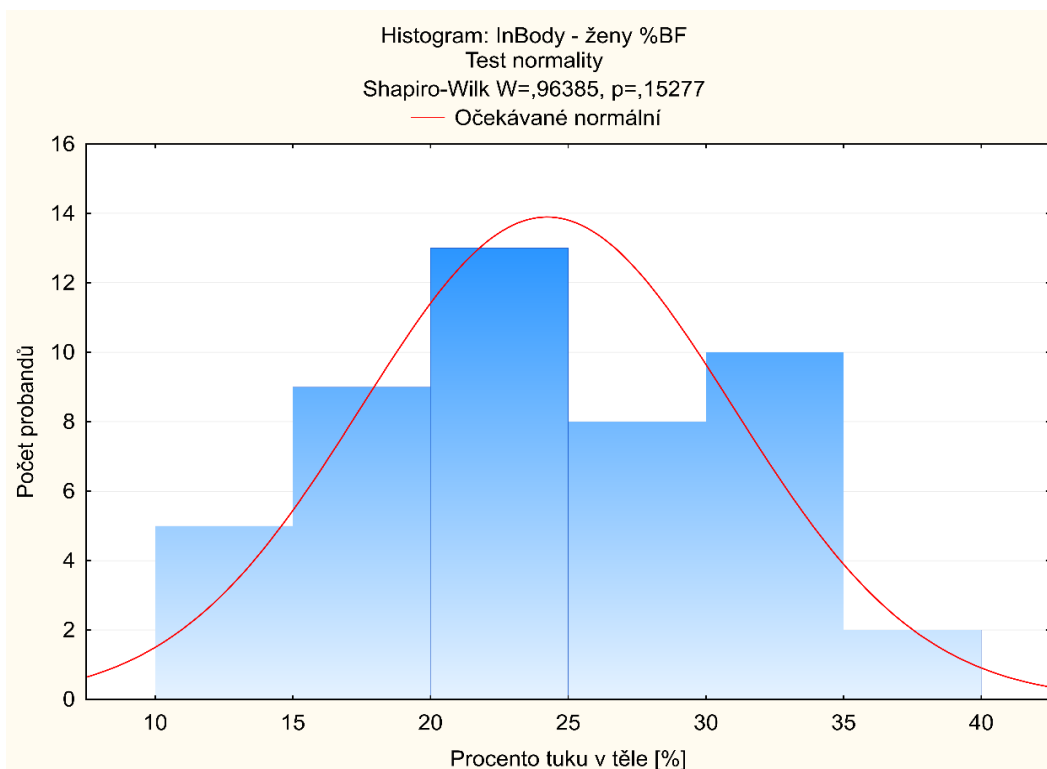
Obrázek 12 – S-W test + histogram, muži InBody

b. Muži - Omron BF508: S-W:  $W=0,97685$ ,  $p=0,46901$ .



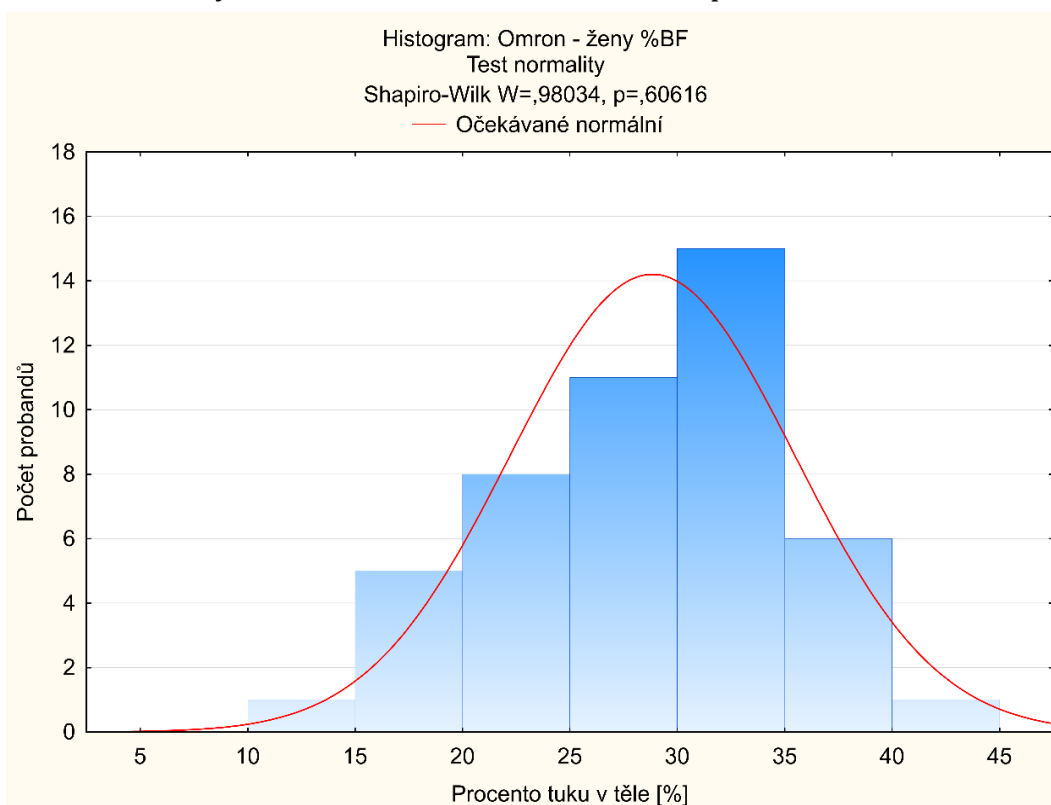
Obrázek 13 - S-W test + histogram, muži - Omron

c. Ženy - InBody 230: S-W:  $W=0,96385$ ,  $p=0,15277$ .



Obrázek 14 - S-W test + histogram, ženy + InBody

d. Ženy - Omron BF508: S-W:  $W=0,98034$ ,  $p=0,60616$ .



Obrázek 15 - S-W test + histogram - Omron

Hodnoty Shapiro-Wilkova testu jsou u všech skupin velmi vysoké, a statisticky významné, tudíž normalita není zamítnuta a může být použit t-test.

4. Krok => t-test pro párové prvky – normální rozdělení

- Muži, průměrná hodnota z přístroje Omron = 19,030 %BF, z přístroje InBody= 14,383 %BF. Výsledná p - hodnota = 0,002.
- Ženy, průměrná hodnota z přístroje Omron = 28,845%BF, z přístroje InBody= 24,236%BF. Výsledná p - hodnota = 0,0012.

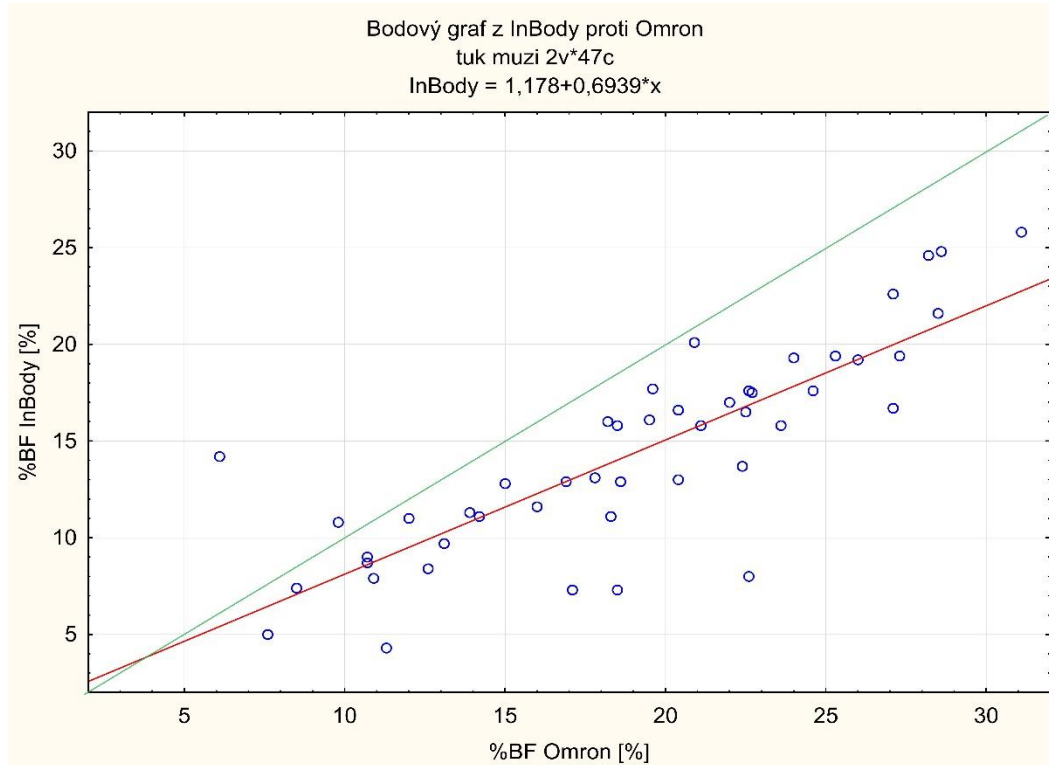
5. Krok – porovnání nulové hypotézy s výslednou P-hodnotou t-testu.

Výsledná p-hodnota je 0,0002 pro muže, 0,0012 pro ženy. P-hodnoty jsou menší než 0,05 => zamítáme  $H_0$  u obou pohlaví.

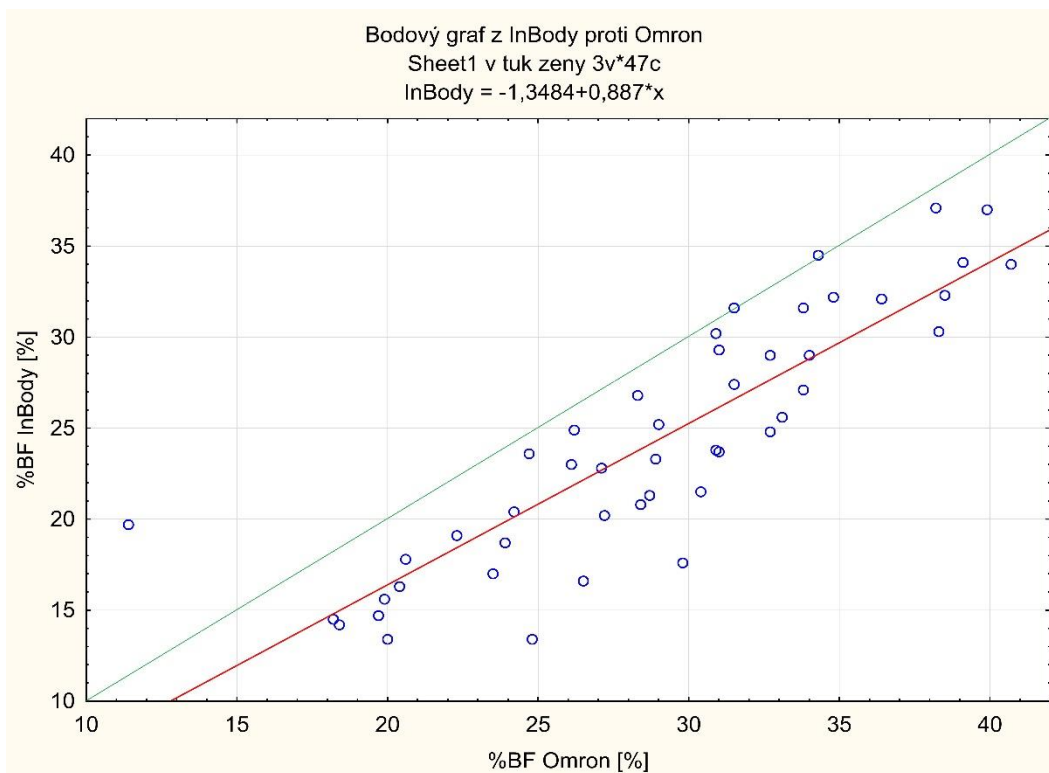
Platí alternativní hypotéza  $H_A$  - Data naměřená z přístrojů InBody 230 a Omron BF508 se statisticky významně liší na hladině 0,05.

### Další interpretace naměřených výsledků:

Bodové grafy, který ještě lépe vizualizují rozdílnosti použitých přístrojů. V ideálním případě (při totožných výsledcích) by byly všechny hodnoty na zelené diagonále.

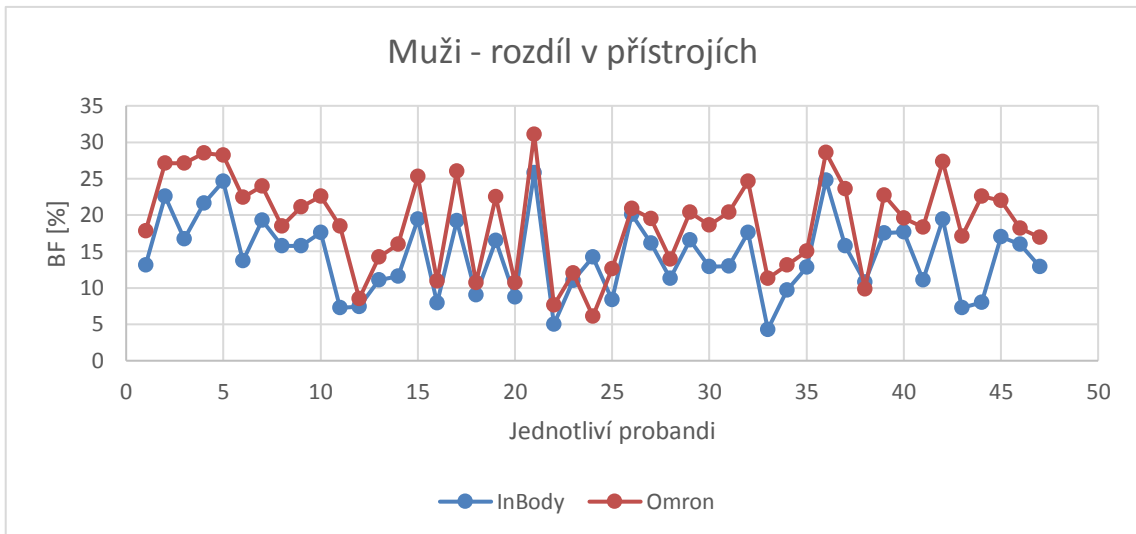


Obrázek 16 - bodový graf – muži

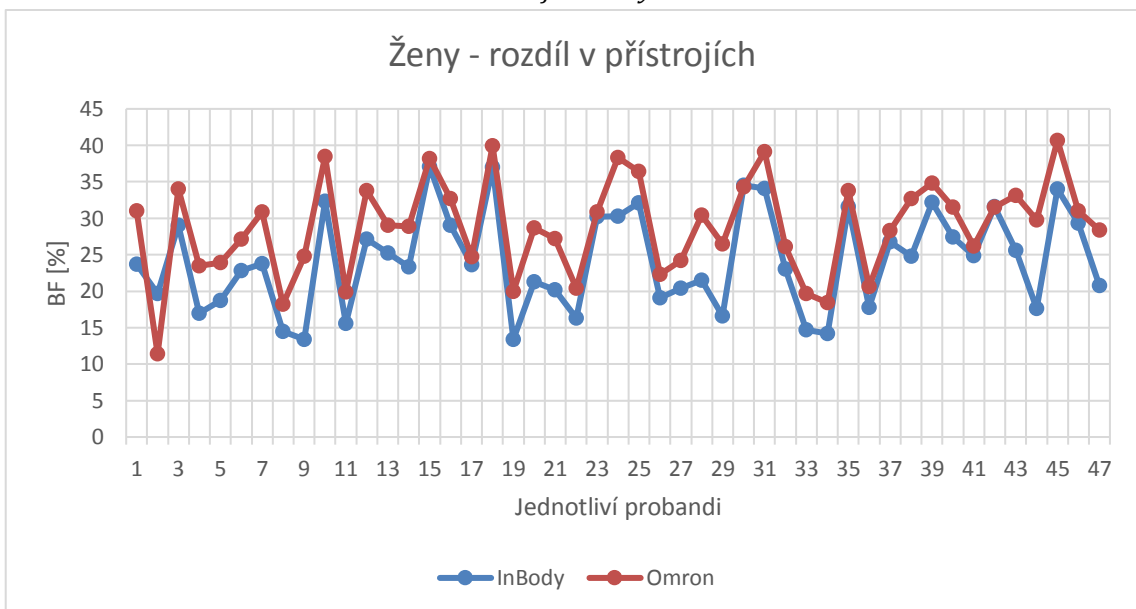


Obrázek 17 - bodový graf – ženy

Následující dva grafy vykreslují jak se naměřené hodnoty na obou přístrojích lišilo u jednotlivých probandů. Z grafu je patrné, že měření velmi korespondují, pouze data naměřená přístrojem Omron mají vyšší průměrnou hodnotu, což bylo vypočítáno již dříve (rozdíl v průměrech: 4,65 %BF u muže a 4,60 %BF u žen).



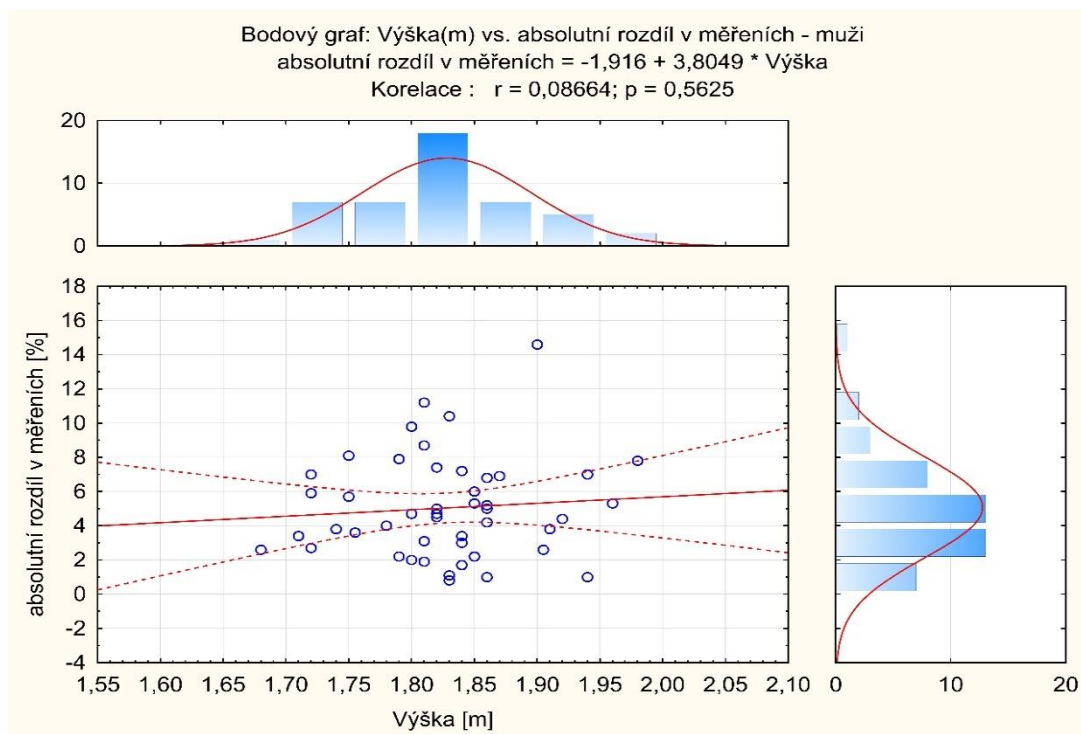
Obrázek 16 - rozdíl u jednotlivých měření - muži



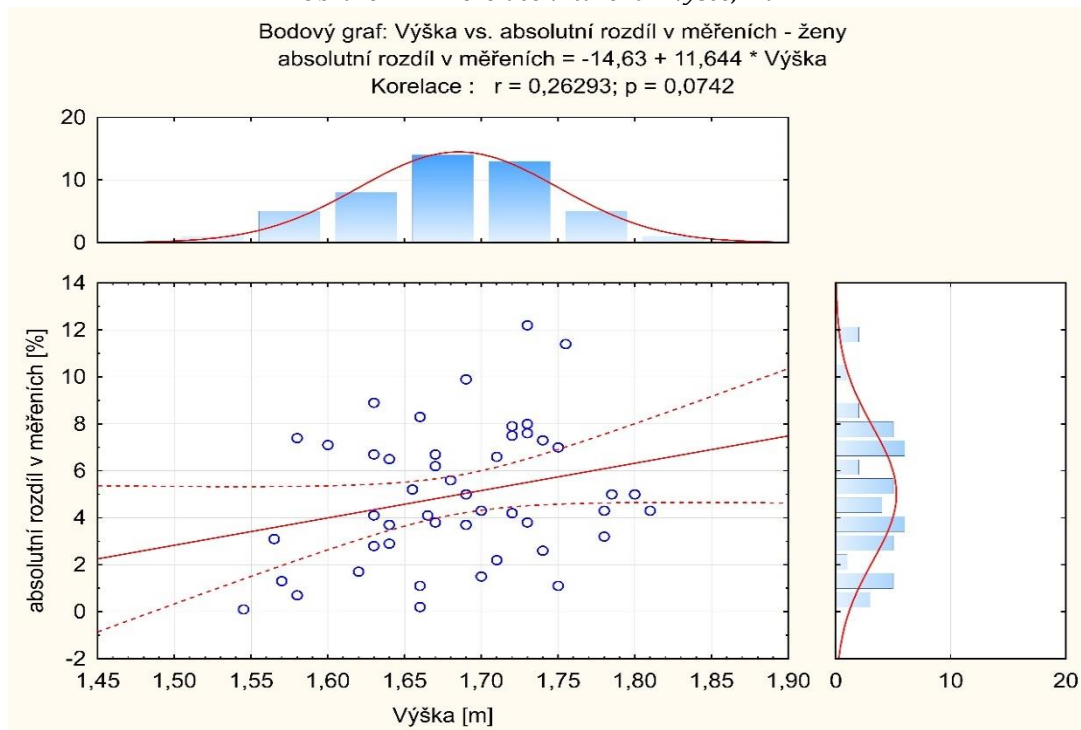
Obrázek 19 - rozdíl u jednotlivých měření - ženy

Aby byl zjištěn důvod proč se hodnoty neshodují, byla použita korelace Pearsonovým linerárním koeficientem a Spearmanovým nelineárním koeficientem. Vstupními atributy byl absolutní rozdíl mezi měřeními a výška, váha, věk a BMI.

## PEARSON (Absolutní rozdíl v měřeních : Výška)



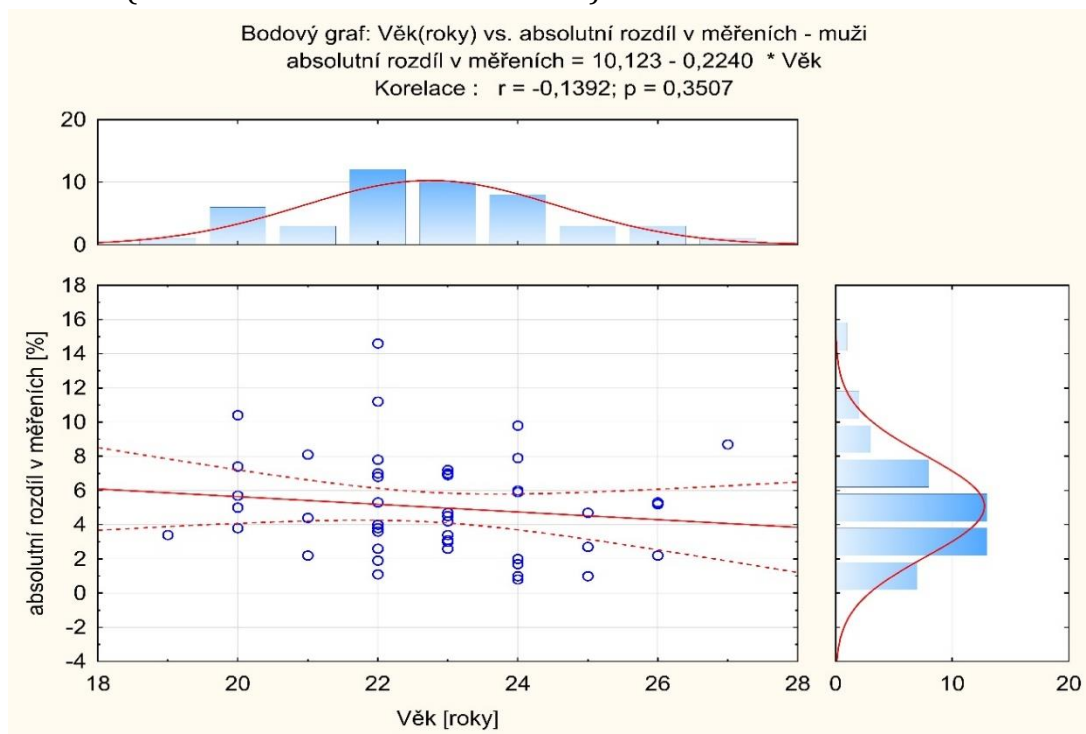
Obrázek 20 - korelace vztažená k výšce, muži



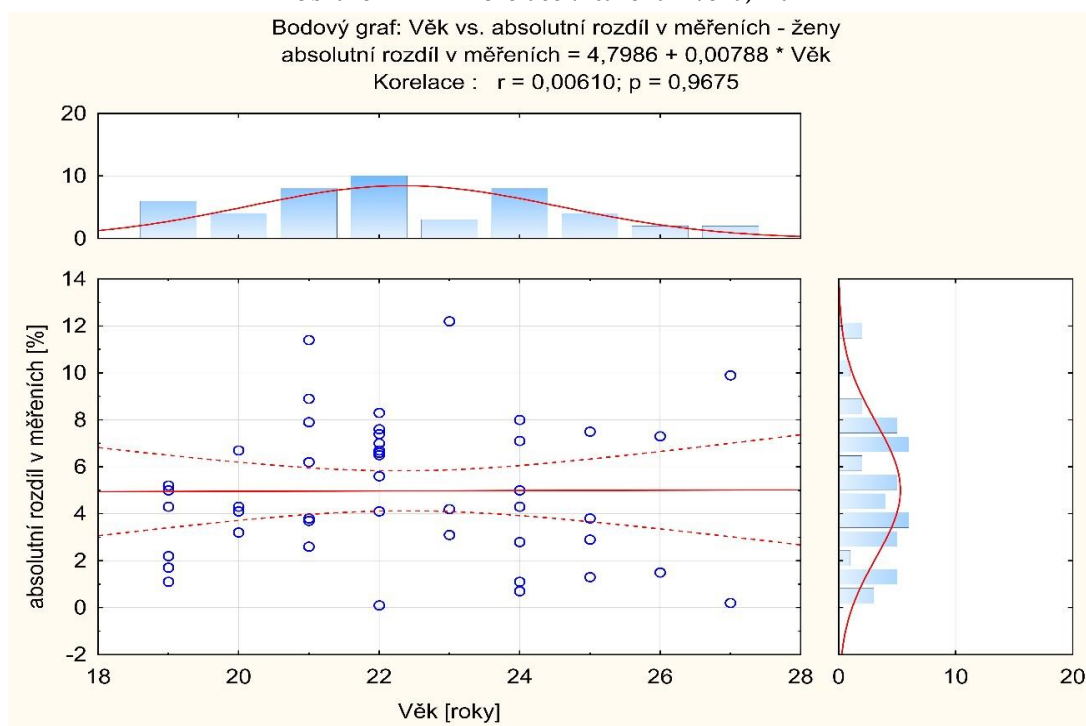
Obrázek 21 - korelace vztažená k výšce, ženy

Korelace rozdílů měření vztažená k výšce probanda vyšla u mužů velmi malá ( $r=0,09$ ),  $p$ -hodnota je statisticky nevýznamná ( $p>0,05$ ). Ovšem u žen tato korelace vyšla s větším  $r=0,26$ , ze statistického hlediska je tato hodnota nevýznamná, avšak se zvyšující se výškou se zvyšuje rozdíl naměřených hodnot.

## PEARSON (Absolutní rozdíl v měřeních : Věk)



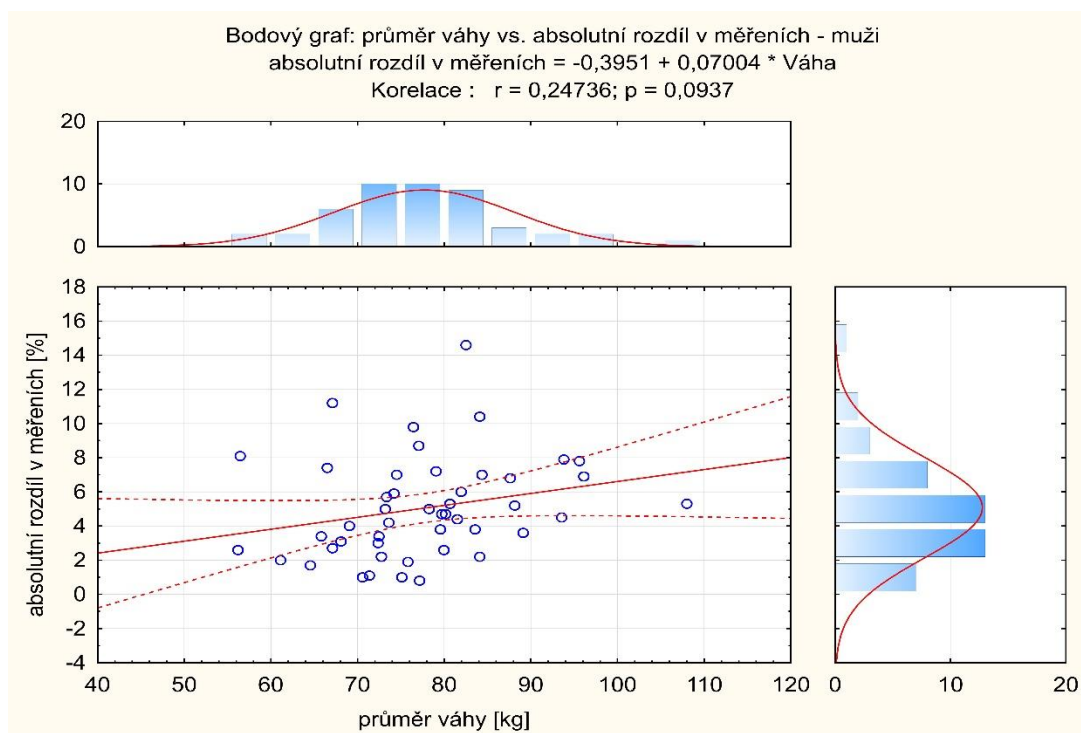
Obrázek 2217 - korelace vztažená k věku, muži



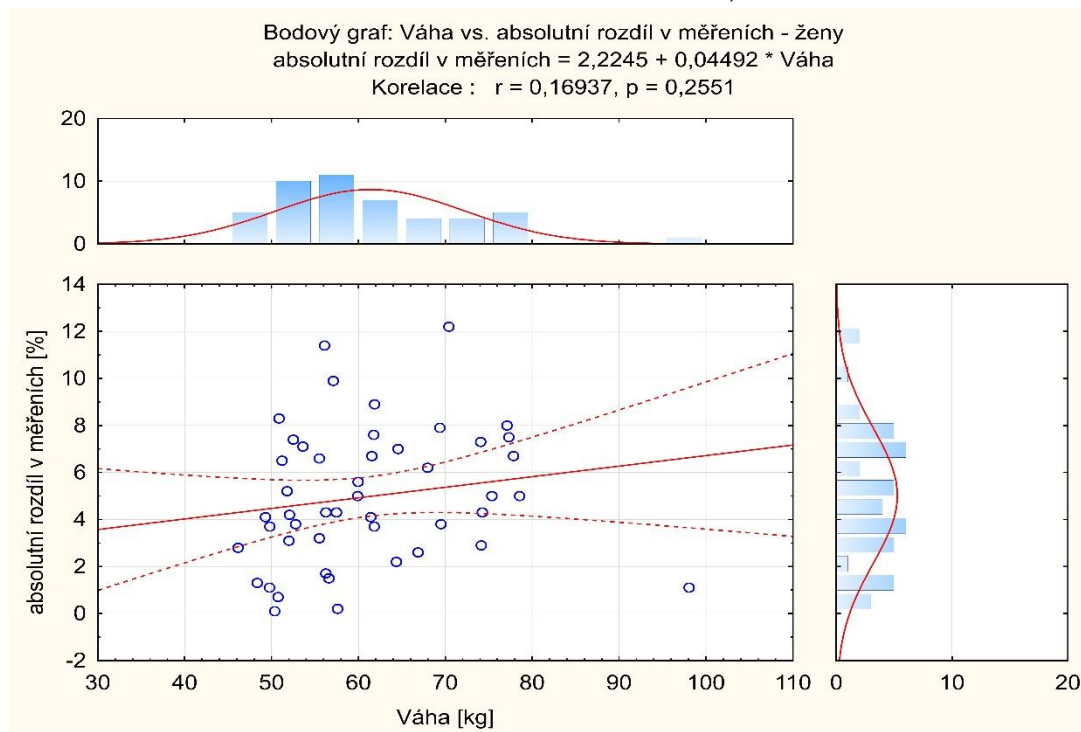
Obrázek 23 - korelace vztažená k věku, ženy

Z grafu je patrné, že věk nehraje roli v rozdílech mezi měřeními, korelace u žen je malá ( $r = -0,14$ ), u mužů téměř nulová ( $r < 0,01$ ), u obou skupin statisticky nevýznamná ( $p > 0,05$ ).

## PEARSON (Absolutní rozdíl v měřeních : Váha)



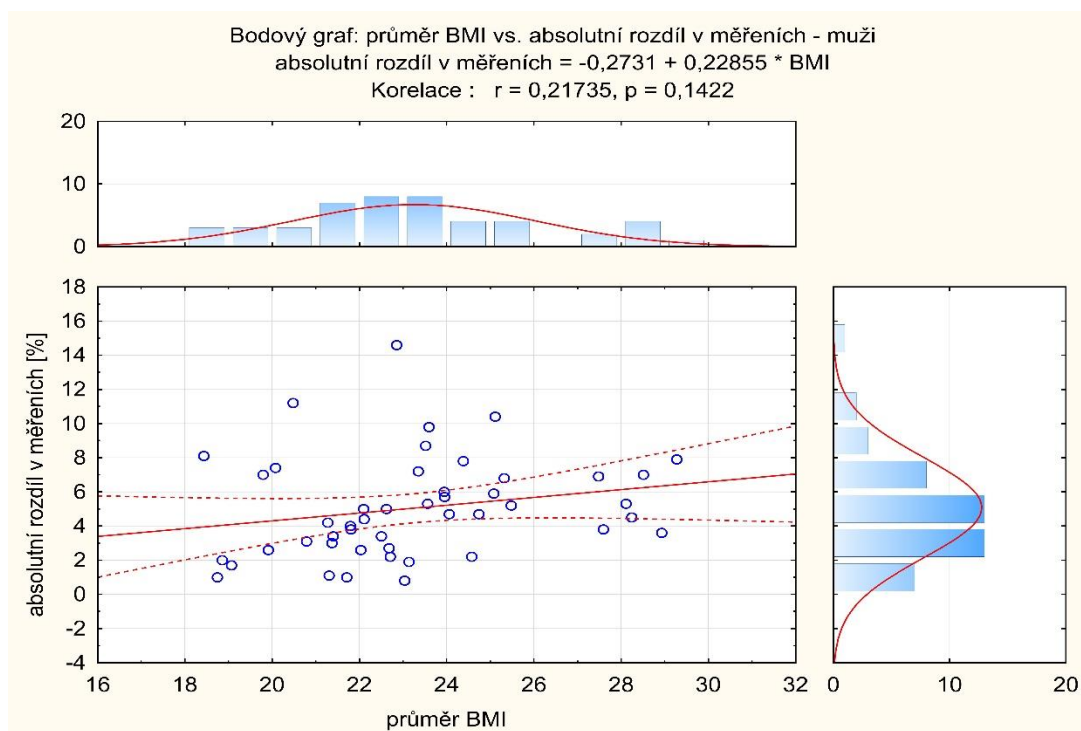
Obrázek 24 - korelace vztažená k váze, muži



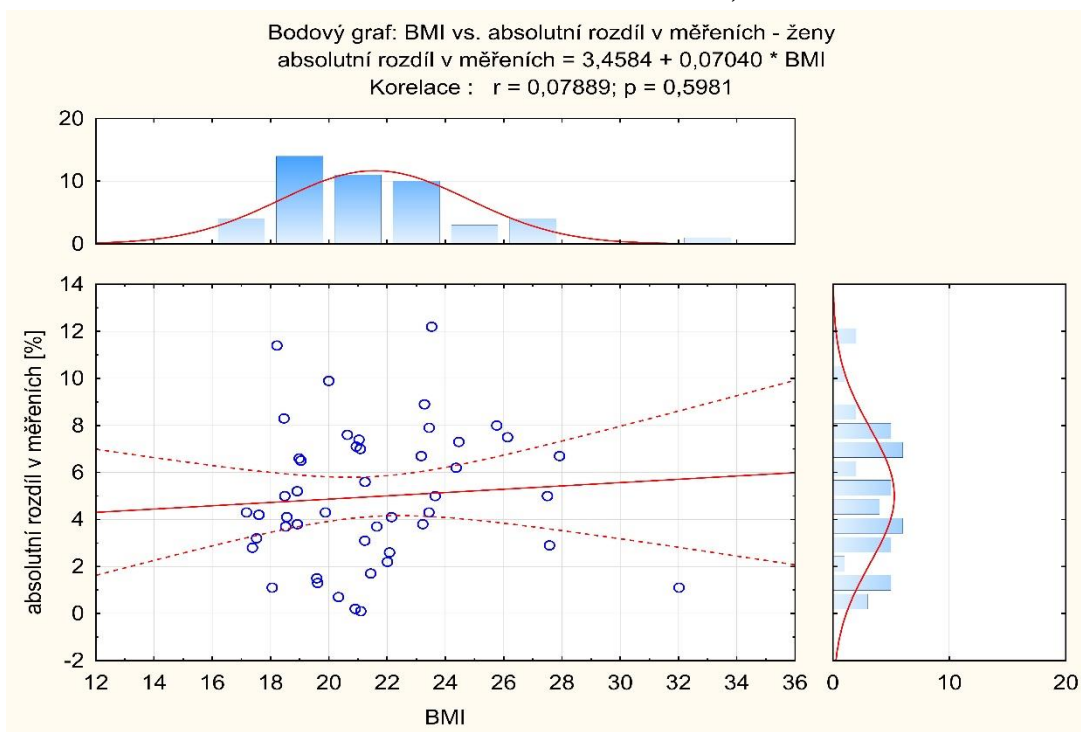
Obrázek 185 - korelace vztažená k váze, ženy

Korelace rozdílů měření vztažená k průměru váhy z obou přístrojů probanda vyšla u mužů malá ( $r=0,17$ ),  $p$ -hodnota je statisticky nevýznamná ( $p>0,05$ ). Oproti tomu u žen korelace vyšla s větší hodnotou  $r=0,25$ , ze statistického hlediska je tato hodnota nevýznamná, avšak velmi blíží se této hodnotě  $p=0,09$ .

## PEARSON (Absolutní rozdíl v měřeních : BMI)



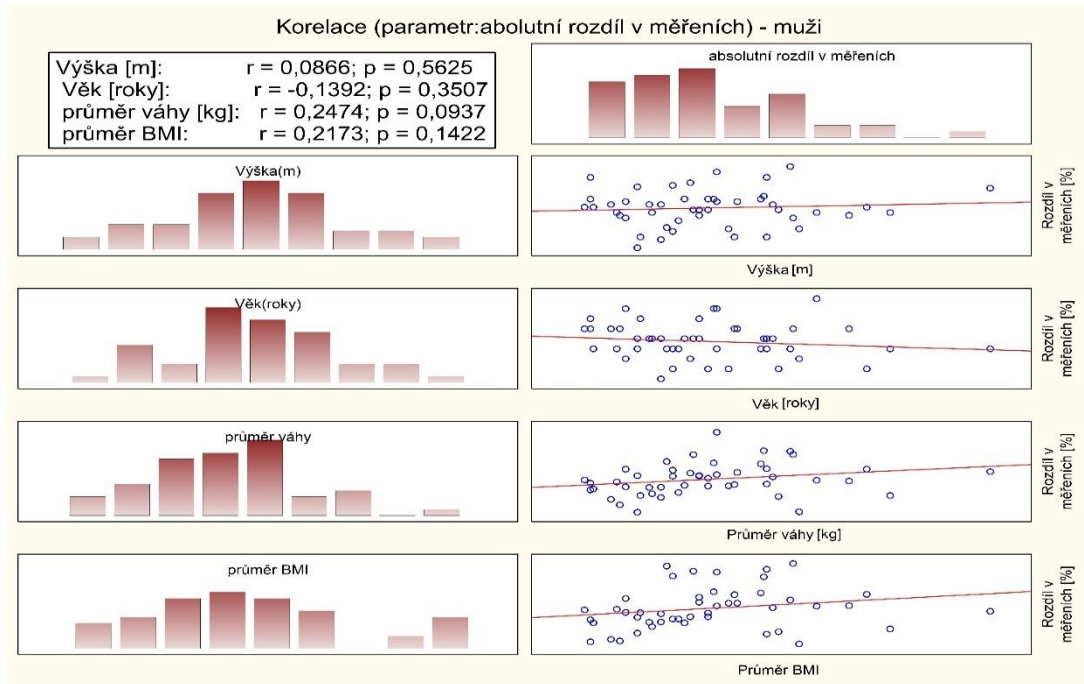
Obrázek 196 - korelace vztažená k BMI, muži



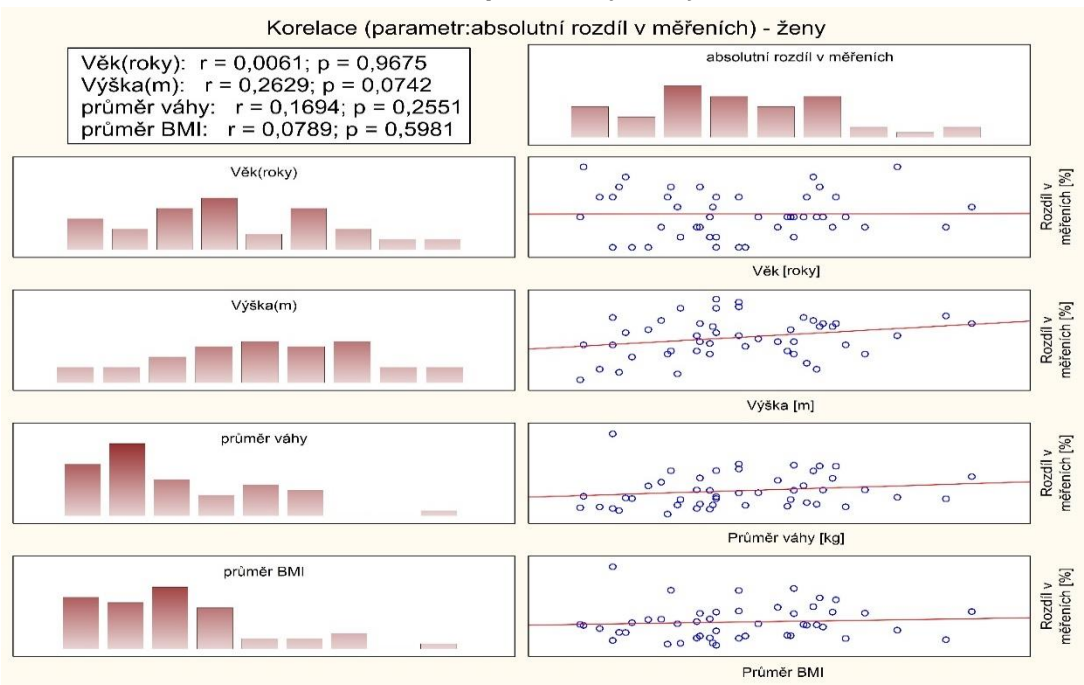
Obrázek 27 - korelace vztažená k BMI, ženy

Z grafů je patrné, že se zvyšujícím se BMI má rozdíl mezi naměřenými hodnotami zvyšující se tendenci, ze statistického hlediska je to nevýznamné. BMI počítáno jako průměr z hodnoty BMI jednotlivých přístrojů.

## SPEARMAN



Obrázek 28 - korelace spearmanovým koeficientem, muži



Obrázek 29 - korelace spearmanovým koeficientem, ženy

Z hodnot  $r$  a  $p$  je patrné, že korelace pomocí Pearsonového a Spearmanového koeficientu vyšly stejně. Rozdíl v měřeních nemá u mužů lineární ani nelineární závislost, na statistické hladině významnosti.

### 6.3. Shrnutí

Naměřené hodnoty se na statisticky významné hladině liší, ale nepovedlo se pomocí korelační analýzy mezi rozdílem v měření, v absolutní hodnotě a věkem, výškou, váhou či BMI zjistit co je důvodem. Možný důvod bude více rozebrán v závěru.

V práci není zahrnuto měření kožních řas, protože by míra subjektivní chyby mohla být značná, avšak výsledky měření korespondují s měřením bioimpedančním viz tabulky 10,11. Krabicové grafy všech provedených měření jsou v příloze.

**Tabulka 10 - Srovnání metod - Muži**

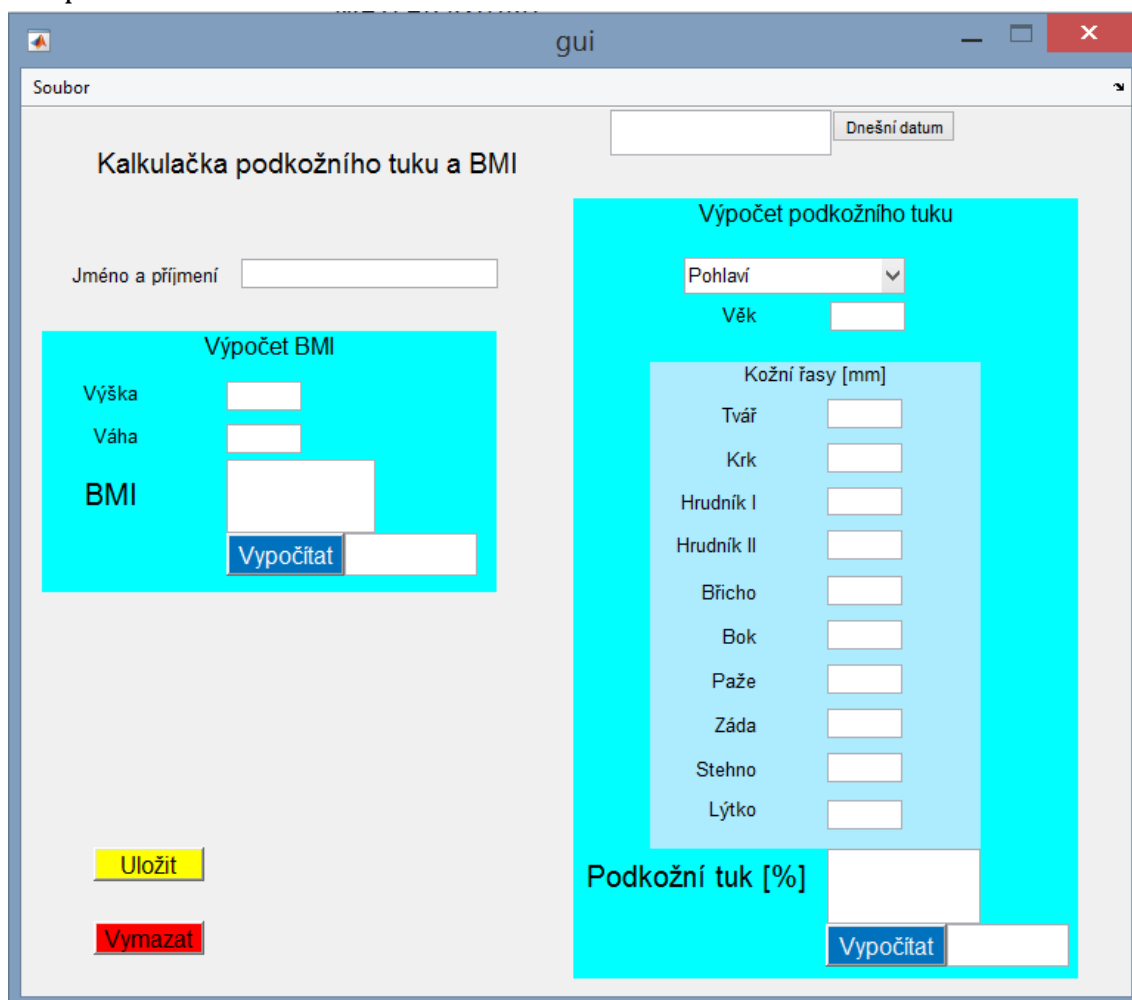
	InBody	Omron	JP	DW
Průměr	14,38	19,03	13,96	15,38
Směrodatná odchylka	5,28	6,31	5,48	5,12

**Tabulka 11 - Srovnání metod - Ženy**

	InBody	Omron	JP	DW
Průměr	24,24	28,84	24,99	27,40
Směrodatná odchylka	6,75	6,60	4,52	4,64

## 7 PROGRAM NA ZPRACOVÁNÍ DAT

Program byl vytvořen pomocí programu Matlab, v Grafic User Interface (GUI), je určen pro ulehčení a urychlení měření, respektivě snadnější zadávání, výpočet BMI a podkožního tuku (metoda podle Pařízkové). Rovnice výpočtu jsou uvedeny v kapitole 3.1.1 a 3.1.2.



Obrázek 20 – program při spuštění

Při kliknutí na tlačítko Dnešní datum se v poli vedle zobrazí aktuální datum.

SEKCE - Výpočet BMI: Pokud bude vyplněna výška a váha měřeného člověka, tak při stisku tlačítka Vypočítat bude vypočítán Body Mass Index, a na základě informací světové zdravotnické organizace (WHO – kapitola 4.2.) bude vygenerována zpětná vazba (Podváha, Normální, Nadváha, Obezita).

The image shows four separate BMI calculation forms arranged in a 2x2 grid. Each form has a title 'Výpočet BMI', input fields for 'Výška' (height) and 'Váha' (weight), a 'BMI' result field, and a 'Vypočítat' button. The results and status labels are as follows:

Form	Výška	Váha	BMI	Status
Top-Left	180	55	16.9753	Podváha
Top-Right	180	80	24.6914	Normální
Bottom-Left	180	85	26.2346	Nadváha
Bottom-Right	180	100	30.8642	Obezita

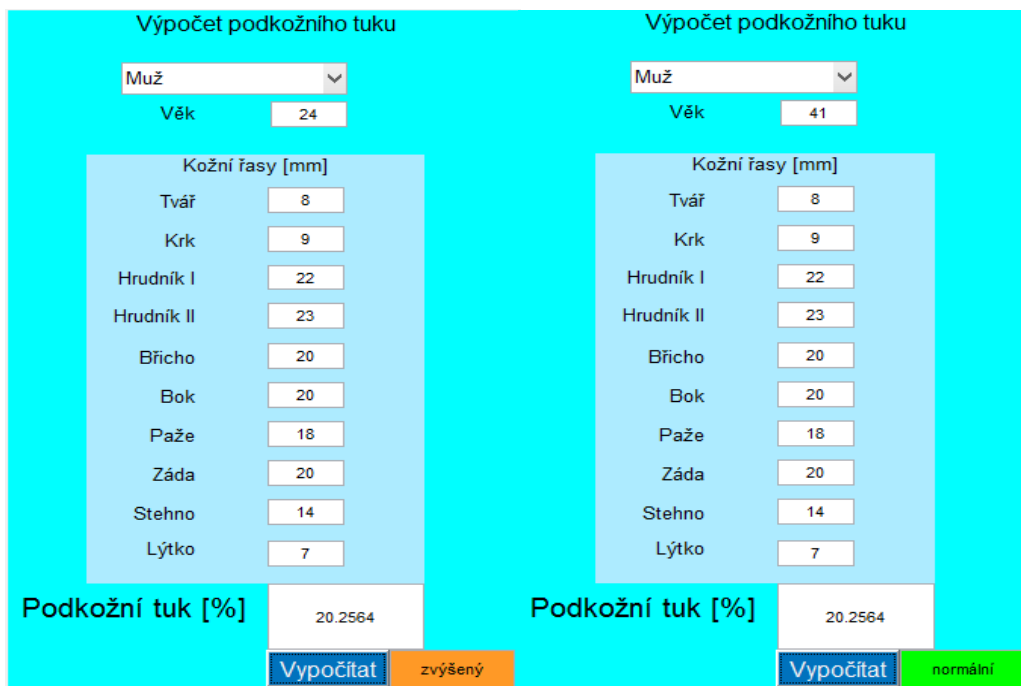
Obrázek 31 - výpočet BMI + zpětná vazba

SEKCE - Výpočet Podkožního tuku: Při kliknutí na pohlaví se rozklikne vyskakovací okno, kde je nutno vybrat pohlaví. Tato kalkulačka je navržena pro počítání podkožního tuku osobám v rozmezí 17 až 45 let. Přesnější lokalizace míst kde jsou měřeny kožní řasy je v sekci 3.1.2, pokud naměřená kožní řasa není celé číslo, je potřeba použít desetinnou tečku. Pokud budou zadány všechny potřebné parametry, po stisknutí tlačítka Vypočítat bude vypočítáno procento podkožního tuku, informace od WHO (kapitola 4.2.) budou použity na generování adekvátní zpětné vazby (nízké, normální, zvýšené, vysoké – % podkožního tuku), v této klasifikaci je zohledněn věk, pohlaví a samotné % podkožního tuku, viz následující obrázky.

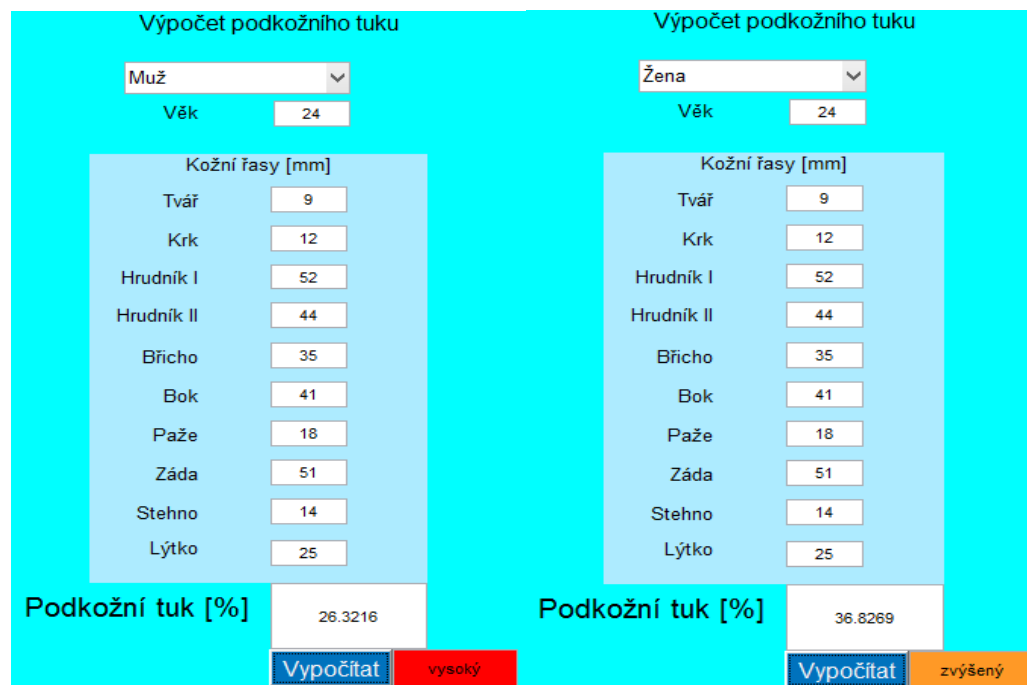
The image shows two subcutaneous fat calculation forms side-by-side. The left form is for a woman ('Žena') and the right for a man ('Muž'). Both have a 'Věk' (age) field set to 24. Below is a list of 'Kožní řasy [mm]' (skin thickness) for various body parts. The results and status labels are as follows:

Form	Pohlaví	Věk	Podkožní tuk [%]	Status
Left	Žena	24	17.3666	nízký
Right	Muž	24	15.3447	normální

Obrázek 32 - Rozdíl žena/muž



Obrázek 33 - porovnání zpětné vazby při změně věku



Obrázek 34 - porovnání zpětné vazby při změně pohlaví

Při stisknutí tlačítka Uložit, bude v adresáři, kde se nachází spuštěný program, vytvořen soubor „zaznam.txt“, kde bude uvedeno Datum, Jméno a příjmení, Věk, hodnota BMI, hodnota podkožního tuku (pokud vše bude uvedeno a vypočítáno), navíc soubor bude obsahovat dvě tabulky, ve kterých jsou uvedeny údaje BMI a podkožního tuku dle WHO.

**Upozornění** – pokud, v souboru budou nějaká data, a bude stisknuto tlačítko Uložit, data budou přepsána!

**Příklad:**

Datum: 20.5.2018  
 Jmeno: Jana Nováková  
 Věk: 24  
 Výška: 172cm  
 Váha: 77kg  
 BMI: 26.0276  
 Pokožní tuk: 36.8269%

Hodnota BMI	Hodnocení podle WHO
BMI < 18.5:	Podváha
18.5 <= BMI < 25:	Normální váha
25.5 <= BMI < 30:	Nadváha
30.0 <= BMI	Obezita

Tabulka hodnocení podkožního tuku, podle světové zdravotnické organizace WHO

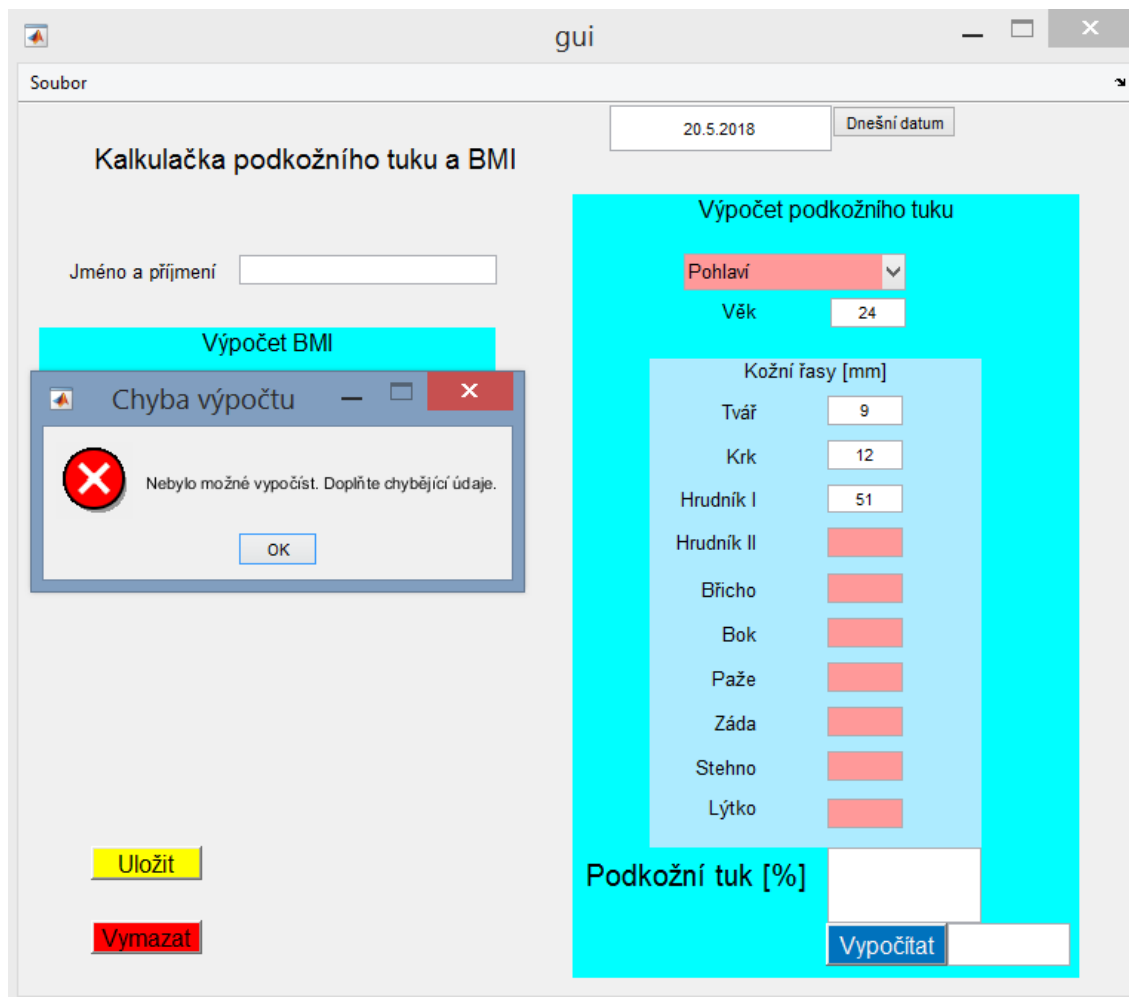
Pohlaví	Věk	Nízký	Normální	Zvýšený	Vysoký
Žena	20-39	<21%	21.0-32.9%	33.0-38.9%	>39%
Žena	40-59	<23%	23.0-33.9%	34.0-39.9%	>40%
Žena	70-79	<24%	24.0-35.9%	36.0-41.9%	>42%
Muž	20-39	<8%	8.0-19.9%	20.0-24.9%	>25%
Muž	40-59	<11%	11.0-21.9%	22.0-27.9%	>28%
Muž	70-79	<13%	13.0-24.9%	25.0-29.9%	>30%

Obrázek 35 - porovnání zpětné vazby při změně pohlaví

Pokud je v levém horním rohu zakliknut Soubor a následně Konec, bude se dotázáno, zda-li chcete program opravdu ukončit, po stisku *Ano* bude program ukončen.

Pokud bude kliknuto na tlačítko vymazat, vyskočí dotaz, jestli opravdu chcete vymazat veškerá data, po zakliknutí souhlasu budou data vymazána.

Pokud bude stisknuto nějaké tlačítko Vypočítat, a bude chybět nějaký potřebný údaj, zobrazí se vyskakovací okno s oznámením, že údaje pro výpočet nejsou kompletní, zároveň budou chybná či chybějící pole označena červeně.



Obrázek 36 - zobrazení chybějících údajů

## 8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo porovnat dva přístroje pro měření %podkožního tuku stejnou, bioimpedanční metodou. Už u krabicových grafů byl patrný rozdíl, ale bylo třeba porovnat správným statistickým testem, použitý t-test potvrdil domněnku. Hypotéza, že použité bioimpedanční metody se nebudou lišit, byla zamítnuta.

Přístroj Omron BF508 naměřil v průměru o 4,65 více %BF u mužů a o 4,60 více %BF u žen, což je poměrně podobný výsledek, snahou hlubší statistická analýza bylo zjistit, proč se tyto hodnoty liší. Byl vypočítána velikost rozdílu mezi měřeními (vždy v absolutní hodnotě), korelace (linerární i nelineární metodou) byla vypočítána vůči předpokládaným aspektům, které by mohly mít vliv na výsledky, a to: výška, věk, váha a BMI. Přístroje měly odchylku v měření váhy, tudíž v testování bylo počítáno s průměrem váhy a z ní vypočítané výšky. U korelací rozdílu měření a váhy (muži i ženy), výšky u žen a BMI u mužů je možné sledovat rostoucí tendenci, avšak u všech korelací vyšly hodnoty statisticky nevýznamné. Z tohoto důvodu rozdíl měření není na těchto parametrech závislý, ale může být v rozdílném technickém provedení jednotlivých přístrojů, nebo použitých rovnic při výpočtu.

Výsledek může také ovlivnit kvalitou součástek, provedená kalibrace. InBody 230 je multifrekvenční bioimpedanční přístroj, který využívá více frekvencí – více dat k porovnání a rozdílný průchod elektrického proudu tělem při různé frekvenci, kdežto Omron je metodou pouze jednofrekvenční. Sama pořizovací cena přístrojů může napovědět o kvalitě zpracování. Pořizovací cena InBody je přibližně 150 000 Kč, Omronu cca 2 000 Kč. Při měření nebylo možné použít metodu referenční – není možné určit, která metoda je absolutně přesnější. Vliv může také zanechat udržba přístroje mezi měřeními, čištění elektrod, ale tento vliv bych považoval za zanedbatelný, protože oba přístroje byli pravidelně čištěny.

Probandi byli informováni o nutnosti nejíst a nepít 2 hodiny před měřením, ale i zde mohla vzniknout určitá chyba.

# LITERATURA

- [1] HAVLÍČKOVÁ, L. a kol. Fyziologie tělesné zátěže I. 2. vyd. Praha: Karolinum, 2004. 203 s. ISBN 80-7184-875-1.
- [2] HOJGR, B. Porovnání různých metod měření procenta tuku v těle, Masarykova Univerzita, Brno 2010, 71s.
- [3] BOSY-WESTPHAL, A, LATER, W, HITZE, B, SATO, T, KOSSEL, E, GLUER, CC, HELLER, M, MULLER, MJ. Accuracy of bioelectrical impedance consumer devices for measurement of body composition in comparison to whole body magnetic resonance imaging and dual X-ray absorptiometry. *Obes Facts*. 2008;1(6):319-24.
- [4] HEW-BUTLER, T, HOLEXA, BT, FOGARD, K, STUEMPFLE, KJ, HOFFMAN, MD. Comparison of body composition techniques before and after a 161-km ultramarathon using DXA, BIS and BIA. *Int J Sports Med*. 2015, 36(2):169-74.
- [5] ŠEBKOVÁ, J. Srovnání různých metod měření tělesného složení u žen rozdělených do skupin dle BMI, Univerzita Karlova, Praha 2011, 60s.
- [6] HAINER, Vojtěch. Základy klinické obezitologie. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0233-9.
- [7] Hapugoda, S. and Jones, J. [online] <https://radiopaedia.org/articles/t1-weighted-image>
- [8] SIRI, W. E. (1961). Body composition from fluid space and density. In J. Brozek & A. Hanschel (Eds.), *Techniques for measuring body composition* (pp. 223-244). Washington, DC: National Academy of Science.
- [9] [online] [cit. 2017-12-02] Dostupné z: <http://www.fnmotol.cz/samoplatci/faq/>
- [10] [online] [cit. 2017-11-23] Dostupné z: <http://www.inbody.cz/produkty/17-inbody>
- [11] [online] [cit. 2017-12-05] Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/769946/Omron-Bf508.html?page=11#manual>
- [12] Thompson R, Brinkworth GD, Buckley JD, Noakes M, Clifton PM: Good agreement between bioelectrical impedance and dual-energy X-ray absorptiometry for estimating changes in body composition during weight loss in overweight young women. *Clin Nutr* 2007;26:771-777.
- [13] Jebb SA, Siervo M, Murgatroyd PR, Evans S, Fruhbeck G, Prentice AM: Validity of leg-to-leg bioimpedance to estimate changes in body fat during weight loss

- and regain in overweight women: a comparison with multicompartiment models. *Int J Obes* 2007;31:756–762.
- [14] Andreoli A, Melchiorri G, De Lorenzo A, Caruso I, Sinibaldi Salimei P, Guerrisi M: Bioelectrical impedance measures in different position and vs. Dualenergy X-ray absorptiometry (DXA). *J Sports Med Phys Fitness* 2002;42:186–189.
- [15] Frisard MI, Greenway FL, Delany JP: Comparison of methods to assess body composition changes during a period of weight loss. *Obes Res* 2005;13: 845–854.
- [16] DEURENBERG P: Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. *Am J Clin Nutr* 1996;64(3 suppl): 449S–452S.
- [17] HEYWARD, V. H., *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. 6. Ed., Champaign: Human Kinetics, 2010. ISBN 0-7360-8659-5.
- [18] SEGAL, K. R., VAN LOAN, M., FITZGERALD, P. I., HODGDON, J. A., VAN ITALLIE, T. B., Lean body mass estimation by bio-electrical impedance analysis: A four-site cross-validation study. *Americal Journal of Clinical Nutrition* 47: 7- 14. 1998
- [19] [online] [cit. 2017-12-15] Dostupné z: [https://umanitoba.ca/faculties/kinrec/hlhpri/media/Omron\\_BF306\\_handheld\\_BIA.pdf](https://umanitoba.ca/faculties/kinrec/hlhpri/media/Omron_BF306_handheld_BIA.pdf)
- [20] Dale R. Wagner, “Ultrasound as a Tool to Assess Body Fat,” *Journal of Obesity*, vol. 2013, Article ID 280713, 9 pages, 2013. doi:10.1155/2013/280713
- [21] HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun, 2001. ISBN 80-902896-1-4.
- [22] Pineau J-C, Filliard JR, Bocquet M. Ultrasound Techniques Applied to Body Fat Measurement in Male and Female Athletes. *Journal of Athletic Training*. 2009;44(2):142-147.
- [23] [online] [cit. 2017-12-30] Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Testy\\_normality](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Testy_normality)
- [24] JÍNOVÁ, A. Zjištění procenta tělesného tuku pomocí kaliperace u studentů navštěvujících výběrovou tělesnou výchovu na KTVS PF JU zaměřenou na volejbal, basketbal, florbal, gymnastiku, karate, sebeobranu a spinning, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice 2012, 69s.
- [25] [online] [cit. 2018-01-03] Dostupné z: <http://www.ceap.br/material/MAT17032011184632.pdf>

- [26] Pajunen P., Jousilahti P., Borodulin K., Harald K., Tuomilehto J., Salomaa V.: Body fat measured by a near-infrared interactance device as a predictor of cardiovascular events: the FINRISK'92 cohort. Diabetes Prevention Unit, Department of Chronic Disease Prevention, National Institute for Health and Welfare, Helsinki, Finland. 2010, 848-852.
- [27] [online] [cit. 2017-01-03] Dostupné z: <http://www2.gsu.edu/~wwwfit/bodycomp.html#Underwater%20Weighing>
- [28] [online] [cit. 2017-03-19] Dostupné z: [http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro\\_3.html](http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html)
- [29] PAŘÍZKOVÁ, Jana. Body fat and physical fitness. Body composition and lipid metabolism in different regimes of physical activity. Přeložil K. OŠANCOVÁ. The Hague: M. Nijhoff, 1977.
- [30] MALÁ, Lucia. Fitness assessment: body composition. Prague: Karolinum, 2014. ISBN 978-80-246-2560-7.
- [31] PAŘÍZKOVÁ, J. Složení těla, metody měření a využití ve výzkumu a lékařské praxi. Med. Sport. Boh. Slov, 1998.
- [32] REIGEROVÁ, J., PŘIDALOVÁ, M. ULBRICHOVÁ, M. Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu. 3. vyd. Olomouc: HAMEX, 2006. 262 s. ISBN 80-85683-52-5.
- [33] GINDE, S.R., GELIEBTER, A., RUBIANO, F. Air displacement plethysmography : Validation in overweight and obese subjects. Obesity research. 2005, č. 13, s. 1232-1237.
- [34] NEOVIUS, M., HEMMINGSSON, E., FREYSCHUSS, B., UDDÉN, J. Bioelectrical impedance underestimate total and truncal fatness in abdominally obese women. Obesity. 2006, vol. 14, no. 10, p. 1731-1738.
- [35] VILIKUS, Z. a kol., Tělovýchovné lékařství. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2004. 267 s. ISBN 80-246-0821-9.
- [36] JACKSON A S, POLLOCK, M (1985) Practical assessment of body composition. Physician Sport Med. 13: 76-90.
- [37] Durnin JVGA, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. Br J Nutrition. 1974; 32: 77-97.
- [38] [online] [cit. 2018-04-19] Dostupné z: [http://www.unit-conversion.info/othertools/category/Percent\\_Body\\_Fat#data](http://www.unit-conversion.info/othertools/category/Percent_Body_Fat#data)

- [39] Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. (1965). "An analysis of variance test for normality (complete samples)". *Biometrika*. 52 (3–4): 591–611.  
doi:10.1093/biomet/52.3-4.591. JSTOR 2333709. MR 0205384. p. 593
- [40] [online] [cit. 2018-04-24] Dostupné z:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Shapiro%E2%80%93Wilk\\_test#cite\\_note-Shapiro%E2%80%93Wilk-1](https://en.wikipedia.org/wiki/Shapiro%E2%80%93Wilk_test#cite_note-Shapiro%E2%80%93Wilk-1)
- [41] [online] [cit. 2018-04-25] Dostupné z:  
[https://www.statsdirect.com/help/parametric\\_methods/paired\\_t.htm](https://www.statsdirect.com/help/parametric_methods/paired_t.htm)
- [42] [online] [cit. 2018-05-18] Dostupné z:  
<http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinickyh-a-biologickyh-dat--biostatistika-pro-matematickou-biologii--zaklady-korelacni-analyzy--pearsonuv-korelacni-koeficient--vypocet-pearsonova-korelacniho-koeficientu>
- [43] [online] [cit. 2018-05-18] Dostupné z:  
<http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinickyh-a-biologickyh-dat--biostatistika-pro-matematickou-biologii--zaklady-korelacni-analyzy--spearmanuv-korelacni-koeficient>

### **Obrázky**

- [44] [online] [cit. 2018-01-03] Dostupné z:  
<https://cdn.shopify.com/s/files/1/0236/6861/products/BIOS104.jpg?v=378923563>
- [45] Accuracy of eight-polar bioelectrical impedance analysis for the assessment of total and appendicular body composition in peritoneal dialysis patients, *European Journal of Clinical Nutrition*, Nature Publishing Group, 2005, 0954-3007/05
- [46] What is Body Composition Analysis, 2004 Biospace Co., Ltd BSPR-PB10-01E-040425
- [47] [online] [cit. 2017-01-03] Dostupné z: <https://www.vahytukomery.cz/data/sharedfiles/2470/pFull-jpg/omron-bf508-2.jpg>
- [48] [online] [cit. 2017-01-03] Dostupné z: [http://hubnuti-podle-genu.cz/wp-content/uploads/2015/08/In-Body-MUDr.-Orl%C3%ADk-10\\_3\\_2015-1.bmp](http://hubnuti-podle-genu.cz/wp-content/uploads/2015/08/In-Body-MUDr.-Orl%C3%ADk-10_3_2015-1.bmp)
- [49] [online] [cit. 2017-04-12] Dostupné z: <http://www.unit-conversion.info/img/female-Durnin-Womersley.png>
- [50] [online] [cit. 2017-04-12] Dostupné z: <http://www.unit-conversion.info/img/male-4site-Jackson-Pollock.png>

# Seznam symbolů, veličin a zkratek

CHO	Sacharidy
BIA	Bioelektrická Impedanční Analýza
DSM BIA	Multifrekvenční Bioelektrická Impedanční Analýza
DEXA	Duální celotělová rentgenová absorpciometrie
MRI	Magnetická rezonance
BMI	Index tělesné hmotnosti
BF	Podkožní tuk

## Obsah přiloženého CD

Metody měření podkožního tuku.pdf – bakalářská práce

Zdrojové kódy programu – gui.m, gui.fig

Příloha 4. krabicove\_grafy\_zeny.jpg

Příloha 5. krabicove\_grafy\_muži.jpg