



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

TEPELNÝ KOMFORT A JEHO STANOVENÍ

THERMAL COMFORT AND ITS ESTIMATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MONIKA ŽÁKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MUDr. ZUZANA NOVÁKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Biomedicínské inženýrství a bioinformatika

Studentka: Bc. Monika Žáková

ID: 136496

Ročník: 2

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Tepelný komfort a jeho stanovení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Proveďte literární rešerši na problematiku termoregulace u člověka a jejího měření. 2) Dále pokračujte v seznámení se s problematikou tepelného komfortu u člověka a možnostmi jeho stanovení. 3) Seznamte se na spolupracujícím pracovišti (Textilní zkušební ústav) s metodikami sledování tepelného komfortu zde obvyklými (tj. pomocí figuríny), se všemi měřenými parametry a podmínkami měření. 4) Navrhněte protokol pro měření tepelného komfortu u člověka s ohledem na metodické vybavení pracoviště vedoucího práce (metoda nepřímé kalorimetrie). 5) Pod dohledem vedoucího práce proveďte měření na skupině zdravých dobrovolníků za vámi navržených podmínek. 6) V programovém prostředí MATLAB navrhněte a realizujte program pro zpracování takto získaných dat, včetně možnosti porovnání parametrů z obou metodik měření tepelného komfortu. 7) Proveďte diskusi získaných výsledků a vyhodnoťte přínos obou metodik pro získávání informací o tepelném komfortu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GANNONG WF. Přehled lékařské fyziologie. Praha, Galén 2005. ISBN-10: 80-7262-311-7.
[2] ZHANG P, GONG RH, TOKURA H. Effect of clothing material on thermoregulation responses. Text Res J, 2002, 72(1), pp.83-89.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 22.5.2015

Vedoucí práce: MUDr. Zuzana Nováková, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 shrnuje problematiku termoregulace u člověka a jejího měření se zaměřením na metodu nepřímé kalorimetrie v klidových podmínkách při rozdílných okolních teplotách a při fyzické zátěži. Dále seznamuje s problematikou tepelného komfortu u člověka a s metodikou jeho sledování pomocí tepelné figuríny. Popisuje PowerCube Ergo (Ganshorn, Německo) a Cardiovit AT-104 (Schiller, Švýcarsko), což jsou diagnostické přístroje, sloužící ke spiroergometrickému měření. Seznamuje s možnostmi exportu dat. Navrhuje protokol měření parametrů termoregulace pro menší skupinu dobrovolníků, podle kterého je realizována praktická část. Dle stejného protokolu je sledován tepelný komfort tepelného manekýna na spolupracujícím pracovišti. Pro získaná data je vytvořena aplikace v programovém prostředí MATLAB, umožňující přehlednou analýzu záznamů měření. V závěru jsou získaná data vyhodnocena a diskutována.

Klíčová slova

Termoregulace, tepelný komfort, nepřímá kalorimetrie, spirometrie, bicyklová ergometrie, tepelný manekýn, PowerCube Ergo, Cardiovit AT-104

Abstract

This paper summarizes the problems of human thermoregulation and its measurement, with a focus on the method of indirect calorimetry in resting conditions at different ambient temperatures and during physical activity. It also introduces the issue of human thermal comfort and the methodology of its monitoring using thermal manikin. It describes PowerCube Ergo (Ganshorn, Germany) and Cardiovit AT-104 (Schiller, Switzerland), the diagnostic devices used to spiro-ergometry measurements. It introduces the options to export data. The work proposes the protocol for measuring the thermoregulation of the small group of volunteers, which is realized by the practical part. According to the same protocol is monitored thermal comfort of the thermal manikin. In MATLAB is created the application, allowing clear analysis of measurement records. The data are evaluated and discussed.

Keywords

Thermoregulation, thermal comfort, indirect calorimetry, spirometry, bicycle ergometry, thermal manikin, PowerCube Ergo, Cardiovit AT-104

Bibliografická citace

ŽÁKOVÁ, M. *Tepelný komfort a jeho stanovení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 93 s. Vedoucí diplomové práce MUDr. Zuzana Nováková, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma *Tepelný komfort a jeho stanovení* vypracovala samostatně pod vedením vedoucí diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 22. května 2015

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji především vedoucí diplomové práce MUDr. Zuzaně Novákové, Ph.D., Ing. Petru Nasadilovi a doc. Ing. Janě Kolářové za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Dále bych chtěla velmi poděkovat mé rodině za veškerou podporu, kterou mi dávala po dobu studia.

V Brně dne 22. května 2015

.....
podpis autora

OBSAH

Úvod	8
1 Termoregulace u člověka a její měření	9
1.1 <i>Tělesná teplota</i>	9
1.1.1 Teplota slupky a teplota jádra.....	9
1.1.2 Tělesná teplota a její kolísání	10
1.1.3 Stavy vyvolané změnou tělesné teploty	11
1.2 <i>Tvorba tepla</i>	12
1.3 <i>Výdej tepla</i>	13
1.3.1 Radiace	13
1.3.2 Kondukce.....	13
1.3.3 Konvekce	13
1.3.4 Evaporace	14
1.4 <i>Regulace tělesné teploty</i>	14
1.4.1 Způsoby zvyšování tělesné teploty	15
1.4.2 Způsoby snižování tělesné teploty.....	15
2 Tepelný komfort u člověka a možnosti jeho stanovení	17
2.1 <i>Definice tepelného komfortu</i>	17
2.2 <i>Faktory tepelného komfortu</i>	17
2.2.1 Faktory prostředí	17
2.2.2 Faktory osobní	18
2.2.3 Faktory doplňující	19
2.3 <i>Kritéria tepelného komfortu</i>	19
2.4 <i>Legislativa pro hodnocení tepelného komfortu</i>	20
3 Sledování tepelného komfortu na spolupracujícím pracovišti	21
3.1 <i>Textilní zkušební ústav</i>	21
3.2 <i>Tepelný manekýn a jeho historie</i>	21
3.2.1 Tepelný manekýn "Karel"	22
3.2.2 Historie tepelných manekýnů	24
4 Sledování tepelného komfortu v metabolické laboratoři	26
4.1 <i>Metabolismus</i>	26
4.1.1 Energetická přeměna	27
4.1.2 Bazální metabolismus.....	27
4.1.3 Faktory ovlivňující metabolismus	28
4.1.4 Jednotky energie	28
4.1.5 Spalné teplo	29
4.1.6 Energetický ekvivalent	29

4.1.7	Respirační kvocient	30
4.2	Kalorimetrie přímá	30
4.2	Kalorimetrie nepřímá	30
5	Měření tepelného komfortu	32
5.1	Ukazatelé nepřímé kalorimetrie	32
5.2	Reakce na zátěž.....	33
6	Přístrojové vybavení.....	34
6.1	Kardio-Line spol. s r.o.....	34
6.2	PowerCube Ergo	34
6.3	Cardiovit AT-104 PC.....	35
6.4	Další součásti pracoviště.....	36
6.5	Práce s programem LF8 a SDS-104	37
6.6	Práce s výslednými daty	43
6.7	Možnosti exportu dat	47
7	Protokol měření	49
7.1	Studie "Vliv oděvních materiálů na termoregulační odpovědi"	49
7.2	Navržený protokol měření	51
8	Výsledky měření	55
8.1	Charakteristika dobrovolníků.....	55
8.2	Hodnocení subjektivních pocitů.....	57
8.3	Tepelný manekýn	59
8.4	Statistické vyhodnocení.....	60
8.4.1	Statistická analýza	60
8.4.2	Výsledky statistické analýzy	61
8.4.3	Shrnutí	68
9	Programovací část	69
9.1	Matlab.....	69
9.2	Hlavní funkce a uživatelské prostředí.....	69
9.3	Popis dílčích funkcí	74
10	Diskuze.....	80
11	Závěr	84
	Seznam zkratk a použitých symbolů.....	85
	Seznam obrázků.....	87
	Seznam tabulek.....	89
	Seznam literatury	90

Úvod

Snahou člověka je cítit se dobře, a to při jakýchkoliv činnostech. Zásadní vliv na dosažení této spokojenosti a na následný fyzický či psychický výkon člověka má právě tepelný komfort (tepelná pohoda) člověka. S rozvíjející se společností a neustále se vyvíjejícím technickým pokrokem se zvyšují nároky na zlepšení tepelného komfortu.

Téma „Tepelný komfort a jeho stanovení“ jsem si zvolila za svou diplomovou práci se snahou dané téma aktuálního moderního života přiblížit. Stanovování tepelného komfortu a jeho neustálá optimalizace je předmětem zájmu mnoha institucí a vědeckých oborů na celém světě. Se stoupajícím počtem oborů, kde se problematika tepelného komfortu uplatňuje, roste tlak na možnost nahradit testování na lidských subjektech testováním na modelech. Tato tendence se ovšem netýká pouze problematiky tepelného komfortu, ale všech sfér vývoje v rozmanitých oblastech techniky a průmyslu. Smyslem práce je odvozením určit v jakých případech a v jakém rozmezí je vhodné při stanovování tepelného komfortu nahradit lidský subjekt modelem, a naopak kdy už to vhodné není.

Cílem práce je seznámit se s problematikou termoregulace a tepelného komfortu u člověka, se zaměřením na její měření a stanovení. Je potřeba zmínit základní poznatky z fyziologie lidského těla, týkající se regulace tělesné teploty, dále si definovat tepelný komfort a popsat možnosti a metodiky jeho sledování na spolupracujícím pracovišti. Je třeba popsat základní pojmy a parametry při měření metodou nepřímé kalorimetrie. Následuje popis diagnostických přístrojů PowerCube Ergo a Cardiovit AT-104 s uvedením možností exportu dat a práce s nimi. V práci jsou navrženy protokoly pro měření základních diagnostických parametrů termoregulace a provedením jednotlivých měření na dobrovolnících jsou získána data pro zpracování. Zároveň je dle stejných protokolů sledován tepelný komfort tepelného manekýna na spolupracujícím pracovišti. Je vytvořena aplikace v programovém prostředí MATLAB, umožňující přehlednou analýzu jednotlivých záznamů měření. Získaná data jsou pomocí aplikace vyhodnocena a diskutována.

1 Termoregulace u člověka a její měření

Regulační děje jsou velmi podstatnou složkou uspořádání životních pochodů. Jejich úlohou je zajišťování homeostázy vnitřního prostředí. Můžeme je nalézt ve všech stupních hierarchie funkčních struktur organismu, a to od buněčného metabolismu až po systémy centrální nervové soustavy.

Termoregulace je schopnost organismu udržovat optimální stálou tělesnou teplotu. Obecně rozlišujeme organismy *homoiotermní* (teplokrevné, vyšší živočichové) - se schopností udržovat stálou tělesnou teplotu a *poikilotermní* (studenokrevné, nižší živočichové) - jejichž teplota se mění dle teploty zevního prostředí. Člověk patří mezi organismy homoiotermní [1][2].

V této kapitole bude pojednáno o souvislostech mezi tepelnou výměnou lidského organismu s okolním prostředím a o možnostech termoregulace, jež vedou k dosažení tepelného komfortu. Faktory tepelného komfortu budou popsány níže.

1.1 Tělesná teplota

Všechny metabolické a biochemické pochody v organismu závisí na teplotě těla. Jakékoliv zvýšení, nebo snížení teploty je následováno zrychlením, nebo zpomalením příslušného metabolického pochodu. Jinak řečeno, mezi vnitřkem organismu, povrchem těla a zevním prostředím existuje určitá teplotní souvislost [1].

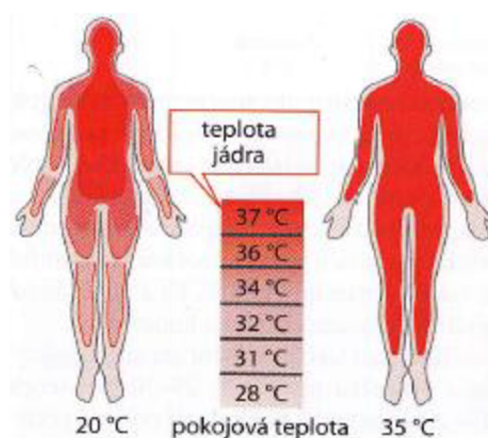
1.1.1 Teplota slupky a teplota jádra

Hodnota tělesné teploty bezpochyby patří mezi základní diagnostické údaje. Při měření tělesné teploty u zdravého dospělého člověka v podpaží (axile), budeme rozlišovat teplotu subnormální pod 36 °C, teplotu normální, která kolísá mezi 36,0 - 37,0 °C, teplotu subfebrilní mezi 37,0 - 38,0 °C, horečku nad 38,0 °C, hyperpyrexii v rozmezí 40,0 - 41,0 °C [1]. Shrnutí je v tabulce 1.

Tabulka 1: Tělesná teplota [1]

<i>Tělesná teplota (stav)</i>	<i>Hodnota tělesné teploty [°C]</i>
subnormální	pod 36 °C
normální	36,0 - 37,0 °C
subfebrilní	37,0 - 38,0 °C
horečka	38,0 - 40,0 °C
hyperpyrexie	nad 40,0 °C

Takto naměřená hodnota tělesné teploty je závislá na aktivitě, stavu organismu (např. hmotnost, aktuální zdravotní stav), teplotě a vlhkosti zevního prostředí, proudění vzduchu v okolí a na oblečení měřené osoby. Označuje se jako *teplota slupky*. Slupka jsou části těla, jež se částečně mění vlivem okolí - horní a dolní končetiny, hlava, povrch těla. Oproti tomu relativně konstantní teplotu, jež nezáleží na okolní teplotě, označujeme jako *teplotu jádra* (Obr. 1). Jedná se o teplotu v hrudní a břišní dutině. Ta je zajišťována jako vnitřní termoregulace nervovou soustavou. Není ovlivnitelná vůlí. Je udržována v relativně stálém rozmezí pomocí izolace, kterou zajišťuje kůže, podkožní vazivo a tuková vrstva. Její hodnota v játrech, kde ji ovšem nemůžeme sledovat běžným zevním měřením, je v rozmezí 39,0 - 40,0 °C. Teplotě jádra nejvíce odpovídá rektální teplota, která je fyziologicky o 0,5 °C vyšší než v podpaží. Teplota měřená pod jazykem je dalším způsobem získání hodnoty tělesné teploty a je taktéž vyšší, a to o 0,2 - 0,3 °C [1][2].

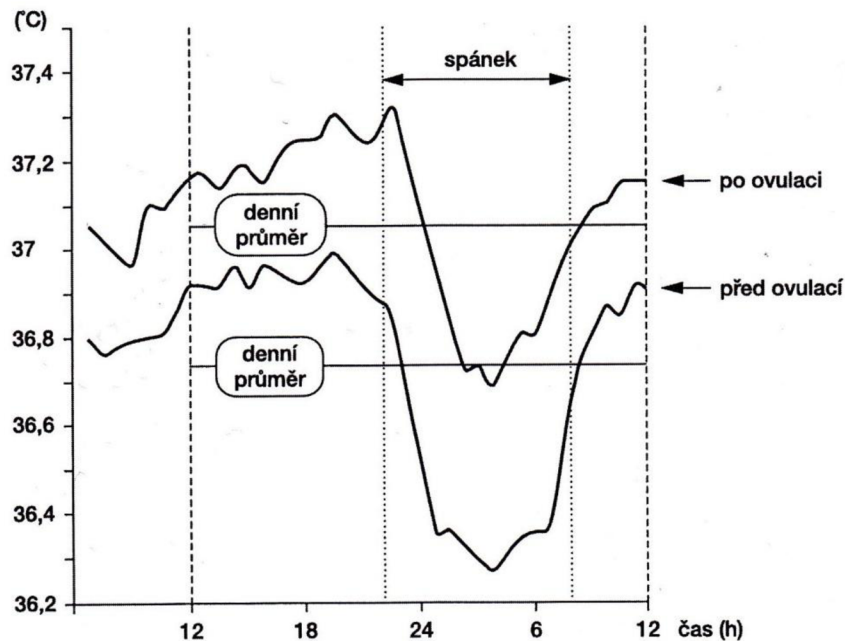


Obrázek 1: Teplota jádra a slupky u neoblečeného člověka [4]

1.1.2 Tělesná teplota a její kolísání

Kromě výše zmíněných rozdílů mezi současně měřenými teplotami na různých místech organismu existují i teplotní rozdíly v souvislosti s jinými faktory.

Příkladem je *denní rytmus*. Nejnižší hodnotu tělesné teploty ve stavu klidu naměříme ve spánku, mezi 4. - 6. hodinou ranní, kdy se zpomalují veškeré metabolické procesy. Nejvyšší klidovou teplotu naměříme mezi 16. - 18. hodinou večerní (Obr. 2) [1][2].



Obrázek 2: Změny tělesné teploty během dne [1]

Dalším faktorem je *aktivita organismu*. Se zvyšující se aktivitou se úměrně zvyšují metabolické pochody, což má za důsledek zvyšování tvorby tepla. Například fyzická aktivita, mentální aktivita, či přijímání potravy [2].

Teplotní rozdíly vznikají i v důsledku *sekrece hormonů*. Tyroxin, jež je produkován ve folikulárních buňkách štítné žlázy, působí pozitivně na bazální metabolismus, zvyšuje tkáňovou spotřebu kyslíku, ovlivňuje látkovou přeměnu živin a zvyšuje účinek jiných hormonů. V důsledku zvyšuje tělesnou teplotu, má pomalý nástup, ale působí dlouhodobě (adaptace). Hormony se stimulační funkcí působí okamžitě (zvyšují buněčný metabolismus). Příkladem jsou stresové hormony adrenalin a noradrenalin. Tělesnou teplotu také zvyšuje růstový hormon, či mužský pohlavní hormon testosteron. Progesteron, jež je produkován vaječníky při ovulaci, zvyšuje u žen teplotu o 0,5 °C. Tato teplotní změna je sledována v měsíčním cyklu [2][3].

1.1.3 Stavy vyvolané změnou tělesné teploty

Rozdělení různých druhů teplot s příslušnými hodnotami naměřenými v axile jsme provedli výše. Pro úplnost rozvedeme konkrétní stavy, do kterých se člověk z různých příčin dostává.

Hypotermie, nebo-li podchlazení, je stav, kdy výdej tepla převažuje nad jeho tvorbou a teplota jádra klesá pod 35 °C. Organismus reaguje třesem, vazokonstrikcí, zvýšením tepové frekvence apod. Klesne-li teplota pod 32 °C, metabolismus a fyziologické děje začnou zpomalovat, při 30 °C nastává bezvědomí. K vážnému ohrožení na životě (až smrti) dochází při poklesu teploty tělesného jádra pod 30 °C. Hypotermie je v určitých omezených

hodnotách cíleně vyvolávána při některých chirurgických zákrocích, při nichž jsou žádoucí snížené metabolické pochody (např. operace srdce a mozku) [2][3].

Hypertermie, nebo-li přehřátí, je stav, kdy naopak tvorba tepla převažuje nad jeho výdejem. Může vzniknout při nadměrné zátěži organismu při selhání termoregulace. Pokud tento stav není řešen a přetrvává, může vést i k poškození mozku a ke smrti [2][3].

Horečka je stav, kdy na organismus působí vnitřní (endogenní) pyrogeny vyvolané toxickými látkami, které pronikly do organismu při infekci apod. Pyrogeny způsobí, že regulační centrum v hypotalamu považuje optimální teplotu jádra za příliš nízkou a sepne mechanismy (viz níže), které teplotu jádra zvýší. Horečka je provázena pocitem chladu, třesem (zimnicí), vazokonstrikcí a následně při útlumu pocitem horka, vazodilatací a pocením. Vysoká dlouhodobě trvající horečka může způsobit dehydrataci, nedostatek energetických zdrojů, dokonce i denaturaci bílkovin, a tím ohrozit život [2][3].

1.2 Tvorba tepla

Organismus usiluje o stabilní tělesnou teplotu. Děje se tak tvorbou a výdejem tepla. Pokud nastane větší výdej tepla než jeho tvorba, dochází ke snižování tělesné teploty, a naopak.

Samotnou produkci tepla (termogenezi) v největší míře zajišťuje *jádro*, tedy aktivní vnitřní orgány, konkrétně velmi aktivní jaterní metabolismus [1][2][3].

Dále se ve velké míře na produkci tepla podílí *kosterní svalovina*. Svalová aktivita v reakci na chlad výrazně zvyšuje úroveň metabolismu a tím produkci tepla. Centrem je hypotalamus. Nejprve dojde ke zvýšení svalového tonu, které následně vede ke chladovému třesu, kdy se kosterní svaly kontrahují v malém rozsahu s vysokou frekvencí. Tímto způsobem, kdy člověk nekoná žádnou práci, můžeme dosáhnout až pětinasobného zvýšení tvorby tepla během několika minut. Tepelnou produkci zajišťuje i vědomá tělesná aktivita, kdy svaly vykonávají práci [1][2][3].

Další teplo může vznikat jako vedlejší produkt metabolických dějů, jedná se o *termogenezi chemickou*, řízenou účinkem metabolických hormonů (viz výše) a sympatikem [1][2][3].

Velmi specifický je tepelný zdroj *u kojenců*. Přestože nemají termoregulaci ještě plně vyvinutou (nemožnost chladového třesu, větší povrch těla oproti jeho hmotnosti, malá tuková vrstva), jsou schopni vytvářet značné teplo metabolicky aktivním zvláštním typem tukové tkáně umístěným mezi lopatkami, tzv. hnědým tukem [1][2][3].

1.3 Výdej tepla

Výdej tepla je realizován skrz slupku, tedy povrch těla - kůže a sliznice. Je nezbytné zajistit tepelný přenos z jádra ke slupce (tzv. tkáňové vedení). Tento přenos zajišťuje proudění krve (stěžejní je cirkulace kapilárami a venózními pleteněmi). Vliv na výměnu tepla mezi jádrem a slupkou má míra prokrvení kůže, velikost povrchu kůže a rozdíl mezi teplotou jádra a teplotou slupky. Řízení zajišťuje sympatikus [1][2][3].

Ztráty tepla úzce souvisí s okolními podmínkami, ve kterých se daný organismus nachází. Těmito podmínkami jsou teplota a vlhkost okolí, proudění a sálání, izolace organismu (oblečení, srst, peří), apod. [1][2][3].

Samotný výdej tepla do okolního prostředí probíhá několika způsoby popsanými níže, pro grafickou prezentaci slouží Obr. 3.

1.3.1 Radiace

Radiace (sálání) - organismy, ale i všechny okolní předměty, neustále vyzařují teplo formou elektromagnetického vlnění (infračervené paprsky emitované do všech směrů). Míra vyzařování je dána teplotou okolí. Čím je teplota okolí nižší, tím větší teplo je radiací organismem vydáváno. Teplo může být radiací analogicky přijímáno, jestliže je teplota okolních předmětů vyšší. Z celkového výdeje tepla má podíl 60 % [1][2][3].

1.3.2 Kondukce

Kondukcce (vedení) - je přenos tepla mezi organismem a okolními předměty o jiné teplotě, s nimiž je organismus v přímém kontaktu (vzduch, židle, podlaha, atd.). Tento způsob výdeje tepla má malou účinnost, jelikož po vyrovnání teplot dojde k ukončení kondukcce. Vzduch zde figuruje jako slabý tepelný vodič. Opakem je voda, kdy jsou tepelné ztráty kondukcí značné. Z celkového výdeje tepla má podíl 3 % [1][2][3].

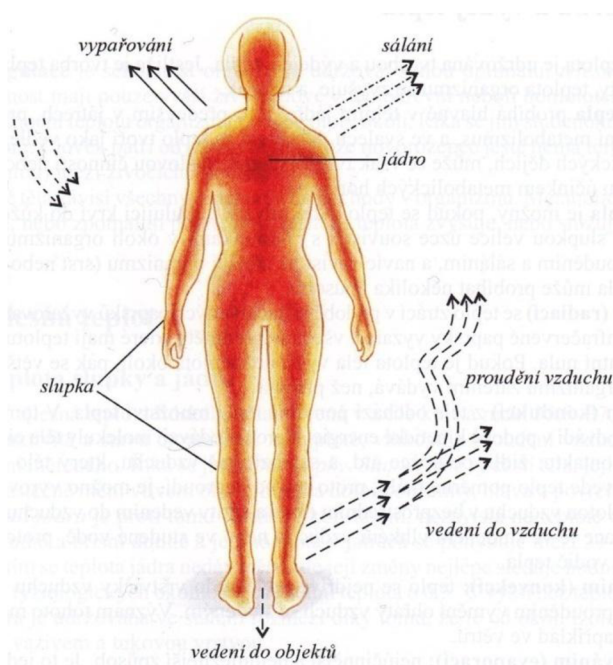
1.3.3 Konvekce

Konvekce (proudění) - je často spojována s kondukcí. Teplo je odvedené do vrstvy vzduchu nejbližší organismu a poté je takto ohřátý vzduch konvekcí vyměněn za vzduch studený, který je opět vedením tepla z organismu ohříván. Děje se tak samovolně - teplý vzduch je lehčí a stoupá, či s pomocí ve formě rozpohybovaného vzduchu - vítr, ventilátor. Ztráty tepla konvekcí a kondukcí závisí na rozdílu teplot mezi slupkou organismu a okolním prostředím a na izolačních vlastnostech organismu. Z celkového výdeje tepla má podíl 15 % [1][2][3].

1.3.4 Evaporace

Evaporace (odpařování) - je jediný způsob výdeje tepla do okolního prostředí v případě, že je teplota okolí vyšší než teplota organismu. Pot vyloučený kůží při své přeměně na jiné skupenství - páru - odebírá povrchu organismu určitou část tepla. Evaporace je silně závislá na relativní vlhkosti okolního vzduchu. Při zvyšující se vlhkosti klesá schopnost organismu zbavovat se tepla pomocí odpařování. Při tomto způsobu regulace teploty je třeba myslet na s ním související ztrátu vody, solí a jiných látek. Existuje také jistý způsob přenosu tepla odpařováním, který ale již nefiguruje v rámci regulace tělesné teploty a taktéž na ní nezávisí. Jde o *perspiration insensibilis*, kdy se neustále odpařuje tekutina z povrchu sliznic a z plic (přibližně 600 ml/den). Z celkového výdeje tepla má podíl 22 % [1][2][3].

V malé míře dochází ke ztrátám tepla při vylučování moči a stolice (3 %).



Obrázek 3: Výdej tepla [4]

1.4 Regulace tělesné teploty

V normálním stavu organismu se výše zmíněná tvorba a výdej tepla nachází ve vzájemné rovnováze a udržují pro organismus optimální normální tělesnou teplotu (36,0 - 37,0 °C). Jakmile dojde k překročení daných hranic, aktivuje se termoregulační mechanismus, který funguje na principu zpětné vazby. Jeho centrum je v hypotalamu [1][2].

Funkčnost zpětnovazebního systému při regulaci tělesné teploty zajišťuje existence dvou druhů detektorů tepla, tzv. *termoreceptorů* (termosenzorů).

Vnitřní termoreceptory - centrální v samotném hypotalamu a periferní hluboké nacházející se v hlubokých strukturách těla, např. v míše, kolem velkých cév, na zadní stěně břišní dutiny. Ve své podstatě jde o neurony citlivé na teplo (jejich zakončení).

Vnější termoreceptory - periferní povrchové tepelné a chladové senzory v kůži. Jelikož chladové senzory převažují, lidský organismus je citlivý více na vnímání chladu, než na vnímání tepla [1][2].

Termoreceptory ("čidla") registrují výkyvy tělesné teploty a posílají tuto informaci ke zpracování do centra termoregulace v hypotalamu ("termostat"). Následuje spuštění příslušného termoregulačního mechanismu, nebo-li vyslání signálů k odpovídajícím regulačním strukturám, které zvyšují, nebo naopak snižují tělesnou teplotu. Blokované schéma termoregulace je na Obr. 4 níže [1][2].

1.4.1 Způsoby zvyšování tělesné teploty

Zvýšit tělesnou teplotu lze buď zvýšením tvorby tepla, nebo snížením výdeje tepla. Dříve již zmíněné regulace, jako jsou svalová aktivita a chemická termogeneze (působení hormonů), zvyšují produkci tepla. Nejúčinnějším způsobem je *behaviorální termoregulace* (regulace týkající se chování). Zamezení výdeje tepla pomůžeme vhodným oděvem, ukryváním se před větrem, redukcí povrchu těla (schoulením), apod. Tepelné ztráty významně snižuje také *vazokonstrikce cév*. Po stažení cév dojde k omezení transportu tepla z jádra ke slupce. Podstatný způsob udržování tělesné teploty u zvířat je tzv. *piloerectio* ("husí kůže"), či *horipilace*. Principem je vytvoření izolační vrstvy mezi srstí, nebo mezi peřím. U člověka je tento způsob regulace vcelku bezvýznamný, nahrazuje jej vrstvením oděvů [1][2].

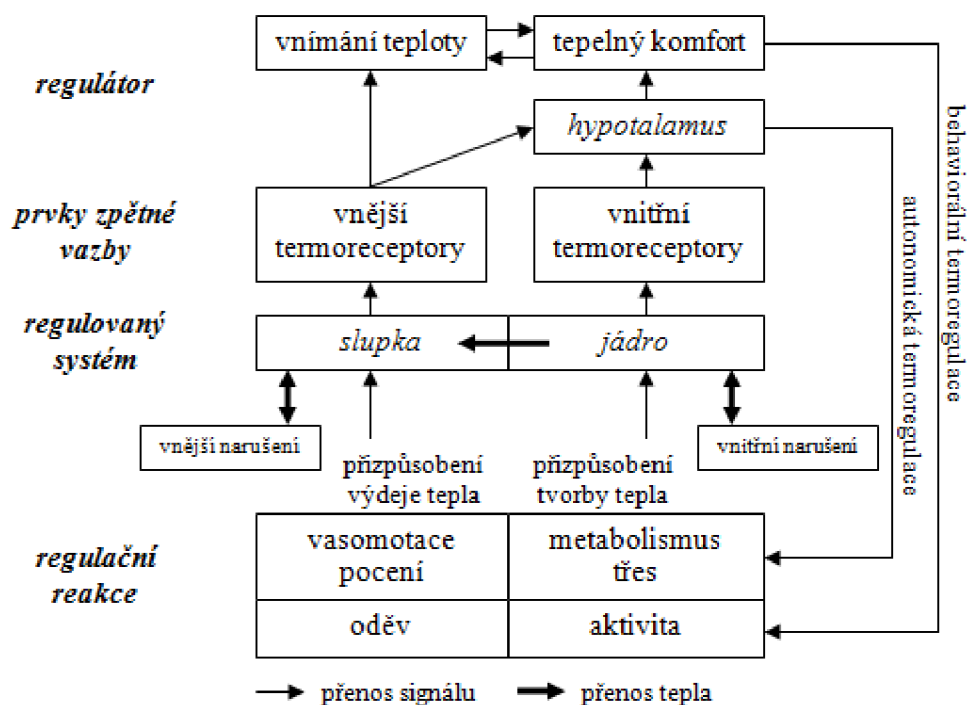
1.4.2 Způsoby snižování tělesné teploty

Naopak snížit tělesnou teplotu lze buď snížením tvorby tepla, nebo zvýšením výdeje tepla. Snížené produkce tepla můžeme dosáhnout snížením metabolismu, např. omezením tělesné aktivity nebo omezením sekrece štítných hormonů. Výdej tepla můžeme podpořit vhodným lehkým oděvem. Tepelné ztráty zvyšuje *vazodilatace cév*, které po svém roztažení zvýší transport tepla z jádra ke slupce. *Pocení* se také ve velké míře podílí na zvýšení tepelných ztrát. Rozlišujeme tzv. pocení suché, které není viditelné (obvyklý pot a dýchání) a pocení mokré, které je intenzivní a viditelné. Zvířata mohou zvyšovat výdej tepla intenzivním dýcháním [1][2].

Pro přehlednost jsou způsoby regulace tělesné teploty sepsány do tabulky 2:

Tabulka 2: Regulace tělesné teploty (upraveno dle [1][3])

<i>Podnět</i>	<i>Regulace</i>	<i>Mechanismus</i>
chlad	zvýšení tvorby tepla	zvýšení svalového tonu
		svalový třes
		zvýšení tělesné aktivity
		chemická termogeneze
	popř. zvýšená chuť k jídlu	
	snížení výdeje tepla	behaviorální termoregulace
		vazokonstrikce cév
teplo	snížení tvorby tepla	snížení svalového tonu
		snížení tělesné aktivity
		snížení sekrece hormonů
		popř. snížená chuť k jídlu
	zvýšení výdeje tepla	behaviorální termoregulace
		vazodilatace cév
		pocení
		popř. zvýšení intenzity dýchání



Obrázek 4: Blokový diagram termoregulace (upraveno dle [5] - Hensen, 1991)

2 Tepelný komfort u člověka a možnosti jeho stanovení

Při působení různých faktorů na organismus člověka je klíčové, aby byl pokud možno v co největší tepelné pohodě, tedy pociťoval tzv. *tepelný komfort*. S tím, jak lidský organismus reaguje na okolní prostředí fyzicky a psychicky, velmi úzce souvisí právě problematika tepelného komfortu. V poslední době se stále častěji dostává do popředí zájmu, jelikož může limitovat produktivitu lidí.

Tepelný komfort posuzujeme jak u oblečení, tak také u prostředí, v interiérech budov, či uvnitř kabin automobilů.

V této kapitole se budeme věnovat faktorům tepelného komfortu a okrajově se zmíníme o příslušných normách.

2.1 Definice tepelného komfortu

Tepelný komfort, nebo-li tepelná pohoda, je dosažení takových tepelných poměrů, kdy se člověk cítí příjemně, není mu ani chladno, ani příliš teplo. Dle ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) je to určitý myšlenkový stav, který vyjadřuje jakousi spokojenost s teplotním prostředím. Jeho hodnocení může probíhat na základě měření fyziologických změn, nebo na základě dotazování (subjektivní škály) [6][7].

2.2 Faktory tepelného komfortu

Faktory ovlivňující tepelnou pohodu se rozdělují na faktory prostředí a faktory osobní, popřípadě faktory doplňující [7][8].

2.2.1 Faktory prostředí

Mezi faktory prostředí (objektivní), jejichž znalost a měření je důležité pro hodnocení, patří následující:

Teplota vzduchu t_a [$^{\circ}\text{C}$]

Jedná se o teplotu vzduchu v interiéru neovlivněnou sáláním tepla z okolních předmětů, čidlo by tudíž mělo být chráněno před tímto vlivem [7][8].

Rychlost proudění vzduchu v_a [m/s]

Jde o efektivní rychlost vzduchu určenou svojí velikostí a směrem. Rozumíme tím velikost vektoru rychlosti v místě měření dle ČSN ISO 7726 [7][8].

Relativní vlhkost vzduchu RH [%]

Z různých vyjádření vlhkosti je pro nás významná relativní vlhkost vzduchu, která udává míru nasycení suchého vzduchu vodní parou (poměr obsahu vodní páry k maximu, jež může vzduch při dané teplotě dosáhnout). Hodnoty vlhkosti by se měly pohybovat v rozmezí 30 - 70 % [7][8].

Střední radiační teplota t_r [°C]

Je myšlená rovnoměrná společná teplota všech ploch v prostoru, při níž by bylo vysálané teplo z těla stejné jako ve skutečném nerovnoměrném prostoru dle ČSN ISO 7726 [7][8].

2.2.2 Faktory osobní

Faktory osobní (subjektivní) jsou závislé na tom daném člověku. Jsou to:

Hodnota metabolismu [W/m², MET]

Metabolismus a jeho vliv na tepelný komfort bude podrobněji probrán v kapitole 4.1.

Tepelný odpor oděvu R_{cl} [m².K/W, clo]

Vlastnosti oděvu významně ovlivňují přenos tepla. Za nejdůležitější vlastnost můžeme považovat tepelný odpor oděvu. Dalšími vlastnostmi jsou prodyšnost vzduchu, prodyšnost vodních par, typ materiálu, odolnost proti průniku vody, odpuzování a vedení potu atd. Tepelný odpor oděvu vychází z vrstvení materiálu a ze vzduchových vrstev mezi nimi. Pro účely oděvních firem byla zavedena jednotka I_{cl} , kdy hodnota $I_{cl} = 1 \text{ clo}$ je převedena z $R_{cl} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ a přibližně odpovídá zimnímu oděvu. Kontrastní hodnota $I_{cl} = 0 \text{ clo}$ odpovídá člověku nahému. V případě kombinací oblečení je hodnota clo rovna 0,82 násobku součtu jednotlivých částí oděvu. Hodnoty tepelných odporů pro určité druhy oděvů jsou uvedeny v následující tabulce 3 [6][7][8].

Tabulka 3: Tepelný odpor vybraných druhů oděvů dle ČSN EN ISO 7730 (převzato od ASHRAE) [7]

<i>Oděv</i>	<i>I_{cl} [clo]</i>
slipy	0,03
kalhotky a podprsenka	0,03
tričko s krátkým rukávem	0,08
tričko s dlouhým rukávem	0,34
kalhoty normální	0,24
svetr	0,36
sako	0,48
ponožky	0,02

2.2.3 Faktory doplňující

Dalšími faktory, které charakterizují člověka ve vztahu k teplu, ale v běžné praxi se s nimi neuvažuje, jsou např.: *tělesná postava, podkožní tuk, věk a pohlaví*, atd. [7][8].

2.3 Kritéria tepelného komfortu

Tepelný komfort můžeme posuzovat dle řady kritérií. Nejčastěji se používá operativní a efektivní teplota, index PMV a PPD. V této kapitole si je přiblížíme.

Operativní teplota t_o [$^{\circ}\text{C}$]

Operativní teplota je dle ČSN EN ISO 7730 definována jako jednotná teplota černého uzavřeného prostoru, ve kterém by tělo sdílelo radiací i konvekcí stejné množství tepla, jako ve skutečném, teplotně nesourodém prostředí [9].

Efektivní teplota t_{ef} [$^{\circ}\text{C}$]

Vyjadřuje vzájemné působení teploty a vlhkosti na člověka. Je definována jako teplota vnitřního prostředí s relativní vlhkostí 50 %, která vyvolává stejné tepelné ztráty jako skutečné prostředí. Závisí na osobních faktorech, tedy na aktivitě metabolismu a tepelnému odporu oděvu [8].

Index PMV

PMV, předpokládaná průměrná volba (Predicted Mean Vote), předpovídá střední tepelný pocit skupiny osob a určuje se na základě ASHRAE sedmibodového měřítko tepelné pohody (viz tabulka 4). Index je definován jako funkce rozdílu tepelného výdeje a aktuálního toku tepla, které je tělu odnímáno okolím při daných parametrech okolí. PVM index byl sestaven na základě testů s živými dobrovolníky a publikován P. O. Fangerem již v roce 1970. V této části porovnáme i druhou nejpoužívanější stupnici po ASHRAE, a to stupnici zkonstruovanou Bedfordem. Každý vnímá teplo a chladno jinak, respektive každý má jiné vnímání tepelného komfortu. Pocitovému hodnocení tepelného komfortu více odpovídá právě Bedfordova stupnice, zatímco stupnice ASHRAE hodnotí, jak je člověk spokojený. Na základě rozdílného vnímání nemusí být všichni ve stejném prostředí stejně spokojeni. Rovněž neutrální vnímání neznamená nutně dosažení tepelného komfortu [6][8][9][10].

Tabulka 4: Vyjádření tepelného pocitu dle indexu PMV (upraveno dle [10])

<i>PMV</i>	<i>ASHRAE</i>	<i>Bedford</i>
3	horko	velmi teplo
2	teplo	teplo
1	mírně teplo	příjemně teplo
0	neutrálně	příjemně
-1	mírně chladno	příjemně chladno
-2	chladno	chladno
-3	zima	velmi chladno

Index PPD

PPD, předpokládané procento nespokojených (Predicted Percentage of Dissatisfied), je procentuální podíl lidí, kteří pociťují tepelný diskomfort, tedy jsou nespokojeni. Stanovuje se na základě indexu PMV [8].

Poznámka: Veličiny a parametry, které budou použity v praktické části, budou podrobněji popsány v příslušné kapitole.

2.4 Legislativa pro hodnocení tepelného komfortu

Problematice tepelného komfortu se věnuje celá řada norem. Jak bylo uvedeno výše, tepelný komfort posuzujeme vzhledem k oblečení, k okolnímu prostředí, k mikroklima interiérů budov, či k vnitřnímu prostředí kabin automobilů. Popis těchto norem by pro naši práci byl nad rámec přínosnosti. Proto si v této kapitole přiblížíme pouze jednu normu, která se bude týkat přímo našeho měření.

ČSN EN ISO15831:2004

Předmětem této mezinárodní normy (se statusem české technické normy) jsou požadavky na tepelnou figurínu a metodu zkoušení používanou pro měření tepelné izolace a fyziologického účinku oděvu na uživatele v konkrétním prostředí či při specifické činnosti. Norma definuje základní pojmy (např. tepelná izolace oděvu), popisuje princip měření a specifikuje parametry tepelného manekýna, klimatizační komory s regulací a zkoušeného oblečení (kapitola 3.2.1 níže). Dále popisuje postup samotné zkoušky a určuje, jakým způsobem se vypočítá výsledek zkoušky [11]. Konkrétní informace jsou popsány v následující kapitole.

3 Sledování tepelného komfortu na spolupracujícím pracovišti

3.1 Textilní zkušební ústav

V rámci předmětu Odborná praxe jsem měla možnost navštěvovat státní podnik Textilní zkušební ústav, seznámit se s jeho činností a následně jsem zde realizovala část měření diplomové práce.

Spolupracující pracoviště, Textilní zkušební ústav, s. p. (dále jen TZÚ), sídlící v Brně, zaujímá v současnosti přední místo v oboru zkušebnictví a certifikace. Historie textilního zkušebnictví sahá u nás až do roku 1927, kdy byl v Liberci otevřen Výzkumný ústav textilní. Rozmanitý vývoj (předměty činností, změny názvů, vznik dalších oborových ústavů) vedl až k roku 1993, kdy vzniká samotný Textilní zkušební ústav v Brně. Působí jako akreditovaná zkušební laboratoř, mimo jiné zajišťuje zkoušky mnoha druhů textilií a výrobků. Testuje jejich vlastnosti, bezpečnost, odolnost, hořlavost atd. Dále zajišťuje kalibrace přístrojů a zařízení. Součástí pracoviště je i mikrobiologická laboratoř, testující hygienické vlastnosti. TZÚ figuruje jako soudně znalecký ústav. Rovněž se podílí na výzkumu, aplikaci nanočástic a nanovrstev [12][13].

3.2 Tepelný manekýn a jeho historie

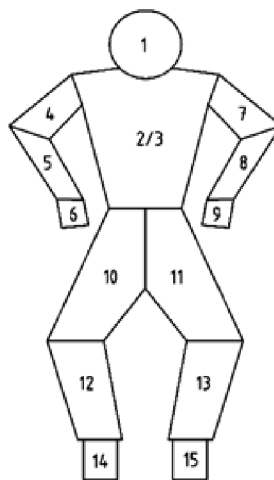
Sledování tepelného komfortu můžeme provádět různými způsoby. Jelikož měření na živých dobrovolnících by mohlo být mnohdy neefektivní a nemuselo by přinášet spolehlivý výsledek, používá se mnohem přesnější metoda, kdy využíváme tepelného manekýna (Obr. 5). S použitím tepelného manekýna jménem "Karel" proběhne část praktického měření.



Obrázek 5: Tepelný manekýn "Karel" - oblečený do zkušebního oděvu [15]

3.2.1 Tepelný manekýn "Karel"

Tepelný manekýn je model lidského těla s přibližným zachováním rozměrů průměrného člověka, který umožňuje simulovat tepelné reakce lidského organismu. Kovový manekýn, s nímž budeme pracovat, se skládá z makety hlavy, hrudníku, břicha, zad, horních končetin s nataženými prsty a dolních končetin. Je rozdělen na 15 zón (Obr. 6). V každé zóně je nezávisle ovládané elektrické topné těleso s možností měření tepelného toku fungující rovněž jako odporový teploměr. Povrchová teplota je elektrickým vyhříváním udržována na určité konstantní teplotě. Teplo se z jeho povrchu přenáší do okolního prostředí způsobem, uvedenými v kapitole 1.3 (převážně radiace a konvekce, evaporace je nulová). Z dodaného příkonu (respektive tepelného toku) v každé zóně se poté vyvozují závěry ohledně výdeje tepla [15].



Obrázek 6: Tepelný manekýn - schématické uspořádání zón [15]

Jedná se o model vícesegmentový, statický. Je možné jej napojit na pohybový systém a simulovat chůzi.

Tepelný manekýn "Karel" je používán ke zkoušení oděvů a jejich fyziologických účinků. Metodika se nazývá 'Měření tepelné izolace pomocí tepelné figuríny' a zkušební metoda je ČSN EN ISO 15831:2004. Technické specifikace při této zkoušce jsou uvedeny v tabulce 5 [15]:

Tabulka 5: Technické specifikace při měření tepelné izolace (upraveno dle [15])

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>
relativní vlhkost okolí	$(65 \pm 4) \%$
teplota okolí	$(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$
plocha povrchu manekýna	1,77 m ²
výška postavy manekýna	1,75 m
hmotnost manekýna	48 kg
teplota manekýna	$(34 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$
proudění vzduchu	$(0,4 \pm 0,05) \text{ m/s}$

Oděv musí figuríně "padnout". Při zkoušení je stejný oděv testován třikrát vždy v intervalu 24 hodin. Jedná se o dvoudílnou soupravu spodního zimního oblečení ($R_{cl} = 0,048 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), dvoudílnou pracovní soupravu ($R_{cl} = 0,037 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) a dvoudílnou zimní pracovní soupravu, které jsou testovány [15][16].

V případě dynamického modelu simulujícího chůzi se pohybují horní končetiny v ramenou a dolní končetiny v kyčlích a kolenou. Manekýn vykonává dvoj pohyb horních končetin s frekvencí $(45 \pm 2)/\text{min}$ s rozsahem pohybu $(53 \pm 10) \text{ cm}$ a dvojkrok dolních končetin s totožnou frekvencí $(45 \pm 2)/\text{min}$ s rozsahem pohybu $(63 \pm 10) \text{ cm}$.

Na Obr. 7 je ukázka výstupu dat, která byla získána při měření vlastností spacího pytle u manekýna "Karla" (vedle oděvů jsou v TZÚ nejvíce testovány spací pytle). Čarou je oddělen celkový výsledek ze všech měření a hodnoty prvního měření z celkových tří jednotlivých měření. Dostáváme $R_{cl} [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$ oděvu (popř. spacího pytle), směrodatnou odchylku všech měření, dále extrémní, limitní a komfortní teplotu [$^\circ\text{C}$], teplotu na níž je manekýn zahříván a teplotu jeho okolí [$^\circ\text{C}$], celkový příkon [W] a celkový tepelný tok [W/m^2]. Hodnotu teploty, příkonu a tepelného toku získáme taktéž pro každou zónu 1 až 15 [15].

METODA 1															
Pocet mereni:	3														
Rc:	0,939 m ² K/W														
Smerodatna odchylka:	0,045														
Extremni teplota:	-18,40 °C														
Limitni teplota:	-2,30 °C														
Komfortni teplota:	3,10 °C														
Metoda 1															
Datum:	01.01.2014 11:00:00														
Pozn.:															
Rc:	0,925 m ² K/W														
Extremni teplota:	-17,60 °C														
Limitni teplota:	-1,70 °C														
Komfortni teplota:	3,60 °C														
Teplota figuriny:	38,00 °C														
Teplota okoli:	21,59 °C														
Celkovy prikon:	46,36 W														
Tepelny tok celkem:	26,22 W/m ²														
Lokalni hodnoty:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Teploty [°C]:	38,04	38,04	38,09	38	38,21	38,15	38,08	38,19	38,14	37,84	37,77	38,02	38,02	38,08	38,09
Prikon [W]:	3,75	4,44	4,49	3,55	0,89	1,59	2,34	1,15	1,69	4,88	4,75	4,45	4,15	2,22	2,01
Tepelny tok [W/m ²]:	37,50	14,87	18,05	44,37	14,91	53,09	29,22	19,15	56,26	23,23	22,61	31,77	29,66	55,49	50,28

Obrázek 7: Ukázka výstupu dat získaných měřením tepelného komfortu spacího pytle

3.2.2 Historie tepelných manekýnů

Tepelný manekýn se používá k výzkumu a vývoji již více než 70 let. Uplatňuje se při analýzách tepelného rozhraní lidského těla a jeho okolního prostředí. Zájem o toto zkoumání je především z oblasti textilního a automobilového průmyslu [17].

Následující tabulka 6 poskytuje náhled na výběr stěžejních bodů, které se udály během vývoje modelů tepelných manekýnů.

Tabulka 6: Přehled vývoje tepelných manekýnů (upraveno dle [17])

<i>Rok, místo</i>	<i>Typ</i>	<i>Materiál</i>	<i>Regulace</i>	<i>Pohyblivost</i>
1945, USA	jednosegmentový	měď	analogová	ne
1964, UK	vícesegmentový	hliník	analogová	ne
1973, Dánsko	vícesegmentový	plast	analogová	ano
1980, Švédsko	vícesegmentový	plast	digitální	ano
USA	požární	hliník	digitální	ne
1988, Kanada	ponorný do vody	hliník	digitální	ano
1988, Finsko	potící se	hliník	digitální	ano
1989, Dánsko	ženský	plast	digitální	ano
1996, Dánsko	dýchající	plast	digitální	ano
2001, Švýcarsko	potící se	plast	digitální	reálná
2003, USA	soběstačný, potící se	kov	digitální	kloubová
2000, Čína	virtuální	numer. a geom. model	simulace přenosu tepla a hmoty	kloubová
2001, Čína	jednosegmentový, potící se	prodyšný	digitální, vyhřívání vodou	ano
2003, USA	jednosegmentový	neprodyšný	digitální, vyhřívání vzduchem	ano

Na celém světě existuje více než 100 tepelných manekýnů. Od prvotních jednosegmentových modelů, z nichž některé se používají dodnes a reprezentují tělo jako jeden celek, se přešlo ke konstrukci vícesegmentových modelů s nezávisle řízenými segmenty o počtu 2 až 14. V dnešní době mají modely obvykle 15 a více segmentů. U vícesegmentových modelů získáváme detailnější informace o přenosu tepla u jednotlivých částí těla. Přejít z analogově řízené regulace na regulaci digitální umožnil mnohem přesnější a flexibilnější měření. Během vývoje se statické stojící modely rovněž začaly přetvářet na reálnější, např. modely sedící, nebo modely s klouby, umožňující konstantní pohyb manekýna (simulace chůze, jízdy na kole). Nevýhodou jsou větší rozměry modelu a jeho cena. Významný pokrok přinesl vynález potících se manekýnů, kteří umožňují simulaci tepelné výměny evaporací. Nemenší přínos měli manekýni simulující dýchání, jež umožňují zkoumat mikroklima. Po roce 2000 šel vývoj dvěma směry. Jedním směrem bylo zaměření na komplexní, sofistikované, multifunkční modely pro pokročilejší výzkum a vývoj s využitím převážně v automobilovém průmyslu. Tito manekýni mají v sobě zabudované kompletní příslušenství. Druhým směrem byly modely jednoduché, relativně levné, ale přesto přesné a spolehlivé, využívané v menším textilním průmyslu. Současný vývoj manekýnů se schopností tvořit pot a dýchat umožňuje velmi realistickou simulaci termoregulace [17].

4 Sledování tepelného komfortu v metabolické laboratoři (na pracovišti vedoucího práce)

V kapitole se nejprve seznámíme s pojmy týkající se energetického výdeje a samotného metabolismu, dále bude následovat popis metody přímé a nepřímé kalorimetrie.

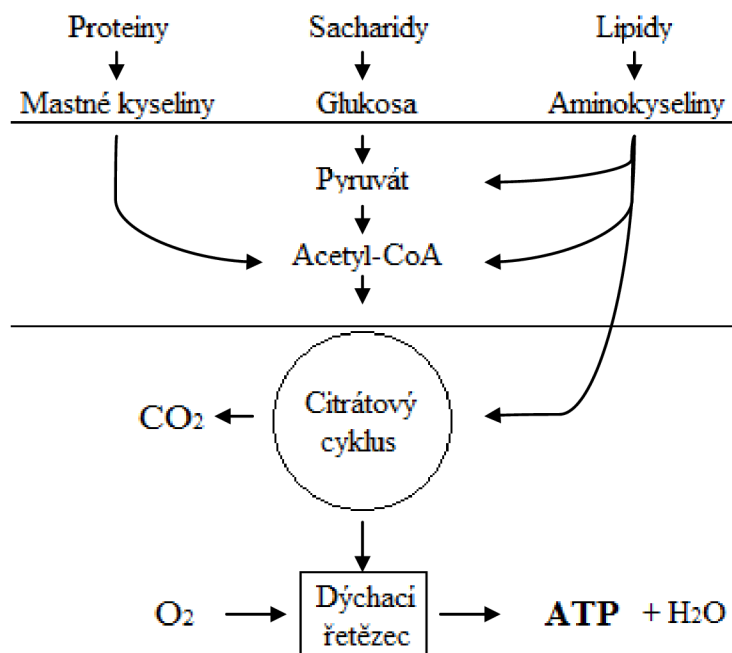
4.1 Metabolismus

Metabolismus, nebo-li *látková a energetická přeměna*, je označení souboru všech enzymatických reakcí, při nichž dochází k přeměně látek a energií v živém organismu. Jedná se o základní procesy zahrnující všechny chemické děje probíhající v organismu [2].

Metabolické procesy můžeme rozdělit, dle směru probíhající změny, do tří druhů: *anabolické*, vedoucí k syntéze nových látek a ke tvorbě zásob energií (biosyntéza); *katabolické*, vedoucí k rozkladu látek a k uvolnění energií (oxidativní procesy); *amfibolické*, při nichž dochází současně k anabolismu i katabolismu (citrátový cyklus) [2][3].

Lidský organismus není schopen tvořit energii de novo. Energetický metabolismus pouze převádí chemickou energii živin na využitelnou energii, ale to vždy s určitou ztrátou [1]. Stručný popis těchto dějů nastíníme v následujícím odstavci.

Základní živiny získává člověk z potravy, kterou přijímá, a je ji schopen mechanicky a chemicky zpracovat. Jde o proteiny, sacharidy a lipidy. Tyto jsou nejprve chemicky zpracovány při trávení na jednodušší složky - aminokyseliny, glukosu, glycerol a mastné kyseliny. Další degradace probíhá na buněčné úrovni, až konečně nastane mitochondriální fáze, kdy vzniklý meziprodukt acetylkoenzym-A (Acetyl-CoA) vstoupí do citrátového cyklu (cyklus kyseliny citrónové, Krebsův cyklus) a jeho produkty postupují do dýchacího řetězce. Zde dochází k tomu nejvíce podstatnému, a to ke vzniku samotné energie. Za nezbytné přítomnosti kyslíku O_2 je tato energie ukládána do vysoce energetických (makroergních) fosfátových vazeb molekuly ATP (adenozintrifosfát), vazby se snadno štěpí a energii opět uvolňují. Zároveň vznikají odpadní produkty - voda H_2O a oxid uhličitý CO_2 . Podstatnou úlohu při výše zmíněných procesech hrají enzymy. Schéma je na Obr. 8 níže [2][18].



Obrázek 8: Schéma přeměny základních živin (upraveno dle [18])

Stručně: oxidace proteinů, sacharidů a lipidů → vznik CO₂, H₂O a energie.

4.1.1 Energetická přeměna

Přeměna živin na molekuly ATP i jejich následné štěpení za vzniku potřebné energie však nejsou stoprocentně účinné a při každém procesu se část energie ztrácí v podobě tepla (až 35 % energie se přemění na teplo). Proto při zvýšeném metabolismu registrujeme i zvýšenou tělesnou teplotu [2].

Metabolický obrat je množství energie uvolněné za jednotku času a vyprodukované ve formě vnější práce, akumulování energie a tepla [3].

4.1.2 Bazální metabolismus

Energetickou přeměnu rozeznáváme bazální, tzv. *bazální metabolismu BMR* (Basal Metabolic Rate), která je nutná k zachování všech základních vitálních funkcí organismu za přesně stanovených podmínek - ráno před opuštěním lůžka, v leže, na lačno, za úplného mentálního a fyzického klidu, při normální tělesné teplotě a při optimální teplotě okolí. Tuto základní spotřebu navyšuje dodatková aktuální spotřeba energie (*energetický metabolismus*), jež odpovídá aktivitě - fyzická práce, termoregulace, zpracování potravy, apod. [3][19].

4.1.3 Faktory ovlivňující metabolismus

To, jak vysokou spotřebu energie lidské tělo má, závisí tedy na mnoha faktorech - vliv má především aktivita, dále věk, pohlaví, tělesná hmotnost, výška, tělesná teplota, zdravotní stav, emoce, atd. Německý fyziolog Max Rubner, který se mimo jiné zabýval metabolismem, v roce 1894 zjistil, že hodnota bazálního metabolismu se u různých druhů savců liší, pokud ji uvažujeme ve vztahu k hmotnosti v jednotkách kilogram. Ovšem pokud tuto hodnotu vztáhneme na povrch těla v jednotkách m^2 , bude se u odlišných živočichů víceméně shodovat. Toto zjištění odpovídá poznatku, že k výměně tepla dochází na tělesném povrchu. S ohledem na pohlaví je bazální metabolismus vyšší u mužů (asi o 5 - 10 %). Bazální metabolismus klesá s věkem. Co se týče dalšího faktoru - tělesné teploty, její zvýšení o 1 °C zvyšuje bazální metabolismus asi o 14 %. Zpracování potravy hodnotu zvyšuje až o 30 %, mluvíme o tzv. specificko-dynamickém účinku (SDA). Bazální metabolismu je hormonálně regulován a pro představu jeho hodnota je přibližně 7600 kJ/den [1][3]. Přehled faktorů a jejich vlivu na metabolismus je v tabulce 7.

Tabulka 7: Faktory ovlivňující metabolismus [1][3]

<i>Faktor</i>	<i>Změna metabolismu</i>
svalová aktivita	↑
zpracování potravy	↑
výchylky okolní teploty	↑
výchylky tělesné teploty	↑
výška, váha, povrch těla	↑
pohlaví	muži nepatrně ↑
těhotenství	↑
děti	↑
stárnutí organismu	↓
emotivní stav - úzkost, napětí	↑
emotivní stav - apatie, deprese	↓
stimulační hormony	↑
dlouhodobé hladovění	↓

4.1.4 Jednotky energie

Jednotkou energie E v soustavě SI je *joule J*, značeno $E = [J]$, popřípadě kilojoule $E = [kJ]$. Zabýváme-li se pojmem metabolismus, používají se hlavně mimosoustavové jednotky, a to kalorie a kilokalorie [2].

Kalorie (též *gram kalorie*, *malá kalorie*, *standardní kalorie*, značení *cal*) je považována za standardní jednotku tepelné energie. Je definována jako množství energie,

potřebné k ohřátí 1 g vody o 1 °C, z 15 °C na 16 °C. Bylo změřeno, že je k tomu potřeba 4,19 joulů, tedy $1 \text{ cal} = 4,19 \text{ J}$, respektive $1 \text{ J} = 0,239 \text{ cal}$ [2][3].

Jelikož kalorie jsou jednotky příliš malé, ve fyziologii se běžně používají jejich tisícinásobky *kilokalorie* (*velká kalorie*, značení *kcal*). Přepočtem dostáváme $1 \text{ kcal} = 4,19 \text{ kJ}$, respektive $1 \text{ kJ} = 0,239 \text{ kcal}$ [2][3].

Metabolismu může být vyjádřen taktéž jako tepelný výkon organismu v jednotkách watt [W], nebo jako měrný tepelný výkon na jednotku plochy [W/m^2]. Vedlejší jednotkou vytvořenou pro popis intenzity činnosti je *MET*, $1 \text{ MET} = 58,2 \text{ W}/\text{m}^2$. Jedná se o teplo vydané člověkem při lehké práci vztažené na plochu $1,9 \text{ m}^2$. Hodnoty typické pro danou činnost jsou uvedeny v následující tabulce 8 [6].

Tabulka 8: Hodnoty metabolismu přepočtené na různé jednotky (upraveno dle [8])

<i>Činnost</i>	<i>Výkon [W]</i>	<i>Výkon [W/m^2]</i>	<i>Výkon [MET]</i>
spánek	70	40	0,7
odpočinek v leže	80	46	0,8
odpočinek v sedě	100	58	1,0
stání, lehká práce v sedě	120	70	1,2
velmi lehká práce (vaření)	160	93	1,6
lehká práce (domácí práce)	200	116	2,0
středně těžká práce (tanec)	300	175	3,0
těžká práce (tenis)	600	350	6,0
velmi těžká práce (práce v dolu)	nad 700	410	7,0

4.1.5 Spalné teplo

Spalné teplo je množství energie, dodávané organismu živinami, které se uvolní při úplné oxidaci (spálení) 1 g dané živiny. Množství tepla získané spálením živiny vně organismu (fyzikální spalné teplo) je stejné jako množství energie získané oxidací živiny uvnitř (fyziologické spalné teplo), s výjimkou proteinů. Pro proteiny je získaná energie 17,2 kJ/g (zde se jedná o fyziologické spalné teplo, jelikož proteinové metabolity se zcela neoxidují, fyzikální spalné teplo 23,6 kJ/g), při oxidaci sacharidů se uvolní obdobně 17,2 kJ/g a pro lipidy je to 38,9 kJ/g [1][2][19].

4.1.6 Energetický ekvivalent

Energetický (kalorický) ekvivalent je množství uvolněné energie při spalování živin za spotřeby 1 litru kyslíku. Idealizovaný průměr představují hodnoty 18,0 kJ/l pro proteiny, 21,1 kJ/l pro sacharidy a 19,0 kJ/l pro lipidy [1][2][19].

4.1.7 Respirační kvocient

Respirační kvocient RQ je poměr objemu vyprodukovaného oxidu uhličitého ku objemu spotřebovaného kyslíku za jednotku času při rovnovážném stavu. Tento údaj je bezrozměrný a jeho hodnoty jsou pro proteiny 0,8, pro sacharidy 1 a pro lipidy 0,7. RQ je potřeba odlišit od veličiny *poměr respirační výměny R*, což je poměr objemu vyprodukovaného oxidu uhličitého ku objemu spotřebovaného kyslíku v jakémkoliv časovém intervalu. Hodnoty RQ a R se liší při různých stavech a lze je určit jak pro organismus jako celek, tak pro jednotlivé orgány [1][2][3][19].

Přehled základních živin a jejich hodnot je shrnut v tabulce 9.

Tabulka 9: Základní živiny a jejich parametry [1][2][3][19]

	<i>Spalné teplo</i> [kJ/g]	<i>Energetický ekvivalent</i> [kJ/l]	<i>Respirační kvocient</i> <i>RQ [-]</i>
<i>proteiny</i>	17,2	18,0	0,8
<i>sacharidy</i>	17,2	21,1	1
<i>lipidy</i>	38,9	19,0	0,7

4.2 Kalorimetrie přímá

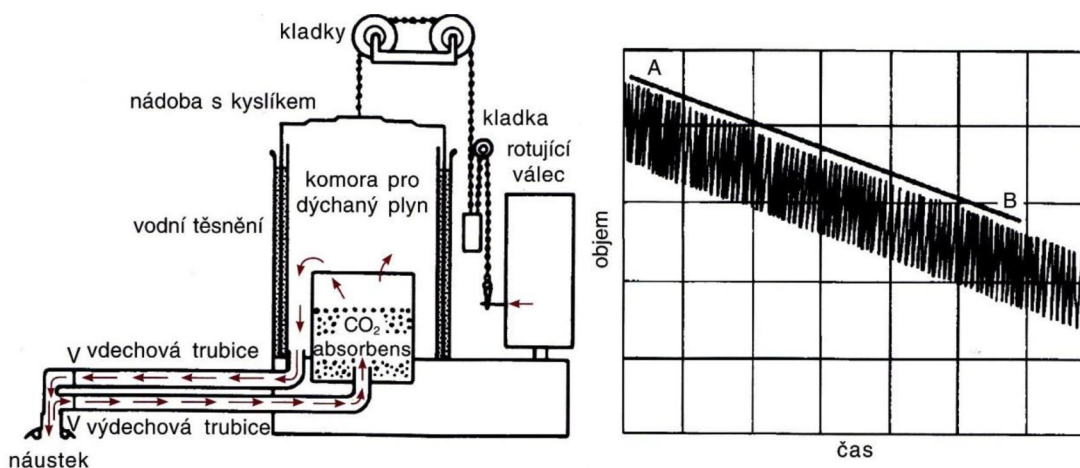
Přímá kalorimetrie je metoda měření energie, založená na skutečnosti, že veškeré metabolické procesy jsou spojeny s tvorbou tepla. Naměřené teplo, které je vydáváno do okolí, je pak úměrné aktuální energetické spotřebě, tedy uvolněné energii. Tato metoda slouží k měření tepla vzniklého spálením živin mimo tělo. Používá se přístroj *kalorimetr*, což je tepelně izolovaná kovová nádoba obložená ve vnitřním plášti vodou. Uvnitř dojde k zapálení dané živiny a měří se teplotní změna vody. Tímto způsobem můžeme zjistit energetickou hodnotu běžných potravin. Pro měření na člověku je tato metoda náročná, hlavně co se týče technického zajištění, a dnes se prakticky nepoužívá [3][20].

4.2 Kalorimetrie nepřímá

Nepřímá kalorimetrie je metoda měření energie, založená na skutečnosti, že spotřeba kyslíku (nebo produkce oxidu uhličitého, vody a koncových metabolitů proteinů) je úměrná výdeji energie. Měření spotřeby kyslíku je poměrně snadné. Využívá se energetický ekvivalent. Spotřebou jednoho litru kyslíku vytvoříme energii přibližně 4,82 kcal. Obtížnější, ale přesnější, je pak měření všech konečných produktů. Stanovením respiračního kvocientu a měřením vylučovaného dusíku získáme údaje o všech oxidovaných živinách v organismu [1][3][20].

Existují dva režimy měření metodou nepřímé kalorimetrie - *režim otevřený* nebo *režim uzavřený*. Otevřený režim je méně častý. Osoba, kterou měříme, dýchá normální atmosférický vzduch a následně vydechuje do přístroje, který jej analyzuje. U uzavřeného režimu je dýchací činnost měřené osoby izolovaná od okolí. Kyslík je vdechován ze zásobníku a oxid uhličitý s ostatními odpadními látkami je vydechován zpátky do přístroje [20].

K měření se používá přístroj *spirometr*. Během studia jsme se v praktických cvičeních předmětu Fyziologie člověka se spirometrem seznámili. Pracuje na principu uzavřeného režimu a pro pochopení si podrobněji popíšeme tzv. *Kroghův respirometr* (Obr. 9). Vzduch vdechujeme ze zásobníku, jehož součástí jsou pohyblivé víko utěsněné vodou a detektory snímající pohyb. Hadičky, které vedou k náustku, jsou opatřeny jednocestnými ventily, což zajišťuje jednosměrnou cirkulaci vdechovaného a vydechovaného vzduchu. Vydechovaný vzduch pak prochází filtrem, kde je oxid uhličitý absorbován navázáním na natronové vápno. Při dýchání se víko zásobníku pohybuje nahoru a dolů a tento pohyb je registrován. Dříve se záznam zapisoval na rotující válec, dnes se používá elektronická registrace. Vdechovaný kyslík se váže v organismu a vydechovaný oxid uhličitý se váže na filtr. V důsledku klesá objem zásobníku a z registrované rychlosti tohoto poklesu usuzujeme na spotřebu kyslíku, jež je úměrná výdeji energie. Pro získání aktuálního energetického výdeje jak v klidu, tak při zátěži, je potřeba dále provést korekci spotřeby kyslíku v závislosti na okolním tlaku, teplotě a napětí vodních par. Dnes již mnoho firem vyrábí a pro měření dodává moderní přenosné ruční spirometry (Obr. 10) [3][20].



Obrázek 9: Kroghův respirometr [3]



Obrázek 10: Kapesní spirometr SPIROBANK [21]

5 Měření tepelného komfortu

Pro jakoukoliv činnost organismu je třeba zajistit přísun O_2 a energie a v opačném směru odsun CO_2 a metabolitů. Tuto funkci plní transportní systém, jehož hlavní složky jsou dýchací a kardiovaskulární systém. V diplomové práci se budeme zabývat dýchacím systémem.

Zátěž na lidský organismus je dvojího typu. *Zátěž statická* je charakteristická výdejem energie bez pohybu (izometrická svalová kontrakce). *Zátěž dynamická* představuje střídání napětí a uvolnění svaloviny (izotonická svalová kontrakce). V praktické části se budeme zabývat oběma typy. Pro dynamickou zátěž využijeme metodu bicyklové ergometrie, která je vedle běhu na běžícím pásu nejčastější metodou jak obecně měřit vliv tělesné zátěže. Pokud přidáme k ergometrii analýzu plynů, získáme tzv. *spiro-ergometrii*, což je metoda, při níž se měří současně spirometrie a ergometrie.

Spirometrie je metoda, při které se monitoruje dýchací systém. Nejčastěji se zaznamenává graf prezentující objem plic v závislosti na čase, hodnoty dýchacích objemů a další ukazatelé, které si popíšeme níže [20]. *Ergometrie* je metoda, při které se monitoruje kardiovaskulární systém. Zaznamenává se EKG, krevní tlak, tepová frekvence, stanovuje se výkon a hodnotí se, jak organismus reaguje na zátěž [20].

5.1 Ukazatelé nepřímé kalorimetrie

Popíšeme si stručně základní pojmy a ukazatele, jež budou potřeba pro naše praktické měření. Zkratky v závorkách kopírují značení parametrů v softwaru (viz kapitola 6.5, 6.6 a 6.7). Při popisu budeme v celé práci používat stejnou podobu, tedy značení velkými písmeny a číslicemi, bez zvýraznění dolního indexu (nejedná se o chybu, ale záměr).

Příjem O_2 (VO_2) je množství O_2 extrahované z vdechnutého plynu za časovou jednotku. Nevyužívá se kyslík z tkáňových rezerv, jako u QO_2 .

Spotřeba O_2 (QO_2) je množství O_2 spotřebovaného metabolickými procesy v těle za časovou jednotku. Udává se v mililitrech nebo litrech za jednu minutu, korigováno faktorem STPD.

Výdej CO_2 (VCO_2) je množství CO_2 vydané z plic do zevního vzduchu v ml nebo l/min, korigováno STPD.

Tvorba CO_2 (QCO_2) je množství vyprodukovaného CO_2 při metabolických procesech a také uvolněné kompenzačními reakcemi v těle za určitých okolností, korigováno STPD.

STPD je objem plynů v standardních podmínkách teploty ($0\text{ }^\circ\text{C}$), tlaku (760 mmHg) a bez vodních par (suchý plyn).

R je *poměr respirační výměny* (poměr výměny plynů v plicích za časovou jednotku). Nezohledňuje pouze tkáňovou metabolickou ventilaci, ale také vliv přechodných změn u rezervního O₂ a zejména CO₂.

METS je množství kyslíku spotřebovaného pro daný výkon dělený příjmem kyslíku v klidovém stavu.

VI nebo *VE* je minutová ventilace, což je množství inhalovaného nebo exhalovaného vzduchu za jednu minutu. Obvykle se vyjadřuje v přepočtu na BTPS.

BTPS jsou objemové ventilační hodnoty, měřené v souvislosti s tělesnou teplotou, okolním tlakem vzduchu a jeho nasycením vodními parami při této teplotě.

RQ je *respirační kvocient*, tedy poměr produkovaného CO₂ ke spotřebě O₂. Udává metabolickou výměnu plynů v tkáních a informuje o spotřebě substrátů.

5.2 Reakce na zátěž

Lidský organismus reaguje na vzniklou zátěž individuálně a různými způsoby. Rozlišujeme bezprostřední reakci - *změny reaktivní*, a reakci dlouhodobějšího charakteru - *změny adaptační* [22].

Pro část našeho měření jsou podstatné změny reaktivní. Rozeznáváme změny centrální, které probíhají u samotných plic a srdce (objemy plynů, srdeční frekvence, pulzní kyslík, minutový objem srdeční), a změny periferní, za něž zodpovídá oběhový systém - tedy cévy (krevní tlak, vazokonstrikce, vazodilatace). Tyto změny nebudeme rozebírat podrobněji, jen naznačíme, jakým směrem bude reakce probíhat - tabulka 10 [22].

Tabulka 10: Reaktivní změny na fyzickou zátěž [22]

<i>Parametr</i>	<i>Reaktivní změna</i>
objem O ₂ , CO ₂ , VT	↑
srdeční frekvence	↑
pulzní kyslík	↑
minutový objem srdeční	↑
systolický tlak	↑
diastolický tlak	–

Kromě vyjádření dříve zmíněného tepelného pocitu můžeme v průběhu testu hodnotit i subjektivní pocit namáhavosti. Takzvaná *Borgova škála* hodnotí na stupnici 6 až 20 vnímání intenzity zátěže (od pocitu vůbec žádné zátěže po maximální úsilí) [23].

6 Přístrojové vybavení

Praktická část byla realizována pod dohledem vedoucí práce na Fyziologickém ústavu Lékařské fakulty Masarykovy univerzity, a to v metabolické laboratoři, vybavené přístroji, které si dále popíšeme.

Při měření metodou nepřímé kalorimetrie a stanovování tepelného komfortu budeme měřit na dobrovolnících spirometrii i ergometrii současně.

Pro spirometrii používáme přístroj PowerCube Ergo se softwarem LF8, pro ergometrii přístroj Cardiovit AT-104 se softwarem SDS-104. Díky plné synchronizaci přístrojů funguje laboratorní pracoviště jako jeden celek.

V práci se budu věnovat hlavně prvkům náležejícím ke spirometrickému měření.

6.1 Kardio-Line spol. s r.o.

Společnost Kardio-Line spol. s r.o. je významný dodavatel přístrojů. Na trhu působí již více jak 20 let. Zastupuje v České republice světové výrobce. Zprostředkovává prodej zahraničních výrobků do oblastí funkční diagnostiky, interního lékařství, intervenční kardiologie, ARO, JIP, sportovního lékařství, pneumologie, porodnictví, alergologie, rehabilitace, fyzioterapie, vodoléčby, lázeňství, spinální chirurgie a dalších. Zájem se rozšiřuje i do oblastí wellness, fitness a beauty center. Jejich služby zahrnují i veškerý servis nabízených výrobků [24][33].

Firma vznikla v lednu roku 1993 v Brně s cílem uvést na trh nové pokrokové technologie. Na počátku produktové portfolio tvořil kompletní sortiment firem Schiller ze Švýcarska a Uniphy z Nizozemí. V průběhu let otevřela pobočku v Praze a rozšířila seznam o výrobky od firem Ergoline z Německa, Gymna z Belgie, Osteometer z USA a další. Postupně na seznam přibýly zastupované firmy Ganshorn a Eucatech z Německa, Huntleigh z Velké Británie a Scient'x z Francie, a v posledních letech i firma Lifetech Scientific z Číny a Celonova z USA [25][33].

6.2 PowerCube Ergo

Přístroj zajišťuje kompletní pneumologické pracoviště (Obr. 11). Funguje jako analyzátor vydechaných plynů. Lehký obousměrný průtokový senzor s variabilními otvory je necitlivý na vlhkost. Plynové analyzátoři svou stabilitou umožňují měření dech za dechem. Součástí je uživatelské rozhraní přizpůsobené volné konfiguraci pro měření a interpretaci. Je možno jej rozšířit o software pro zátěžové vyšetření, ergometrii a spiro-ergometrii [26][27][33].

PowerCube měří hlavní parametry nepřímé kalorimetrie (VO_2 , VCO_2 , E a další), umožňuje analýzu s rozlišením metabolických a hemodynamických parametrů, zobrazuje interpretační okna podle Wassermana, disponuje alarmovými funkcemi a nastavitelnými formáty protokolů [26][33].

Výrobce je německá firma GANSHORN Medizin Electronic.



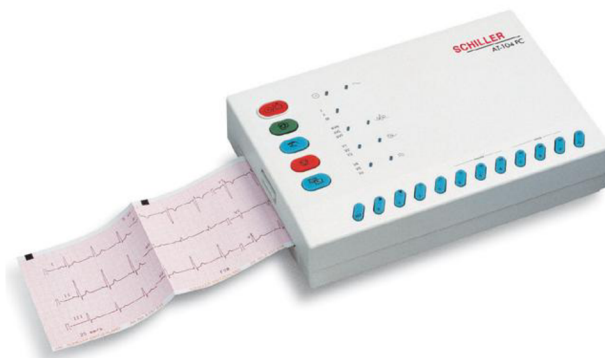
Obrázek 11: PowerCube [28][33]

6.3 Cardiovit AT-104 PC

Přístroj provádí snímání 12-ti kanálového EKG (Obr. 12). Samostatně zaznamenává a v reálném čase tiskne všech 12 standardních svodů. Je možno jej připojit k počítači a rozšířit o software pro zátěžové vyšetření, spirometrii a spiro-ergometrii. Po propojení s pneumologickou jednotkou PowerCube umožňuje spiro-ergometrickou analýzu [29][33].

Přístroj je řízen automaticky s možností editace a dále umožňuje analýzu a přenos dat v počítačové síti s přehledným zobrazením všech údajů [30][33].

Výrobce je švýcarská firma SCHILLER.



Obrázek 12: Cardiovit AT-104 [30][33]

6.4 Další součásti pracoviště

Použitím dvou výše popsaných diagnostických přístrojů získáme nástroj pro kardiopulmonální funkční diagnostiku. Další nezbytné součásti pracoviště jsou (Obr. 13):

Modul podtlakových elektrod DT100

System podtlakový přísavných elektrod pro klidové i zátěžové EKG, s parametry: síla přísátí 60 - 260 mbar, délky svodů hrudní 1 m, končetinové 1,3 m [31]. Pro lepší kontakt mezi plochou elektrod a kůží používáme elektrodový roztok ve spreji [33].

Ergometr Ergoselect 100

Ergometr z řady Ergoline s možností nastavení zátěže 20 - 990 W, s nastavitelnou výškou sedadla, s nastavitelnými řídítky. Je rozšířen o modul automatického měření tlaku manžetou Ergoline (šířka 14 cm, nastavitelný obvod 23 - 33 cm) [32][33].



Obrázek 13: Modul podtlakových elektrod a ergometr [31][32][33]

Spiro-ergometrické pracoviště v metabolické laboratoři jako celek tedy sestává ze dvou uvedených přístrojů, počítače, dvojité ploché obrazovky (jedna obrazovka pro pneumologii, druhá obrazovka pro kardiologii), ergometru, oronasální dýchací masky, tlakové manžety, snímacích elektrod (Obr. 14). Ovládání je automatické dle nastaveného protokolu [33].



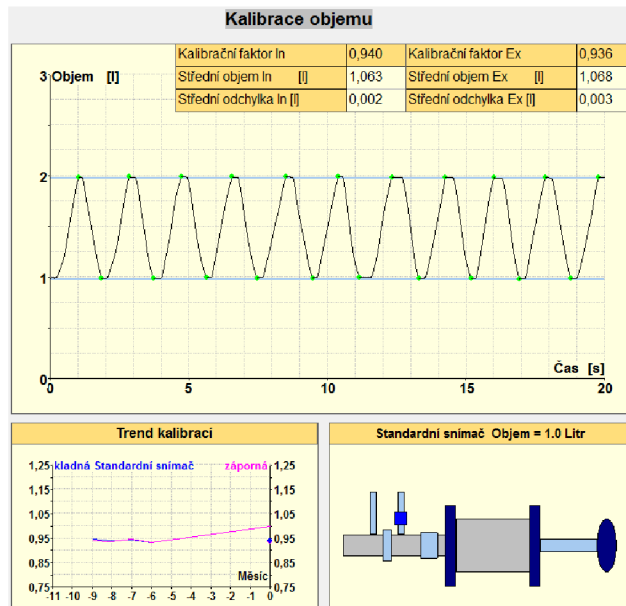
Obrázek 14: Spiro-ergometrické pracoviště jako celek [26][33]

6.5 Práce s programem LF8 a SDS-104

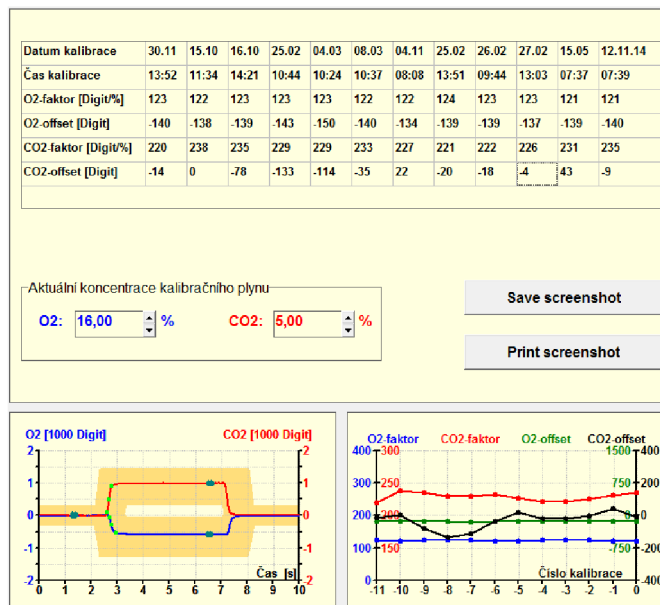
V této kapitole si popíšeme práci s příslušnými softwary i jednotlivé možnosti získání dat.

Obecný *průběhový diagram* je následující:

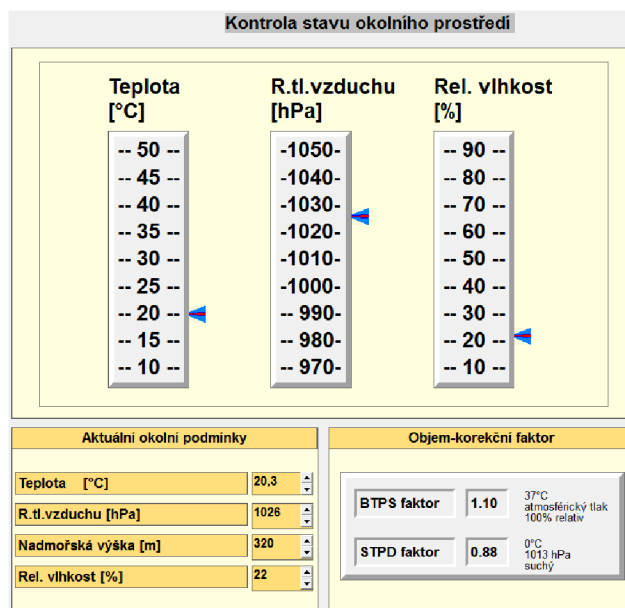
Z důvodu vhodné 'aklimatizace' přístroje jej zapneme půl hodiny před zahájením měření. Pečlivě vyčistíme masku a spiro-senzor. Na začátku každého dne nebo při značné změně teploty či tlaku kalibrujeme objem průtoku pomocí kalibrační pumpy (Obr. 15) a hodnoty plynů pomocí tlakové láhve a plynového analyzátoru PowerCube (Obr. 16). Program zhodnotí úspěšnost či selhání kalibrace. Integrované senzory automaticky zaznamenávají hodnoty referenčního prostředí - teplotu, tlak a relativní vlhkost (Obr. 17). Tyto hodnoty je možno zadat i ručně. Faktory BTPS a STPD (Body Temperature, Ambient Pressure, Saturated a Standard Temperature Pressure Dry) kompenzují rozdíl vlhkosti při nádechu a výdechu a odchylky tlaku, teploty a vlhkosti. Dále zadáme data dobrovolníka (pacienta v klinické praxi), definujeme samotné měření a nastavíme protokol. Připravíme dobrovolníka (připojení elektrod, nasazení masky) a zahájíme měření. Můžeme si zobrazit a upravit záznam, který taktéž uložíme. Po ukončení měření vyčistíme masku a senzory a můžeme měřit další osobu.



Obrázek 15: Kalibrace objemu

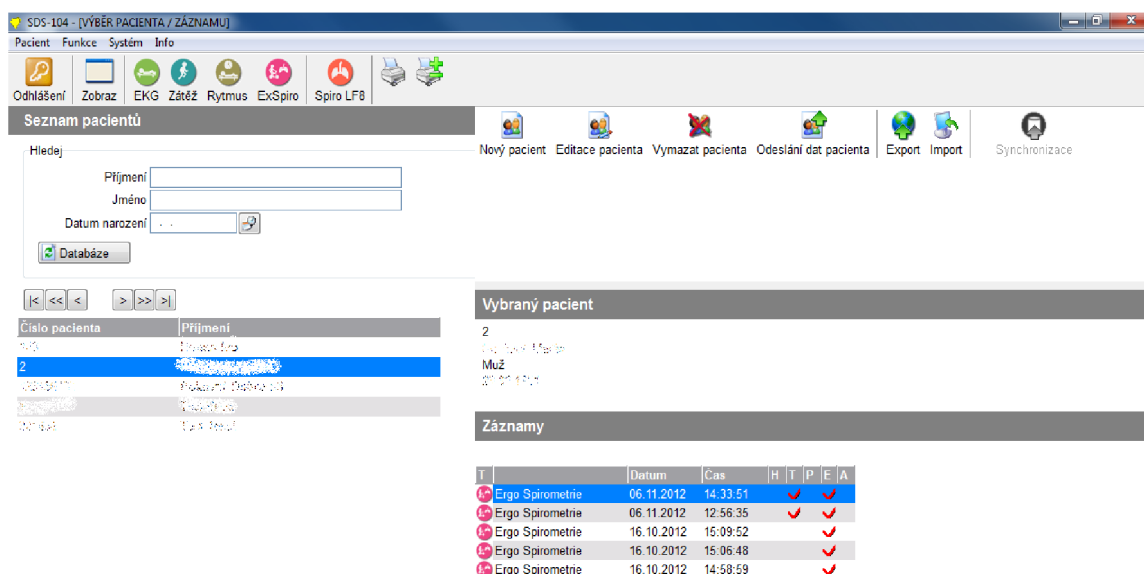


Obrázek 16: Kalibrace plynů



Obrázek 17: Referenční prostředí

Po spuštění programu a přihlášení se do systému se zobrazí kartotéka pacientů (Obr. 18). Zde máme možnost vyvolat obrazovku pro záznam, vybrat funkci pro práci s daty, měnit nastavení, zadávat a vyhledávat pacienty, odesílat záznamy a tisknout je [33].



Obrázek 18: Kartotéka pacientů

Se systémem se pracuje na reálných pracovištích (například v ambulanci Kliniky nemocí plicních a tuberkulózy ve Fakultní nemocnici Brno). Je tedy vybaven možností nahrát údaje ze vzdálené databáze. My budeme pouze zadávat nové pacienty vyplněním příslušných položek – příjmení, jméno, pohlaví, datum narození, výška, váha (Obr. 19) [33].

Zadání nového pacient

Číslo pacienta

Příjmení

Jméno

Rozená(y)

Poslední případ

Pohlaví

Datum narození

Výška cm

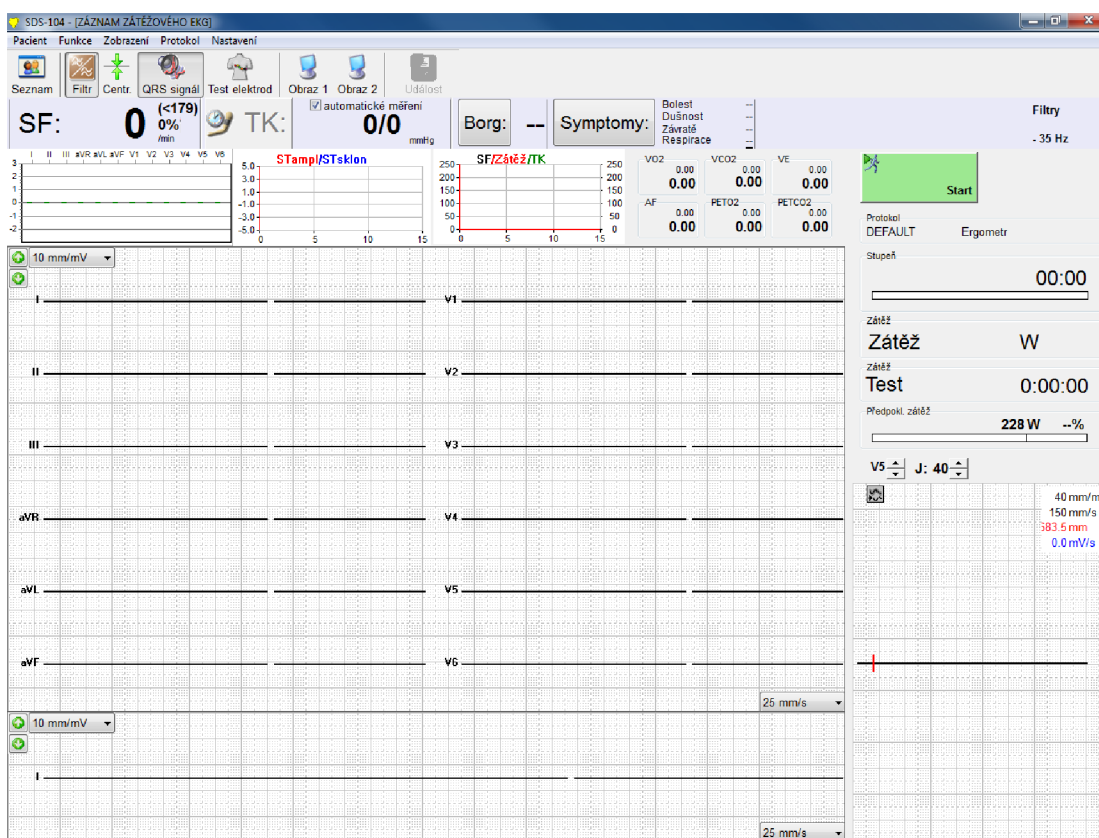
Váha kg

Pojišťovna

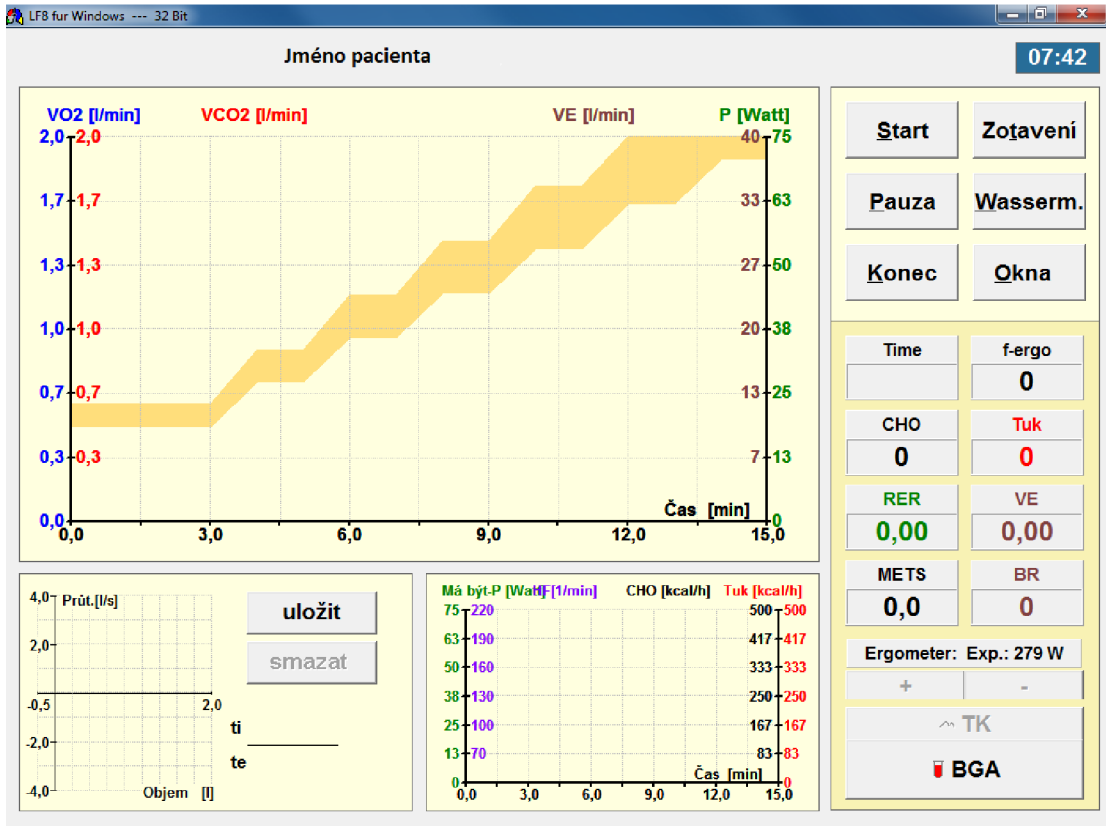
Typ pojištění

Obrázek 19: Pacientská data [33]

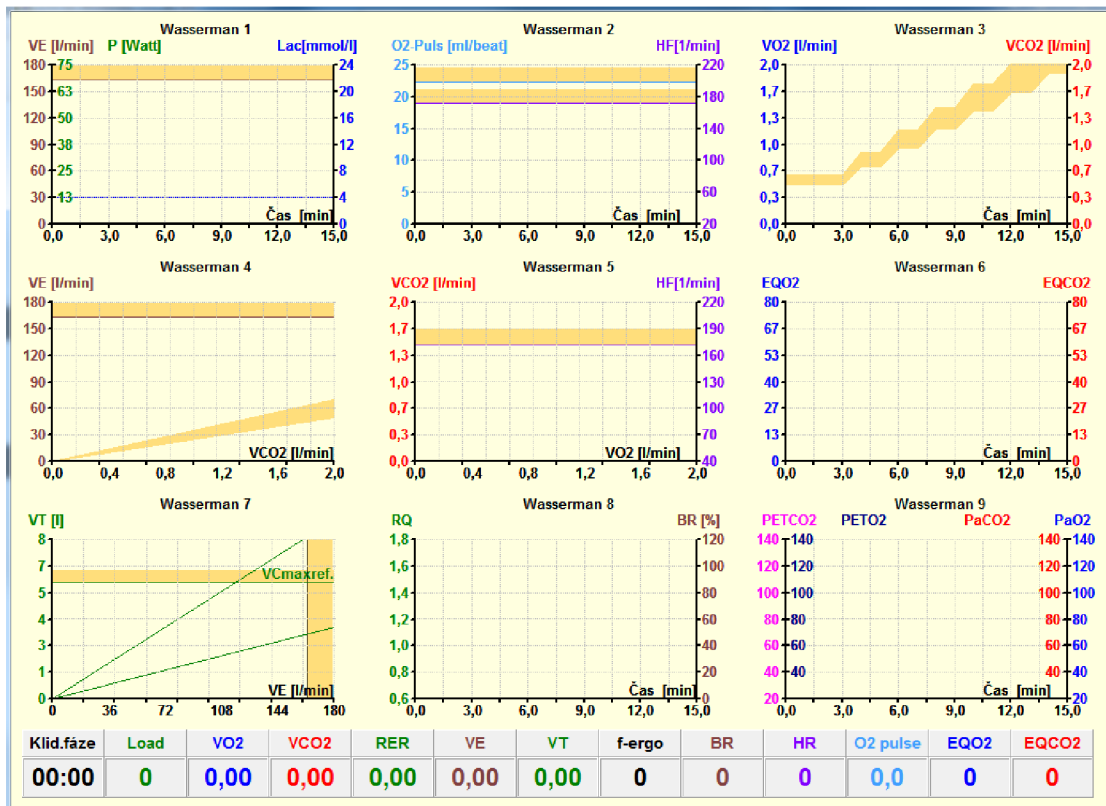
Po výše popsaném poučení a přípravě pacienta (v našem případě dobrovolníka) klikneme na ikonu ExSpiro. Zobrazí se obrazovky pro spiro-ergometrický záznam (Obr. 20, Obr. 21, Obr. 22) [33].



Obrázek 20: Obrazovka připravená na záznam - ergo [33]



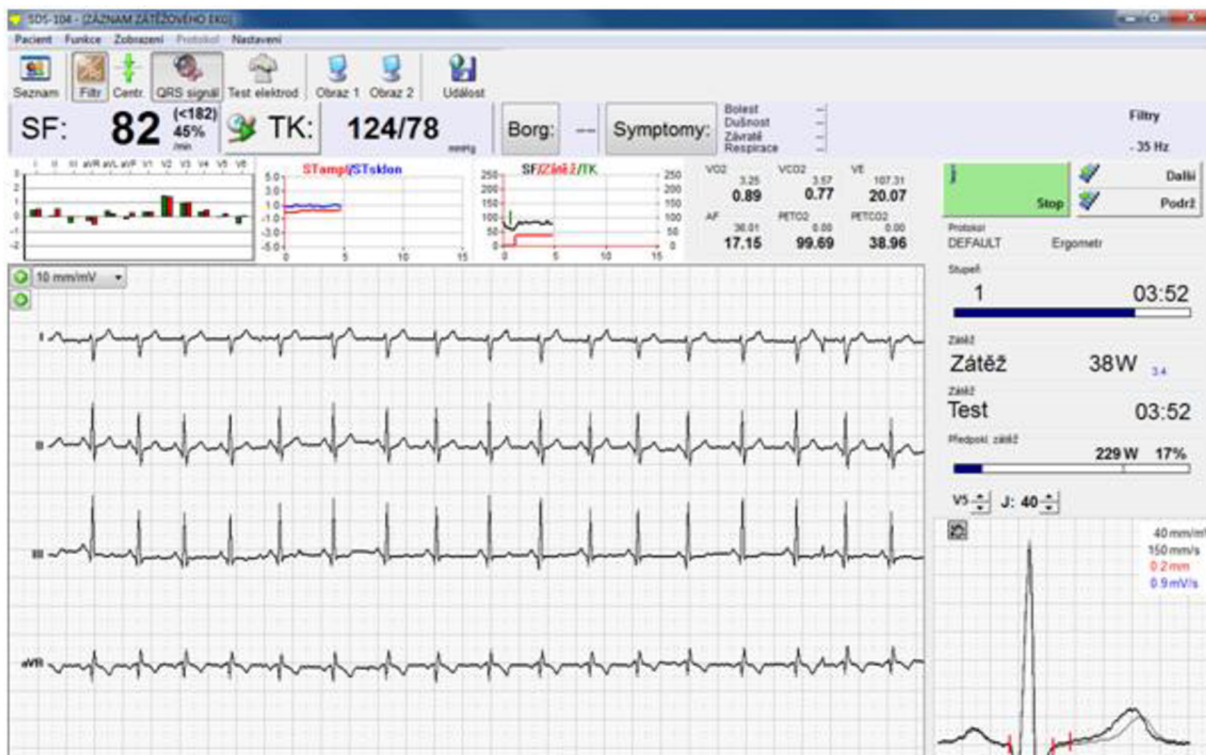
Obrázek 21: Obrazovka připravená na záznam - spiro



Obrázek 22: Obrazovka připravená na záznam - spiro

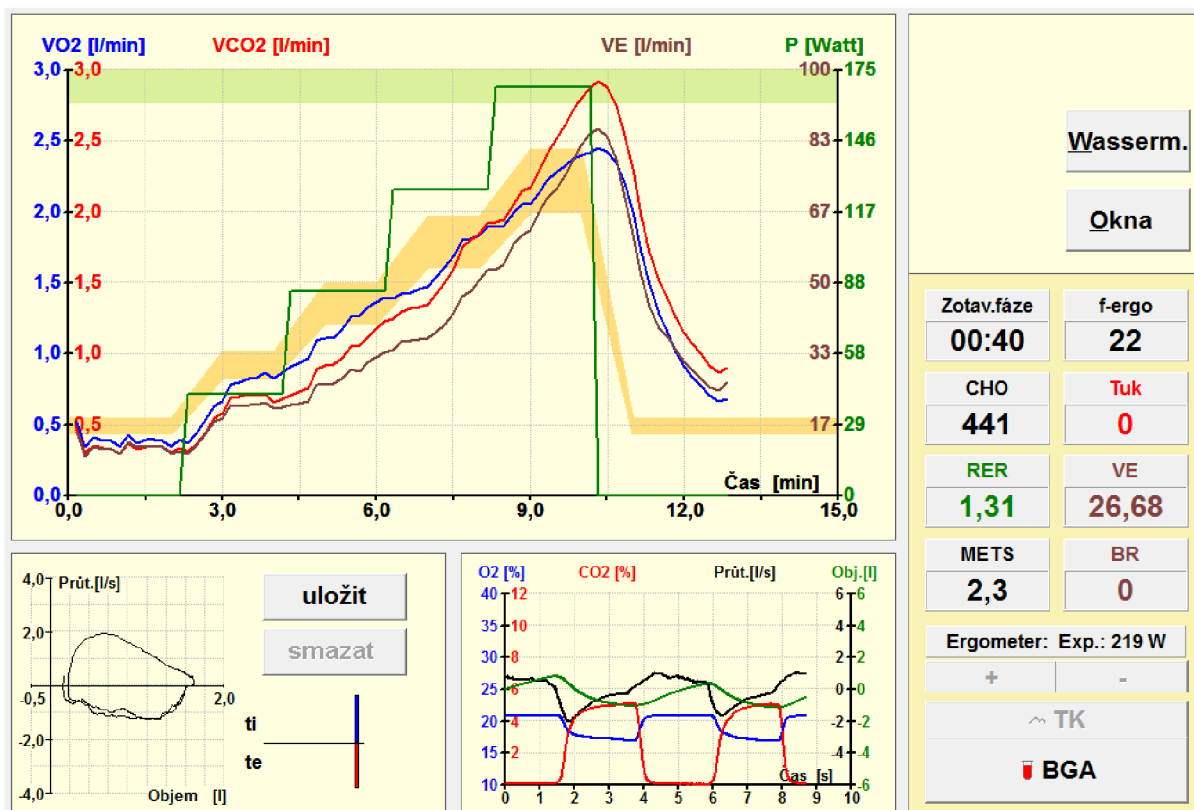
Pokud je vše v pořádku (dobrovolník je připraven, elektrody snímají), kliknutím na zelenou ikonu Start započneme nahrávání záznamu. Nastaví se počáteční (popřípadě nulová) zátěž zadaná pro zahřívací fázi. Ikona Start se změní na Zátěž. Po uplynutí zahřívací fáze (v našem případě vždy jedna minuta) klikneme na ikonu Zátěž a začne fáze zátěžová, kdy cyklus pokračuje podle nadefinovaného protokolu. Poté se ikona změní na Stop. Po naměření potřebných dat nepřímé kalorimetrie klikneme na ikonu Stop a bude zahájena fáze zotavovací (opět vždy jedna minuta). Ikona se změní na Konec. Čas a signál je stále zaznamenáván (označení „REC“). Po ukončení zotavovací fáze klikneme na ikonu Konec a ukončíme tím celé měření [33].

Při aktivním měření vidíme na hlavní obrazovce pro ergometrii (Obr. 23) údaj o aktuální srdeční frekvenci [tep/min], naposledy naměřenou hodnotu krevního tlaku [mmHg] (se zaškrtnutým políčkem pro automatické měření), symptomy, které můžeme zadat kdykoliv během testu (bolest, dušnost apod.). Dále máme zobrazen průběh středních hodnot ST amplitud ze všech svodů, grafické znázornění ST měření (tzv. Trend ST amplitudy), graf srdeční frekvence, zátěže a tlaku krve v čase. Následuje ikona přepínání fází testu s možností přejít na další krok, nebo podržet krok stávající. Pod ní je informace o protokolu a jeho průběhu (stupeň, zátěž ve W, doba trvání zátěže). Největší část obrazovky zabírá samotný záznam průběhu EKG s eventuální možností přizpůsobovat nastavení zobrazení (citlivost, počet svodů, rychlost zobrazení, atd.) [33].



Obrázek 23: Obrazovka při samotném měření (hrudní svody, "kolo") - ergo

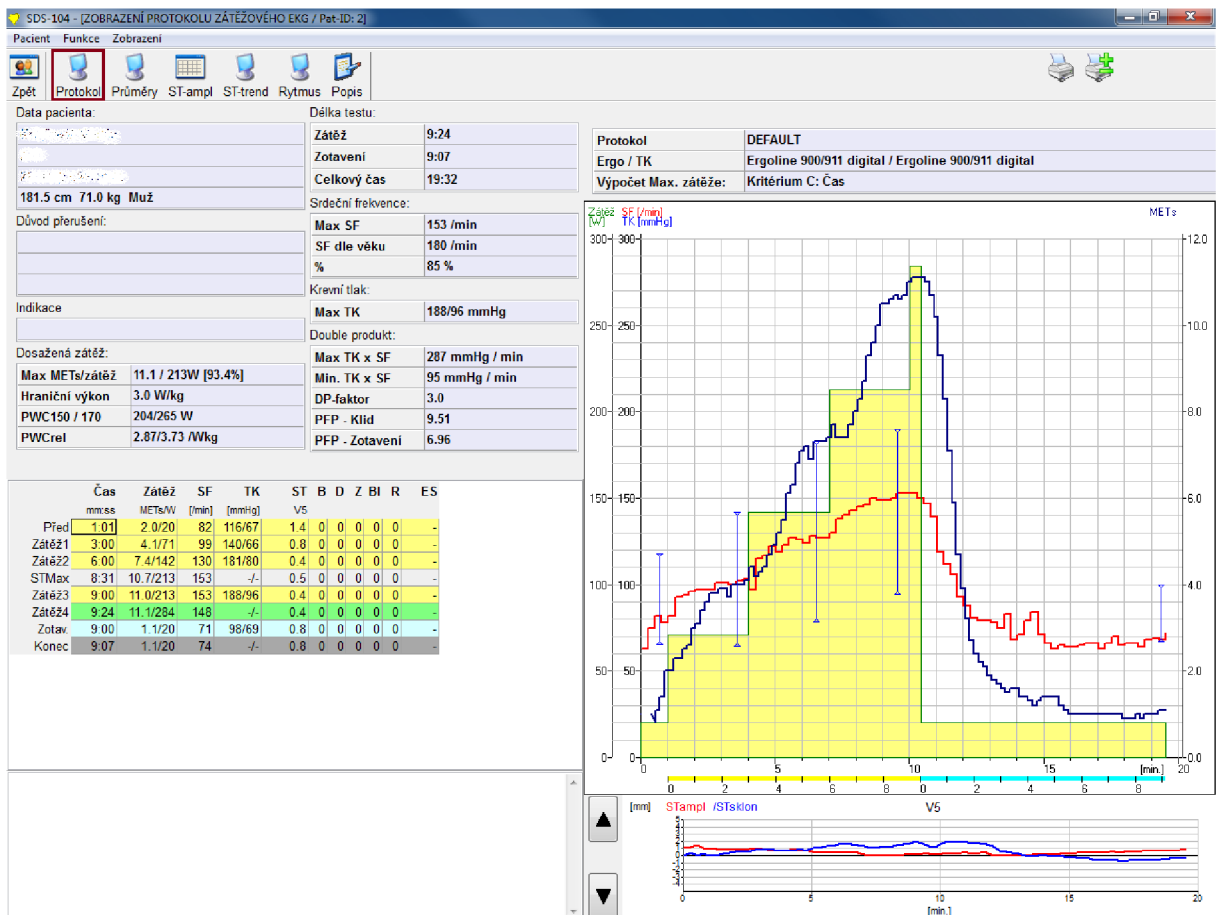
Na obrazovce pro spirometrii (Obr. 24) vidíme hlavní graf pro trendovou hodnotu měření, který můžeme měnit, grafy vedlejší a vybrané hodnoty měření v reálném čase.



Obrázek 24: Obrazovka při samotném měření ("zátěž", zotavovací fáze) - spiro

6.6 Práce s výslednými daty

Po ukončení měření máme k dispozici výsledky testu v několika podobách. Jedním z nich je zobrazení protokolu měření. To vyvoláme na hlavní obrazovce kliknutím na ikonu Protokol. Tento (Obr. 25) nám zobrazí údaje pacienta, eventuální důvody přerušení a indikace, délku testu (zátěž, zotavení, celkový čas), maximální srdeční frekvenci a maximální krevní tlak, Double Product faktor (udává rozdílnou práci v klidu a při maximální námaze), Pressure Frequency Product v klidu a při zotavení (jde o ukazatel výměny O_2/CO_2 na základě SF a TK), dosaženou zátěž (maximální dosažená zátěž, fyzická pracovní kapacita), nastavený protokol, přehlednou tabulku stupňů (u každého kroku testu vypsán čas, zátěž, SF, TK, ST, symptomy), grafické zobrazení trendů SF, TK a zátěže, a nakonec ST graf s křivkou amplitudy a sklonu v čase [33].

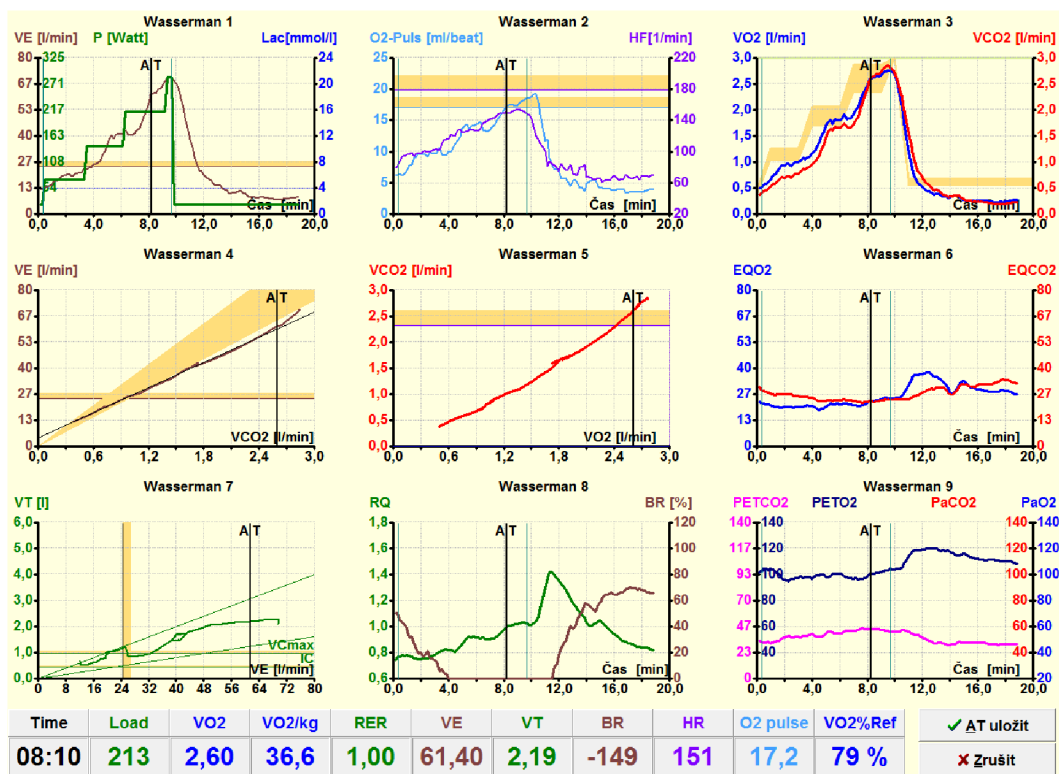


Obrázek 25: Výsledky měření - ergo [33]

Obdobně na Obr. 26 je záznam výsledků pro spirometrii v tabulkové podobě. Program umožňuje taktéž grafické zobrazení těchto výsledků. Na Obr. 27 jsou tzv. Wassermanova okna s výsledky měření po skončení testu.

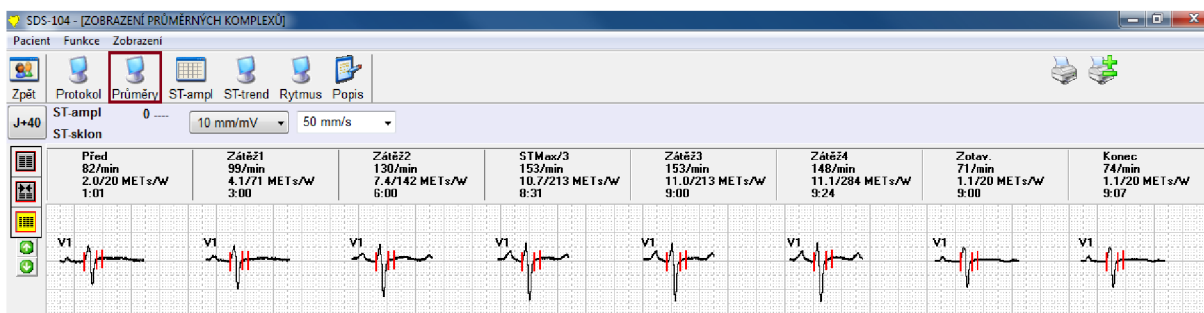
	Ref.	Klid	AT	Max.zátěž	Max/Ref.	AT/Ref
Time h:mm:ss	-	0:00:10	0:08:10	0:09:40	-	-
Load W	228	20	213	284	125%	93%
VO2 l/min	3,29	0,50	2,60	2,76	84%	79%
VO2/kg ml/kg/min	46,3	7,0	36,6	38,9	84%	79%
VCO2 l/min	3,62	0,37	2,59	2,83	78%	72%
RER	-	0,74	1,00	1,02	-	-
Cirkulace						
HR 1/min	179	79	151	149	83%	84%
O2 pulse ml/beat	17,0	6,3	17,2	18,5	109%	101%
BPsys mmHg	-	-	181	188	-	-
BPdia mmHg	-	-	80	96	-	-
Ventilace						
VE l/min	99,01	12,27	61,40	69,57	70%	62%
VT l	3,07	0,68	2,19	2,08	68%	72%
f-ergo 1/min	34	18	28	33	99%	83%
BR	-	50	-	-	-	-
VD/VT	-	0,24	0,10	0,10	-	-
Výměna plynu						
EQO2	-	23	23	25	-	-
EQCO2	-	31	23	24	-	-
PETO2 mmHg	-	101,4	100,5	104,3	-	-
PETCO2 mmHg	-	33,7	44,1	41,8	-	-
VE/VCO2 pokles = 21,52						

Obrázek 26: Výsledky měření - spiro



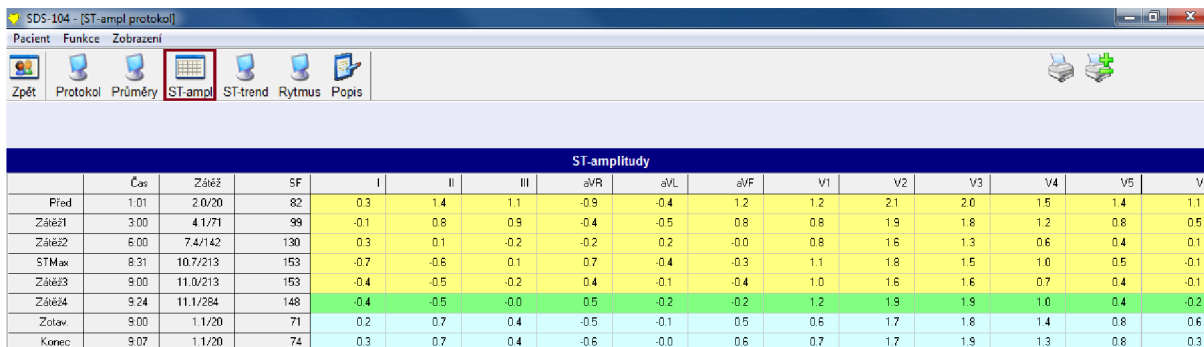
Obrázek 27: Výsledky měření - spiro - Wassermanova okna [33]

Pro úplnost uvádím i další ukázky z programu SDS-104, který poskytuje rozšířené kardiologické údaje, které ovšem nebudou náplní této práce. Program zobrazí přehled středních hodnot komplexů 12-ti svodů - ikona Průměry (Obr. 28).



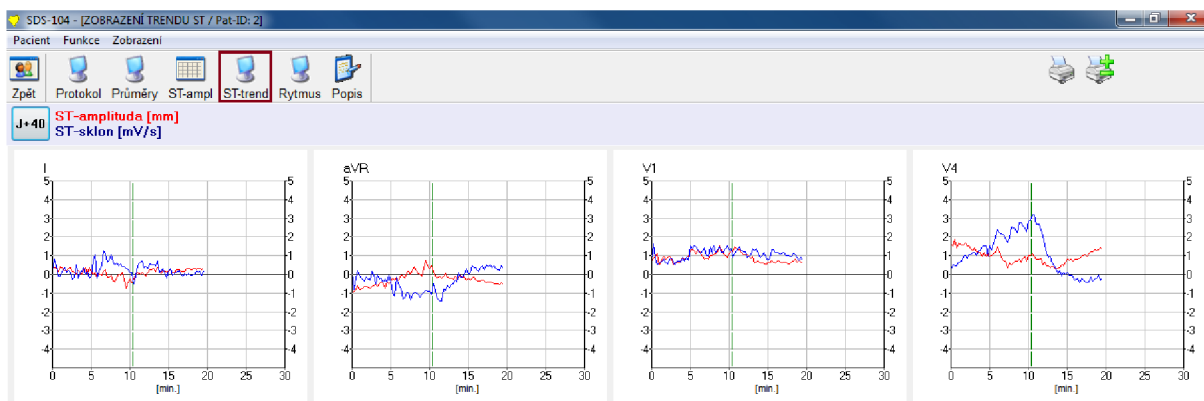
Obrázek 28: Ukázka přehledu středních hodnot komplexů svodu V₁ [33]

Předchozí střední hodnoty komplexů v přehledné tabulce v číselné podobě (Obr. 29) - ikona ST-ampl.



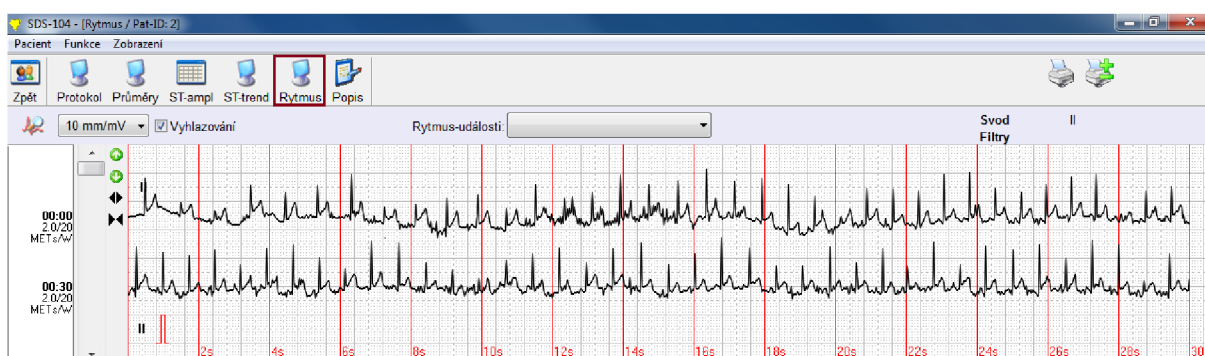
Obrázek 29: Tabulka ST-amplitud [33]

Grafické zobrazení měření ST úseku v každém svodu (Obr. 30) - ikona ST-trend. Červená linie značí ST-amplitudu a modrá ST-sklon.



Obrázek 30: Ukázka ST-trendů [33]

Kompletní záznam vybraného svodu - ikona Rytmus (Obr. 31).



Obrázek 31: Ukázka kompletního záznamu vybraného svodu [33]

6.7 Možnosti exportu dat

V počítači v System (C:) jsou umístěny složky LF8 a SDS104, které obsahují mimo jiné příslušné složky 'export' a 'SDSEXP'. Na tato místa program exportuje data dvěma způsoby. První možností je export dat ve formátu „.pdf“. Soubor shrnuje výsledky testu ve formě protokolu měření stejně jako na Obr. 25, Obr. 26 a Obr. 27. Druhou možností je export dat ve formátu „.xlsx“ (popřípadě „.xls“). Výsledky testu jsou uspořádány do přehledných tabulek (Obr. 32, Obr. 33) [33]. Pro spirometrii jsou v ní zobrazeny identifikační položky pacienta, číslo měření, objem příjmu kyslíku VO_2 [l/min] a objem vydechaného oxidu uhličitého VCO_2 [l/min], expirační minutová ventilace VE [l/min], tepová frekvence HR [min^{-1}], zátěž [W], parciální tlak kyslíku $PETO_2$ a oxidu uhličitého $PETCO_2$ na konci výdechu [mmHg], systolický a diastolický tlak [mmHg], respirační kvocient RQ (zde značený RER) [-], objem kyslíku na kilogram tělesné váhy VO_2/kg [l/min/kg] a objem oxidu uhličitého na kilogram tělesné váhy VCO_2/kg [l/min/kg], expirační minutová ventilace k hmotnosti těla VE/kg [l/min/kg], pulsní kyslík [ml/puls], ventilační ekvivalent pro kyslík EQO_2 a oxid uhličitý $EQCO_2$ [-], dechový objem VT [l], čas měření [s], alveolární ventilace VA [l], objem mrtvého prostoru VD [l], poměr objemu mrtvého prostoru k dechovému objemu VD/VT [-], hodnota METs [-], energetický výdej EE [kcal/h], energetický výdej sacharidů CHO [kcal/h], energetický výdej tuků Tuk [kcal/h]. Pro ergometrii jsou v ní zobrazeny taktéž identifikační položky, dále kroky testu, čas od začátku testu [s], zátěž [W], tepová frekvence [min^{-1}], systolický a diastolický tlak [mmHg], ST-amplitudy ze všech svodů [mm].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Čís.	VO2 [l/min]	VCO2 [l/min]	VE [l/min]	HR [1/min]	f-ergo [1/min]	Load [W]	Pr Load [W]	PETO2 [mmHg]	PETCO2 [mmHg]	BPsys [mmHg]	BPdia [mmHg]
2	1	0,36	0,31	9,88	67	11	0	0	108,5	33,3	0	0
3	2	0,47	0,41	12,77	77	11	0	0	109,4	33,4	96	72
4	3	0,41	0,35	11,32	75	11	0	0	107,9	33,5	98	72
5	4	0,47	0,42	13,87	73	13	0	0	108,9	32,9	98	72
6	5	0,44	0,4	13,23	72	12	0	0	110,3	32,6	98	72
7	92	0,25	0,22	8,27	73	14	47	47	107,9	32,9	103	70
8	93	0,25	0,21	7,81	85	13	47	47	107,7	33,1	103	70
9	94	0,27	0,23	7,94	94	12	47	47	106,6	34	103	70
10	95	0,35	0,3	9,38	83	11	47	47	105,3	34,8	103	70
11	96	0,45	0,38	11,16	89	10	47	47	103,3	35,6	103	70
12	152	0,99	0,88	24,28	91	17	96	96	104,1	37,5	115	61
13	153	0,96	0,85	24,03	86	17	96	96	103,7	37,9	115	61
14	154	0,96	0,84	23,52	92	17	96	96	102,4	38,4	115	61
15	155	1,08	0,93	25,82	96	18	96	96	101,7	38,4	115	61
16	156	1,11	0,96	26,72	94	16	96	96	101,8	38,3	115	61
17	213	1,57	1,48	37,98	102	17	0	0	103,4	40,3	147	61
18	214	1,51	1,45	38,09	100	18	0	0	104,8	39,4	147	61
19	215	1,47	1,43	38,38	96	19	0	0	105,9	38,9	147	61
20	216	1,33	1,31	36,66	92	21	0	0	108,3	37,6	147	61
21	217	1,15	1,18	34,1	88	22	0	0	111,9	35,5	147	61

Obrázek 32: Ukázka exportovaných dat z programu Excel - spiro

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Phase Name	Stage Name	Time from Start[s]	Load[WATT]	HR[/min]	BPsys[mmHg]	BPdia[mmHg]	ST Ampl - I [mm]	ST Ampl - II [mm]	ST Ampl - III [mm]	ST Ampl - aVR [mm]
2	Pre	Před	3	20	63	0	0	0,6	1,4	0,9	-1
3		Před	17	20	75	0	0	0,4	1,5	1,2	-0,9
4		Před	32	20	82	0	0	0,3	1,4	1,1	-0,8
5		Před	47	20	78	116	67	0,1	1,1	0,9	-0,6
6	Work	Zátěž1	62	71	82	0	0	0,4	1,3	0,9	-0,8
7			77	71	93	0	0	0,3	1,3	1	-0,8
8			92	71	94	0	0	0,2	1,1	0,9	-0,7
9			107	71	96	0	0	0,2	1,1	0,9	-0,7
10			122	71	97	0	0	0,3	1,1	0,8	-0,7
11			137	71	97	0	0	0,4	1,2	0,8	-0,8
12			152	71	97	0	0	0,2	1,1	1	-0,6
13			167	71	101	0	0	0,1	1,1	1	-0,6
14			182	71	101	0	0	0	1,1	1,1	-0,5
15			197	71	100	0	0	0,2	1,2	1	-0,7
16			212	71	102	140	66	0,1	1	0,9	-0,5
17			227	71	103	0	0	0	0,8	0,8	-0,4
18		Zátěž2	242	142	97	0	0	0,2	0,8	0,6	-0,5
19			257	142	115	0	0	0,4	1,2	0,8	-0,8
20			272	142	117	0	0	0,1	0,8	0,7	-0,4
21			287	142	122	0	0	0,3	0,7	0,4	-0,5

Obrázek 33: Ukázka exportovaných dat z programu Excel - ergo [33]

Poznámka: V podkapitole 5.1 Ukazatelé nepřímé kalorimetrie, 6.5 Práce s programem LF8 a SDS-104, 6.6 Práce s výslednými daty a 6.7 Možnosti exportu dat čerpáme informace z příruček k programům, které jsou dostupné na měřicím pracovišti.

V kapitole 6 jsou použity aktualizované a rozšířené informace z vlastní bakalářské práce, týkající se sestavení pracoviště a softwarového prostředí - značeno v textu odkazem "[33]". Předchozí práce byla měřena na stejném pracovišti a zpracována pro účely kardiovaskulárního zhodnocení.

7 Protokol měření

7.1 Studie "Vliv oděvních materiálů na termoregulační odpovědi"

Pro představu, jak budeme při měření postupovat a jakých bychom měli dosáhnout výsledků, si stručně přiblížíme studii "*Vliv oděvních materiálů na termoregulační odpovědi*" publikovanou v roce 2002 v *Textile Research Journal* od autorů *P. Zhang, R. H. Gong* (Department of Textiles, UMIST, Manchester M60 1QD, United Kingdom), *Y. Yanai* (Nisshinbo Industries, Miai Research Centre, Miai, Japan) a *H. Tokura* (Department of Environmental Health, Nara Women's University, Nara, Japan). Studie se zabývá kombinovaným vlivem vlastností oděvních materiálů a větru na fyziologické parametry lidských nositelů. Konkrétně studuje účinnost propustnosti během aktivního cvičení v kontrolovaném prostředí a působení větru [34].

Poznámka: Rok 2002 se může zdát neaktuální, ovšem publikované studie novějšího data z této studie samy vycházejí a odkazují na ni, tudíž tak učiníme taktéž.

Vlastnosti materiálů, ze kterých se vyrábí oděvy, mají velký vliv na pohodlí nositele. Oblečení bylo navrhováno spíše dle módy a technologického vývoje, než na základě vědeckých analýz, jak daný oděv povoluje výměnu tepla mezi nositelem a jeho okolním prostředím. Pro lepší komfort a výkon nositele je nezbytné tyto faktory vzít v úvahu a pochopit vztah mezi materiálem, z něhož je oděv vytvořen, a fyziologickou odpovědí organismu. Faktory jsou veličiny jako obsah vody v materiálu, propustnost pro vodu, propustnost pro vzduch atd. V klidovém stavu organismus produkuje jen málo potu či nasycených vodních par, proto nositel nepocítuje významné rozdíly v komfortu při nošení textilií, jež mají různé vlastnosti. Ale při aktivitě či zvýšené teplotě okolního prostředí tepelná výměna radiací, kondukcí a konvekcí nedostačuje a začne docházet k odpařování potu na kůži. V důsledku vše vede k určitému diskomfortu. Oděv se pak nestává pouze jakýmsi krytem těla na kůži, ale interaguje s ním a spolu s kůží působí na regulaci tělesné teploty s tím, že toto působení je ovlivněno stavem okolí. My se vlastnostmi oděvního materiálu, konkrétně našeho referenčního oděvu, nebude zabývat jako ve studii, spíše se zaměříme na samotný protokol měření [34].

Při měření byly použity dvě sady experimentálních oděvů, jejichž vlastnosti se zkoumaly. Součástí sady bylo spodní prádlo, svrchní oděv a ponožky. Bavlněné oděvy se lišily v tloušťce příze, která ovlivňuje faktor zakrytí kůže. Ten byl v jedné sadě vyšší (94 %), v druhé sadě nižší (77 %) [34].

Bylo testováno 16 osob ženského pohlaví ve věku 19 až 25 let o určité průměrné výšce a tělesné hmotnosti. Měření probíhalo v klimatické komoře při teplotě 23 ± 0.5 °C a relativní vlhkosti 50 ± 5 %, ve stejnou denní dobu a ve stejné fázi menstruačního cyklu. Dvě hodiny před provedením osoby požily jídlo o stejné výživové hodnotě. Po dvou a půl hodině klidu nastala fáze jednohodinového šlapání. Jedna skupina byla testována při působení větru o intenzitě 1,5 m/s (měřeno na hrudi), druhá skupina při bezvětří, a to s oběma typy oděvů [34].

Měření teploty bylo provedeno pomocí sondy termistoru umístěné 12 cm za anální svěrač, kdy se v jednominutových intervalech zaznamenávala rektální teplota. Dále byla každou minutu zaznamenávána teplota měřená na sedmi místech těla (čelo, hrud', paže, ruka, stehno, lýtko, chodidlo), z níž byly určena průměrná teplota kůže (MST) metodou Hardy a Dubois ($MST = 0,07 \cdot T_{\text{čelo}} + 0,35 \cdot T_{\text{hrud'}} + 0,14 \cdot T_{\text{paže}} + 0,05 \cdot T_{\text{ruka}} + 0,19 \cdot T_{\text{stehno}} + 0,13 \cdot T_{\text{lýtka}} + 0,07 \cdot T_{\text{chodidlo}}$). Relativní vlhkost měřil hygrotometr na hrudi [34].

Ze statisticky vyhodnocených údajů vyplynulo následující: Dle očekávání průměrná rektální teplota rostla se zvýšenou tělesnou aktivitou, a to přibližně stejně u obou sad oděvů. Při působení větru byl nárůst více pomalejší u oděvu s menším faktorem zakrytí. Tělesná teplota měřená na hrudníku se na počátku šlapání výrazně změnila, asi po dvaceti minutách se ovšem ustálila. To bylo dáno zvětšeným prokrvením, zvýšenou tvorbou potu a následným ochlazováním pomocí odpařování. Teplota byla nižší při působení větru u oděvu s menším faktorem zakrytí. Obdobně tomu bylo s průměrnou tělesnou teplotou. Byl zjištěn významný rozdíl teplotního mikroklima oděvu a taktéž jeho povrchové teploty. Při působení větru u oděvu s menším faktorem zakrytí byla hodnota nižší. Relativní vlhkost v průběhu šlapání vzrůstala, a to rychleji při bezvětří [34].

Studie poukazuje, že hlavní funkcí oděvu je udržet fyziologickou tělesnou teplotu, jež je závislá na tvorbě a výdeji tepla. Ovlivňujícími faktory jsou prodyšnost, rychlost větru, tělesná aktivita, střih oděvu a vlastnosti tkaniny. Výsledky potvrdily, že tkaniny s vyšším faktorem zakrytí mají nižší prodyšnost (způsobují větší vzrůst rektální teploty, zároveň nižší výdej tepla radiací, kondukcí a konvekcí a v důsledku větší vzrůst tělesné teploty, větší relativní vlhkost). Termoregulační reakce jsou pak ovlivněny prodyšností oděvu a působením větru. Všechny výše zmíněné měřené parametry jsou nižší při nošení oděvu s vyšší prodyšností, tedy s menším faktorem zakrytí [34].

V dnešní době textilní průmysl ve velké míře vychází z poznatků technologického vývoje a z požadavků uživatelů a vyvíjí např. vysoce výkonné sportovní oblečení, aby hypertermie a diskomfort obecně neomezoval ať už sportovní, či jiný výkon člověka.

Poznámka: Faktor zakrytí kůže byl vypočten dle vzorce $C_{fab} = (m_f d_f + m_w d_w - m_f d_f m_w d_w) \times 100$, kde C_{fab} - faktor zakrytí, m_f - hustota útku, m_w - hustota osnovy, d_f - tloušťka útku, jak leží v tkanině, d_w - tloušťka osnovy, jak leží v tkanině. *Útek* je nit provlékající osnovu v příčném směru. *Osnova* je rovnoběžné uložení nití, do kterých se vplétá útek. Útek a osnova tvoří společnou vazbu a jsou na sebe kolmé [15][34].

7.2 Navržený protokol měření

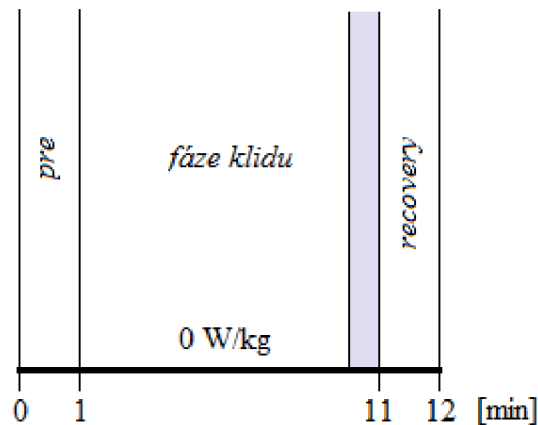
Jak už bylo zmíněno, k obecně přesnějšímu měření se dospěje pomocí tepelného manekýna, ovšem reálnější údaje získáme měřením na lidských dobrovolnících.

Na spolupracujícím pracovišti proběhlo *měření tepelného komfortu manekýna* Karla. Měření probíhalo v referenčním oděvu v klidu při konstantní teplotě okolí a v bezvětří. Zvolili jsme si teplotu 15 °C, 20 °C a 25 °C. Při každé teplotě proběhly tři cykly měření a získali jsme hodnoty pro měřené parametry uvedené v kapitole 3.2.1 výše. Měření jsme provedli i při simulaci chůze při teplotě 20 °C. Další hodnoty jsme získali měřením při totožné teplotě a při působení proudění vzduchu, a to v klidu i při simulaci chůze.

V praktické části *měření na dobrovolnících* jsme pracovali se skupinou asi patnácti jedinců, aby měření bylo v rámci možností dostatečně vypovídající. Část z nich byli muži, přibližně stejného věku, stejné tělesné konstituce a fyzické zdatnosti. Druhá část byly ženy podobné charakteristiky.

Měření vychází ze studie uvedené v kapitole 7.1 výše s tím rozdílem, že jsme neměřili hodnoty teploty, ale hodnoty pro nepřímou kalorimetrii - spotřeba O₂, výdej CO₂ a z nich vycházející parametry. Měření probíhalo ve dvou fázích - fáze klidová a fáze tělesné zátěže.

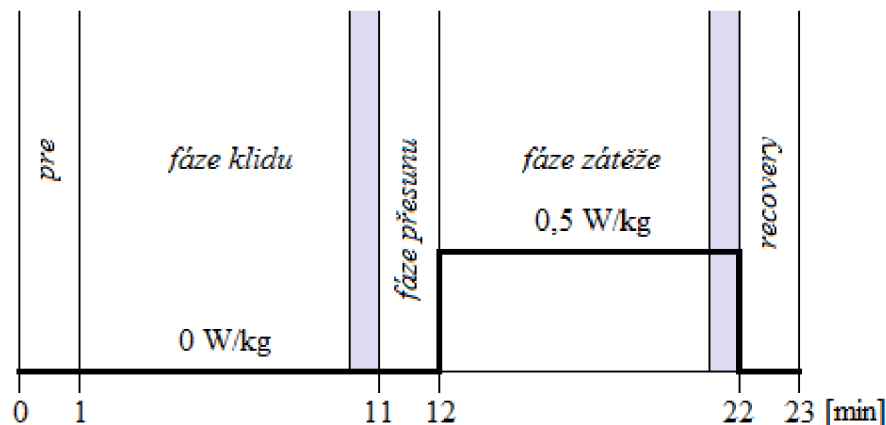
V *klidové fázi* jsme nastavili pomocí vzduchotechniky v metabolické laboratoři teplotu okolního prostředí 15 °C. Dobrovolník, oblečený v referenčním oděvu, se po dobu přibližně 5 minut přizpůsobil nastavené teplotě. Poté v klidu ve stoji 10 minut dýchal do spirometru, jež je součástí měřicího přístroje. Stejně měření, ovšem v jiné dny z důvodu přizpůsobení tepelných podmínek v laboratoři, bylo provedeno po adaptaci na teplotu okolního prostředí 20 °C a 25 °C. Schéma je na Obr. 34. Jednominutový úsek označený "*pre*" představuje přípravnou fázi, úsek "*recovery*" fázi zotavovací. Tyto úseky nejsou zahrnuty do zpracování.



Obrázek 34: Schéma protokolu - fáze klidová ("15", "20", "25", "kolo")

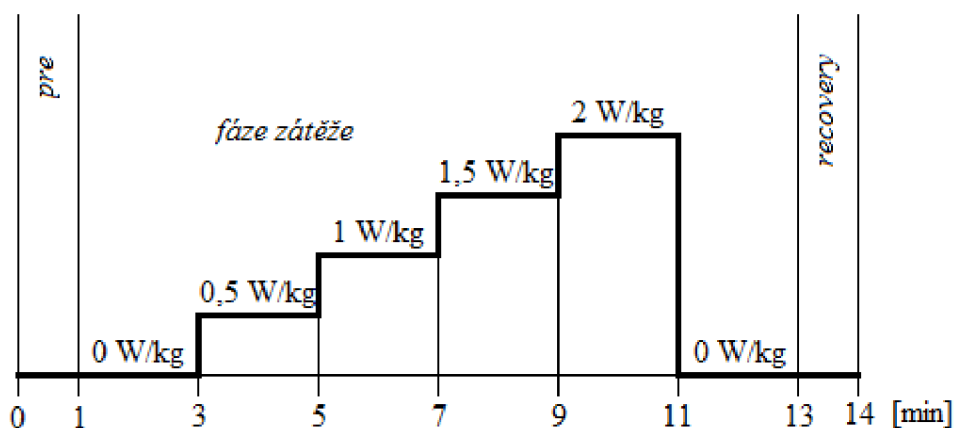
Navíc byli tito dobrovolníci po klidovém měření při teplotě okolí 20 °C vyzváni k vykonání lehké fyzické zátěže formou šlapání na ergometru při zátěži 0,5 W/kg po dobu 5 minut.

Ve fázi tělesné zátěže dobrovolník, oblečený v referenčním oděvu, šlapal na bicyklovém ergometru, a to již při normální pokojové teplotě. Fyzická zátěž byla dvojího typu. Prvním typem byl *protokol lehké zátěže* (0,5 W/kg) následující po změření klidové fáze (Obr. 35) a totožný protokol, ovšem při okolní podmínce proudícího vzduchu na dobrovolníka (zvýšení výdeje tepla konvekcí, vítr o rychlosti 0,8 - 1,2 m/s). Druhým typem byl *protokol stupňované zátěže bez přestávek*, dle schématu znázorněného níže (Obr. 36).



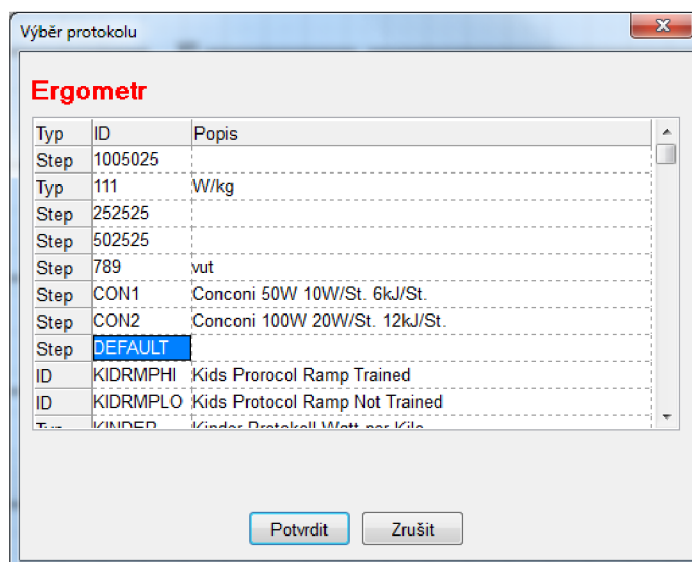
Obrázek 35: Schéma protokolu - fáze tělesné zátěže ("normál", "vítr")

Při všech měřeních byli dobrovolníci vyzváni k vnímání subjektivních pocitů z hlediska tepelného komfortu, jež slovně vyjádřili ihned po skončení měření.



Obrázek 36: Schéma protokolu - fáze tělesné zátěže ("zátež")

Software nabízí přednastavené protokoly. Zvolili jsme si protokol DEFAULT (Obr. 37), který jsme si upravili pro naše měření (Obr. 38).



Obrázek 37: Ukázka výběru přednastavených protokolů [33]

Protokol | Stupně |

Zahřívací fáze

Zátěž W

Zátěž

Doba trvání mm:ss

Počáteční zátěž W

Krok zátěže W

Max zátěž W

Zotavovací fáze

Zotavovací fáze

Zátěž Interval ukládání Auto měření TK

W

% z max zátěže

Obrázek 38: Nastavení protokolu

Poznámka k umístění snímacích elektrod:

Bylo zavedeno modifikované umístění elektrod dle Mason-Linkar z důvodu nepohodlí při fyzické aktivitě a následného rušení signálu pohybem. Elektrody jsou značeny barvami a příslušnými písmenky podle Kódu 1 (IEC). Hrudní elektrody připevníme standardně, ale elektrody pro horní končetiny připevníme dopředu na medioklavikulární čáru pod klíční kost a elektrody pro dolní končetiny na břišní stěnu pod spodní okraj hrudního koše. Pro kontrolu funkčnosti elektrod používáme test elektrod, kdy jsou nefunkční elektrody označeny červeným trojúhelníkem a zvukovým signálem. Na Obr. 39 není zapojena ani jedna elektroda. Detekované napětí [mV] je měřeno mezi elektrodou pro levou nohu a každou další elektrodou [33].

Test elektrod

Elektrody

	Svod	Offset
F		0 mV
R		-325 mV
L		-325 mV
C1	V1	-325 mV
C2	V2	-325 mV
C3	V3	-325 mV
C4	V4	-325 mV
C5	V5	-325 mV
C6	V6	-325 mV
		0 mV
		0 mV
		0 mV
		0 mV

Obrázek 39: Test elektrod [33]

8 Výsledky měření

8.1 Charakteristika dobrovolníků

Pro měření jsme zajistili věkově stejné skupiny dobrovolníků. Jednalo se o fyzicky zdravé subjekty obojího pohlaví, podobné tělesné konstituce a fyzické zdatnosti. Mezi dobrovolníky se nevyskytoval výrazně odlišný jedinec. Nestejný počet a následně rozdílný poměr dobrovolníků mužského a ženského pohlaví u sledovaných skupin je dán určitými potížemi například při udržení stálosti teploty prostředí v laboratoři, kdy nebylo možné zajistit požadovanou teplotu okolního prostředí (vychlazení metabolické laboratoře na 15 °C), popřípadě aktuálním zdravotním stavem dobrovolníka, neumožňující provedení měření.

Co se týče *klidové fáze*, pojmenujeme skupiny dobrovolníků dle teploty okolního prostředí a lehké fyzické aktivity, a to "15", "20", "25", "kolo". S daným označením skupin budeme dále pracovat. Tabulka 11 charakterizuje skupiny.

Tabulka 11: Charakteristika skupin dobrovolníků - klidová fáze

	"15"	"20"	"25"	"kolo"
Muži / Ženy	6 / 2	9 / 7	7 / 6	10 / 7
Věk [roky]	21,00 ± 0,71	21,00 ± 2,18	21,38 ± 2,20	21,12 ± 2,17
Výška [cm]	178,88 ± 9,24	178,13 ± 9,03	178,62 ± 8,73	178,47 ± 8,87
Hmotnost [kg]	68,00 ± 11,98	68,88 ± 12,00	69,38 ± 12,62	69,35 ± 11,80
BMI [kg/m²]	21,18 ± 3,12	21,73 ± 3,82	21,76 ± 3,97	21,79 ± 3,71
BSA [m²]	1,85 ± 0,19	1,85 ± 0,17	1,86 ± 0,18	1,86 ± 0,17

Hodnoty u parametrů v tabulkách představují průměr ± směrodatná odchylka (SD). Směrodatná odchylka SD je definována jako průměr odchylek hodnot od jejich aritmetického průměru.

BMI (Body Mass Index), *index tělesné hmotnosti* - indikátorem nutričního stavu organismu, výpočet: hmotnost [kg] dělená druhou mocninou výšky [m²]. Normální hodnota se pohybuje v rozmezí 20,0 - 24,9 kg/m², hodnoty vyšší značí nadváhu až obezitu, hodnoty nižší naopak podvýživu [2].

BSA (Body Surface Area), *povrch těla* - dle vzorce Du Boise: $\text{výška [cm]}^{0,725} * \text{hmotnost [kg]}^{0,425} * 0,007184$, jednotka [m²] [33].

Co se týče *fáze tělesné zátěže*, pojmenujeme jednotlivá měření dle podmínek, za kterých se měřilo, a dle těžší fyzické aktivity, a to "*normál*", "*vítr*", "*zátěž*". S daným označením budeme dále pracovat. Tabulka 12 charakterizuje skupinu dobrovolníků. Jelikož se měření při výše stanovených podmínkách účastnili stejní jednotlivci, je jejich charakteristika uvedena pouze při podmínce "*zátěž*".

Tabulka 12: Charakteristika skupiny dobrovolníků - fáze tělesné zátěže

	<i>"zátěž"</i>
<i>Muži / Ženy</i>	3 / 4
<i>Věk [roky]</i>	25,71 ± 3,45
<i>Výška [cm]</i>	173,14 ± 7,32
<i>Hmotnost [kg]</i>	74,43 ± 15,15
<i>BMI [kg/m²]</i>	24,58 ± 3,21
<i>BSA [m²]</i>	1,88 ± 0,22

Hodnoty v tabulkách byly získány použitím programu STATISTICA 12 (*StatSoft*), který je volně dostupný pro studenty Vysokého učení technického i Masarykovy univerzity. Pomocí programu STATISTICA 12 bylo provedeno rovněž samotné statistické vyhodnocení, které je náplní dalších kapitol.

8.2 Hodnocení subjektivních pocitů

Při všech měřeních dle výše uvedených protokolů byli dobrovolníci vyzváni k vnímání subjektivních pocitů z hlediska tepelného komfortu se zaměřením na 1., 5. a 10. minutu. Vyjádření tepelného pocitu dle indexu PMV, jež byl popsán v kapitole 2.3, byla zprůměrována v rámci sledované skupiny a jsou shrnuta do následujících tabulek. Zároveň, vedle indexu PMV, je vyjádřena i Bedfordova stupnice, s jejíž pomocí lépe pochopíme pocitové hodnocení tepelného komfortu.

Tabulka 13: Index PMV a Bedfordova stupnice - skupina "15", "20", "25"

	<i>1. minuta</i>	<i>5. minuta</i>	<i>10. minuta</i>
"15"	- 0,5	- 1,4	- 1,7
	příjemně - příjemně chladno	příjemně chladno - chladno	chladno
"20"	0,43	0,36	0,36
	příjemně - příjemně teplo	příjemně	příjemně
"25"	1,1	1,9	2,4
	příjemně teplo	teplo	teplo - velmi teplo

Vyhodnocení tabulky 13: Ze získaných hodnot indexu PMV, můžeme konstatovat, že tepelné pocity dobrovolníků se při změně teploty okolí chovaly dle obecného očekávání. Tedy čím déle setrval dobrovolník v prostředí námi stanovené teploty, tím více se teplota projevila na jeho pocitech. Příkladem je skupina "15", kdy průměrný subjektivní pocit dobrovolníků při nízké teplotě okolí přecházel od pocitu příjemně, přes pocit příjemně chladno, až k pocitu chladno. Obdobně, ale opačným teplotním směrem, se chovala i skupina "25". Skupina "20" zůstávala pocitově stálá, což odpovídá všeobecně známému stavu, a to že lidskému subjektu, je za běžných fyziologických podmínek při pokojové teplotě „dobře“.

Tabulka 14: Index PMV a Bedfordova stupnice - skupina "kolo"

	<i>1. minuta</i>	<i>5. minuta</i>
"kolo"	0,31	1,19
	příjemně	příjemně teplo

Vyhodnocení tabulky 14: Subjektivní hodnocení pocitů odráží fakt, že při krátkodobém vykonávání lehké fyzické zátěže formou šlapání na ergometru se zátěží 0,5 W/kg dojde ke změně ve vnímání tepelného komfortu (změně pocitu tepla)..

Tabulka 15: Index PMV a Bedfordova stupnice - skupina "normál", "vítr"

	<i>1. minuta</i>	<i>10. minuta</i>	<i>21. minuta</i>
"normál"	0,38	0,38	0,88
	příjemně	příjemně	příjemně teplo
"vítr"	- 0,5	- 0,5	-0,13
	příjemně - příjemně chladno	příjemně - příjemně chladno	příjemně

Vyhodnocení tabulky 15: Z hodnot indexu PMV, které udávali dobrovolníci při podmínkách "normál" a "vítr", můžeme říct, že proudění vzduchu na dobrovolníky mělo nemalý vliv na jejich tepelný komfort. Tito pociťovali ochlazování oproti pokojové teplotě okolního prostředí v případě bezvětrí. V obou případech (bezvětrí, vítr) pozorujeme vliv lehké zátěže na zahřátí dobrovolníka. Změnou klidového stavu na fyzickou aktivitu při působení větru vzrostl index PMV přibližně o stejnou hodnotu jako při bezvětrí, pohyboval se logicky v nižších hodnotách indexu. Je třeba poznamenat, že proudění vzduchu bylo směřováno doprostřed hrudníku každého jednotlivce. Použili jsme rotační ventilátor, který zajišťoval ne zcela konstantní proudění vzduchu v celé ploše těla (oproti tepelnému modelu). Rychlost proudění vzduchu se pohybovala přibližně v rozmezí 0,8 m/s až 1,2 m/s.

Tabulka 16: Index PMV a Bedfordova stupnice - skupina "zátěž"

	<i>0. min</i>	<i>2. min</i>	<i>4. min</i>	<i>6. min</i>	<i>8. min</i>	<i>10. min</i>	<i>12. min</i>
"zátěž"	0,13	0,0	1,0	1,5	2,33	3,0	2,0
	příjemně	příjemně	příjemně teplo	příjemně teplo - teplo	teplo - velmi teplo	velmi teplo	teplo

Vyhodnocení tabulky 16: Při absolvování protokolu stupňované zátěže bez přestávek vidíme očekávané větší „zahřívání“ dobrovolníků vlivem těžší fyzické aktivity. Zahřívání dobrovolníka narůstalo až do maxima zátěže (2 W/kg) a po skončení aktivity pozorujeme pokles tohoto tepelného pocitu. V případě, že bychom měřili dlouhodobější časový úsek po skončení aktivity, očekávali bychom návrat k původním klidovým hodnotám pocitového vnímání.

8.3 Tepelný manekýn

Měření tepelného manekýna Karla probíhalo v referenčním oděvu a simulovalo stejné situace, jako u lidských subjektů. Byl měřen příkon a pro naše srovnávání důležitý tepelný tok v klidu při teplotě okolního prostředí 15 °C, 20 °C a 25 °C, dále v klidu při působení proudění vzduchu při teplotě okolního prostředí 20 °C. Proudění vzduchu o rychlosti přibližně 1,2 m/s působilo rovnoběžně na celý model manekýna Karla (technicky se tento typ proudění v podmínkách laboratoře při měření dobrovolníků nepodařilo zajistit). Dále byly změřeny parametry při simulaci fyzické aktivity formou chůze při teplotě okolního prostředí 20 °C v bezvětrí a při působení proudění vzduchu při stejné teplotě okolí. Pro každou z těchto šesti situací proběhly tři cykly měření. Technická stránka měření spočívala v dosažení ustáleného stavu (konstantního příkonu a konstantní teploty všech patnácti segmentů). Nejprve bylo potřeba dosáhnout konstantní teploty okolního prostředí (vždy různý čas dle požadované teploty okolí), pak bylo potřeba vyhřát manekýna na požadovanou teplotu (doba trvání přibližně 20 minut). Po splnění výše uvedeného bylo spuštěno samotné měření do záznamu (měření v ustáleném stavu trvalo 60 minut). Hodnoty na záznamu byly zprůměrovány a my jsme na výstupu dostali jeden výsledek měření. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 17. Samotná doba měření po dosažení ustáleného stavu nerozhoduje, ale vlivem digitálního snímání a řízení může delší doba snímání znamenat vyšší přesnost naměřených hodnot. Tyto budou ovšem vždy kolísat kolem určité hodnoty a pro naše potřeby tuto skutečnost zanedbáme.

Tabulka 17: Výsledky - tepelný manekýn Karel

	<i>Teplota figuríny [°C]</i>	<i>Teplota okolí [°C]</i>	<i>R_{cl} [m².K/W]</i>	<i>Celkový příkon [W]</i>	<i>Tepelný tok [W/m²]</i>
<i>Karel 15 °C</i>	36,53 ± 0,01	16,02 ± 0,11	0,162 ± 0,001	223,17 ± 2,53	126,23 ± 1,43
<i>Karel 20 °C</i>	36,60 ± 0,04	19,43 ± 0,06	0,152 ± 0,000	199,86 ± 1,31	113,05 ± 0,74
<i>Karel 25 °C</i>	36,81 ± 0,01	23,90 ± 0,08	0,160 ± 0,000	142,66 ± 0,63	80,69 ± 0,36
<i>Karel 20 °C vítr</i>	36,62 ± 0,00	20,83 ± 0,40	0,121 ± 0,001	230,71 ± 4,18	130,49 ± 2,36
<i>Karel 20 °C chůze</i>	36,62 ± 0,00	21,85 ± 0,00	0,134 ± 0,000	195,26 ± 0,00	110,44 ± 0,00
<i>Karel 20 °C chůze vítr</i>	36,51 ± 0,00	21,11 ± 0,00	0,114 ± 0,000	238,45 ± 0,00	134,87 ± 0,00

Vyhodnocení tabulky 17: Hodnota tepelného odporu oděvu R_{cl} je ve své podstatě nezávislá na změně teploty okolního prostředí, jelikož charakterizuje oděv samotný a nikoliv reakci na změnu teploty. Když rostla teplota okolního prostředí, klesala hodnota celkového příkonu, ale hodnota R_{cl} se významně neměnila. Naopak byla charakteristika R_{cl}

s vykonáváním simulace chůze, či s prouděním okolního vzduchu menší, což bylo způsobeno větším odváděním tepla z povrchu manekýna do okolí. V případě hodnocení změn tepelného toku (a velmi obdobně příkonu, z kterého tepelný tok vychází) jsme mohli pozorovat, že s rostoucím trendem okolní teploty vznikl klesající trend tepelného toku. To odpovídá logice věci, že v případě větší teploty okolí nebylo potřeba manekýna tolik vyhřívat, a naopak v případě menší teploty okolí bylo potřeba manekýna více vyhřívat, aby dosáhl jeho požadované povrchové teploty. Rovněž z logiky věci vyplývá, že v případě působení proudění vzduchu na manekýna byl tímto ochlazován a bylo ho potřeba více vyhřívat (dodávat větší příkon, než při teplotě okolního prostředí 20 °C). K jeho ochlazování rovněž docházelo při simulaci chůze, ovšem už ne v takové míře. Při současné simulaci chůze a působení větru bylo ochlazování a tím pádem potřebné vyhřívání největší ze všech situací.

8.4 Statistické vyhodnocení

8.4.1 Statistická analýza

Při vyhodnocení výsledků jsme hledali statisticky významný rozdíl hodnot u skupin dobrovolníků, jež byly naměřeny dle stejného protokolu. Jak již bylo zmíněno výše, použili jsme k vyhodnocení program STATISTICA 12 (*StatSoft*).

Statistická analýza nám může odpovědět na otázku, zda je sledovaný rozdíl náhodný či nikoliv. Jinak formulováno, zda přijmeme *nulovou hypotézu* H_0 , kdy je pozorovaný efekt nulový, nebo zda zamítneme H_0 a přijmeme *alternativní hypotézu* H_A , kdy je pozorovaný efekt mezi skupinami různý. Při aplikaci statistické analýzy pracujeme s $H_0 \rightarrow$ mezi skupinami není statisticky významný rozdíl a s $H_A \rightarrow$ mezi skupinami je statisticky významný rozdíl. Významnost stanovené hypotézy hodnotíme na základě tzv. *p hodnoty*. Ta nám vyjadřuje pravděpodobnost, s jakou číselné realizace výběru podporují H_0 , je-li pravdivá. Získanou *p* hodnotu porovnááme s hladinou významnosti α , kterou stanovíme rovnu 0,05 (připouštíme tedy 5% chybu testu). Pokud je *p* hodnota $\leq \alpha$, H_0 zamítáme a přijímáme H_A . Pokud je *p* hodnota $> \alpha$, H_0 nezamítáme a konstatujeme, že rozdíl je statisticky nevýznamný (nesignifikantní, v následujících tabulkách značeno *NS*).

Abychom mohli vhodně porovnávat výsledky měření lidských subjektů s manekýnem Karlem, je potřeba si zavést odvozenou veličinu týkající se energetického výdeje značenou "E". Převodem na dobrovolnících naměřené veličiny EE v jednotkách [kcal/h] na E v jednotkách [W] (vynásobením konstantou 1,163) a dělením plochou povrchu těla BSA [m²] získáme hodnotu E v jednotkách [W/m²]. Upravenou veličinu energetického výdeje již můžeme porovnávat s parametrem tepelný tok, který byl naměřen u manekýna Karla.

8.4.2 Výsledky statistické analýzy

Následuje popis použitých analýz a jejich výsledky vždy vzhledem k vybranému protokolu.

Fáze klidová - skupina "15" × "20" × "25"

Pro statistickou analýzu různých skupin dobrovolníků měřených při různé okolní teplotě jsme zvolili neparametrický test s nepárovým designem (neparametrický test - nejsou předpoklady o rozložení vstupních dat, redukce informační hodnoty původních dat z důvodu nahrazení jejich pořadím; nepárový design - na sobě zcela nezávislé skupiny dobrovolníků s odlišným působením vnějšího prostředí), tzv. *Kruskal-Wallisův test*.

Cílem bylo zhodnotit změny sledovaných parametrů metody nepřímé kalorimetrie v závislosti na změně okolní teploty a odpovědět na otázku, zda má teplota okolního prostředí vliv na metabolismus člověka a s ním spojené ukazatele (H_A), nebo zda žádné změny nesledujeme (H_0). Hledali jsme tedy statisticky významné rozdíly.

Tabulka 18: Statistická analýza - skupina "15" × "20" × "25"

<i>Parametr</i>	<i>"15"</i>	<i>"20"</i>	<i>"25"</i>	<i>p hodnota</i>
<i>VO2 [l/min]</i>	0,28 ± 0,06	0,30 ± 0,07	0,23 ± 0,07	p ≤ 0,05
<i>VCO2 [l/min]</i>	0,25 ± 0,07	0,25 ± 0,06	0,21 ± 0,07	p ≤ 0,05
<i>VE [l/min]</i>	9,34 ± 2,66	9,79 ± 2,80	8,00 ± 0,31	NS
<i>HR [1/min]</i>	91,40 ± 13,52	89,79 ± 11,61	97,06 ± 13,11	NS
<i>BPsys [mmHg]</i>	104,13 ± 10,60	100,59 ± 27,60	91,56 ± 28,39	p ≤ 0,05
<i>BPdia [mmHg]</i>	76,00 ± 7,73	73,26 ± 20,26	66,65 ± 20,13	p ≤ 0,05
<i>RER [-]</i>	0,89 ± 0,07	0,85 ± 0,06	0,90 ± 0,06	NS
<i>VO2/kg [ml/kg/m]</i>	4,11 ± 0,50	4,32 ± 0,84	3,26 ± 0,77	p ≤ 0,05
<i>VCO2/kg [ml/kg/m]</i>	3,64 ± 0,54	3,63 ± 0,62	2,92 ± 0,74	p ≤ 0,05
<i>VE/kg [ml/kg/m]</i>	138,81 ± 24,78	141,77 ± 31,27	113,63 ± 32,51	NS
<i>O2 pulse [ml/beat]</i>	3,27 ± 1,17	3,40 ± 0,89	2,44 ± 0,85	p ≤ 0,05
<i>METs [-]</i>	1,18 ± 0,15	1,24 ± 0,24	0,93 ± 0,22	p ≤ 0,05
<i>E [W/m²]</i>	51,28 ± 8,98	53,63 ± 10,61	41,38 ± 11,27	p ≤ 0,05

Poznámka: Popis a vysvětlení parametrů v tabulkách kapitoly 8.4.2 najdeme v kapitole 6.7 Možnosti exportu dat.

Pro každou analýzu vybíráme nejvíce vypovídající hodnoty, konkrétně vždy hodnoty z poslední minuty měření, či z poslední minuty snímané fáze (vybarveno na schématech protokolů - viz Obr. 34 a Obr. 35).

Vyhodnocení tabulky 18: Po provedení Kruskal-Wallisova testu je z p hodnot patrné, že změna teploty okolního prostředí měla pozorovatelný vliv na objem přijatého O₂ a objem vydechnutého CO₂ (zároveň i v hodnotách vztažených na hmotnost), na systolický a diastolický tlak, pulzní kyslík, hodnotu METs a energetický výdej. Hodnoty zvýrazněné kurzívou určují, mezi kterými skupinami se vyskytl významný vliv teploty na daný parametr. V těchto případech tedy zamítáme H₀ a přijímáme alternativní hypotézu H_A, mezi skupinami je v naměřených parametrech statisticky významný rozdíl. Z hlediska přínosu pro naši práci budeme dále hodnotit především energetický výdej a objemy plynů. Z fyziologického pohledu můžeme z tabulky vyčíst, že s rostoucí teplotou klesala spotřeba O₂ a výdej CO₂, což je dáno běžnou fyziologickou reakcí na změnu teploty. Pokud je teplota nižší oproti normální tělesné teplotě, dochází ke změnám v rámci termoregulace a ke zvýšené spotřebě O₂ a zvýšenému výdeji CO₂. Naopak pokud je teplota vyšší oproti normální tělesné teplotě, dochází rovněž k termoregulačním změnám a ke zvýšené spotřebě O₂ a zvýšenému výdeji CO₂. Pokud bychom naměřili rozmezí okolní teploty nad a pod normální hodnotou tělesné teploty (viz kapitola 1.1.1), získali bychom závislost metabolismu na teplotě ve tvaru křivky "U". Z technických důvodů nebylo možné dosáhnout teploty okolního prostředí přesahující normální tělesnou teplotu. Měřili jsme pouze při teplotě okolí pod hodnotou normální tělesné teploty. S rostoucí teplotou okolního prostředí směrem k hodnotě normální tělesné teploty jsme tedy dostali klesající trend objemu plynů. Fyziologické reakci odpovídá i klesající hodnota energetického výdeje. Ta se pohybovala v hodnotách přibližně $\pm 50 \text{ W/m}^2$, což odpovídá odpočinku/stání (viz tabulka 8, kapitola 4.1.4). Výsledky mohou být zřesleny nestejnými rozestupy teploty okolí, jelikož vychlazení laboratoře se ukázalo být problematické. Hodnoty pro skupinu "15" a "20" jsou si z výše zmíněného důvodu velmi blízké a u některých parametrů není dodržen klesající trend.

Fáze klidová - skupina "15" × "20" × "25" × "kolo"

Po přidání čtvrté skupiny "kolo" do statistické analýzy jsme získali, co se významnosti týče, velmi podobné (téměř stejné) výsledky. Proto je zde nebudeme více rozvádět, statisticky významné hodnoty jsou v tabulce označeny kurzívou.

Tabulka 19: Porovnání výsledků - skupina "20" × "kolo"

<i>Parametr</i>	<i>"kolo"</i>	<i>"20"</i>	<i>p hodnota</i>
<i>VO2 [l/min]</i>	<i>0,68 ± 0,20</i>	<i>0,30 ± 0,07</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>VCO2 [l/min]</i>	<i>0,57 ± 0,18</i>	<i>0,25 ± 0,06</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>VE [l/min]</i>	<i>17,17 ± 5,09</i>	<i>9,79 ± 2,80</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>HR [1/min]</i>	<i>91,23 ± 13,45</i>	<i>89,79 ± 11,61</i>	<i>NS</i>
<i>BPsys [mmHg]</i>	<i>117,73 ± 20,32</i>	<i>100,59 ± 27,60</i>	<i>NS</i>
<i>BPdia [mmHg]</i>	<i>69,33 ± 10,16</i>	<i>73,26 ± 20,26</i>	<i>NS</i>
<i>RER [-]</i>	<i>0,84 ± 0,05</i>	<i>0,85 ± 0,06</i>	<i>NS</i>
<i>VO2/kg [ml/kg/m]</i>	<i>9,67 ± 2,15</i>	<i>4,32 ± 0,84</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>VCO2/kg [ml/kg/m]</i>	<i>8,12 ± 1,86</i>	<i>3,63 ± 0,62</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>VE/kg [ml/kg/m]</i>	<i>245,76 ± 55,07</i>	<i>141,77 ± 31,27</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>O2 pulse [ml/beat]</i>	<i>7,75 ± 2,61</i>	<i>3,40 ± 0,89</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>METs [-]</i>	<i>2,77 ± 0,61</i>	<i>1,24 ± 0,24</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>E [W/m²]</i>	<i>121,38 ± 32,03</i>	<i>53,63 ± 10,61</i>	<i>p ≤ 0,05</i>

Vyhodnocení tabulky 19: V tomto případě pouze zdůrazníme fakt, že naměřené hodnoty objemu plynů, pulzní kyslík, hodnota METs a energetický výdej při lehké fyzické aktivitě v podobě pětiminutového šlapání na bicyklovém ergometru se zátěží 0,5 W/kg vzrostly řádově na dvojnásobek hodnot, které jsme naměřili v klidu bez vyvíjení jakékoliv aktivity. Nárůst naměřených hodnot (objemy plynů, energetický výdej) považujeme za normální fyziologickou reakci na zvýšení fyzické aktivity (viz kapitola 4.1.3). Tento rozdíl by byl pravděpodobně větší, kdybychom parametry měřili dle časově delšího protokolu.

Grafické porovnání sledovaných skupin v podobě krabicových grafů je na Obr. 45.

Fáze zátěže - skupina "normál" × "vítr"

Pro statistickou analýzu dvou stejných skupin dobrovolníků měřených při bezvětří ("*normál*") a při působení proudění vzduchu ("*vítr*") jsme zvolili neparametrický test s párovým designem (neparametrický test - viz výše; párový design - skupiny jsou na sobě závislé), tzv. *Wilcoxonův test*.

Cílem bylo zhodnotit změny parametrů nepřímé kalorimetrie v závislosti na nepřítomnosti či působení okolního proudění vzduchu a odpovědět na otázku, zda má tato vlastnost prostředí vliv na metabolismus člověka a s ním spojené ukazatele (H_A), nebo zda žádné změny nesledujeme (H_0). Hledali jsme tedy, obdobně jako u Kruskal-Wallisova testu, statisticky významné rozdíly.

Tabulka 20: Statistická analýza - skupina "normál" × "vítr" ve fázi klidu

<i>Parametr</i>	<i>"normál" klid</i>	<i>"vítr" klid</i>	<i>p hodnota</i>
<i>VO2 [l/min]</i>	0,31 ± 0,07	0,29 ± 0,07	NS
<i>VCO2 [l/min]</i>	0,26 ± 0,07	0,25 ± 0,06	NS
<i>VE [l/min]</i>	9,63 ± 2,30	9,52 ± 1,89	NS
<i>HR [1/min]</i>	83,07 ± 8,93	76,60 ± 7,30	p ≤ 0,05
<i>BPsys [mmHg]</i>	107,48 ± 14,12	89,48 ± 37,73	NS
<i>BPdia [mmHg]</i>	76,86 ± 7,69	66,24 ± 27,53	NS
<i>RER [-]</i>	0,85 ± 0,05	0,87 ± 0,06	NS
<i>VO2/kg [ml/kg/m]</i>	4,09 ± 0,23	3,89 ± 0,37	NS
<i>VCO2/kg [ml/kg/m]</i>	3,50 ± 0,37	3,37 ± 0,36	NS
<i>VE/kg [ml/kg/m]</i>	129,24 ± 14,74	128,50 ± 8,28	NS
<i>O2 pulse [ml/beat]</i>	3,76 ± 1,03	3,84 ± 0,97	NS
<i>METs [-]</i>	1,18 ± 0,07	1,12 ± 0,10	NS
<i>E [W/m²]</i>	54,46 ± 7,13	51,87 ± 7,46	NS

Tabulka 21: Statistická analýza - skupina "normál" × "vítr" ve fázi zátěže

<i>Parametr</i>	<i>"normál" zátěž</i>	<i>"vítr" zátěž</i>	<i>p hodnota</i>
<i>VO2 [l/min]</i>	0,79 ± 0,23	0,79 ± 0,21	NS
<i>VCO2 [l/min]</i>	0,70 ± 0,20	0,69 ± 0,19	NS
<i>VE [l/min]</i>	20,23 ± 5,40	20,08 ± 4,98	NS
<i>HR [1/min]</i>	101,74 ± 10,41	99,05 ± 9,97	NS
<i>BPsys [mmHg]</i>	118,29 ± 26,85	111,33 ± 13,85	NS
<i>BPdia [mmHg]</i>	68,74 ± 9,44	70,33 ± 8,17	NS
<i>RER [-]</i>	0,89 ± 0,05	0,88 ± 0,04	p ≤ 0,05
<i>VO2/kg [ml/kg/m]</i>	10,46 ± 1,05	10,49 ± 1,03	NS
<i>VCO2/kg [ml/kg/m]</i>	9,30 ± 1,13	9,19 ± 1,06	NS
<i>VE/kg [ml/kg/m]</i>	268,64 ± 24,42	268,84 ± 29,64	NS
<i>O2 pulse [ml/beat]</i>	7,97 ± 2,27	7,94 ± 1,88	NS
<i>METs [-]</i>	2,99 ± 0,30	2,99 ± 0,30	NS
<i>E [W/m²]</i>	140,67 ± 25,36	140,16 ± 22,76	NS

Vyhodnocení tabulky 20 a 21: Po provedení Wilcoxonova testu je z p hodnot patrné, že působení proudícího vzduchu o rychlosti 0,8 - 1,2 m/s nevyvolalo statisticky významné rozdíly naměřených parametrů u dvou stejných skupin dobrovolníků ve fázi klidu i ve fázi zátěže. Přijímáme nulovou hypotézu H_0 , proudění okolního vzduchu nemá významný vliv na metabolismus člověka a s ním spojené ukazatele. V tabulkách vidíme velmi podobné hodnoty naměřených parametrů v bezvětří a při působení větru. Při působení větru jsme měřením nezaznamenali fyziologickou reakci, ale dle indexu PMV a subjektivního hodnocení dobrovolníků jsme zaznamenali vliv na jejich tepelný komfort (kapitola 8.2, tabulka 15).

Fáze zátěže - skupina klid × zátěž

Předchozí srovnání skupin, kdy se měnily větrné podmínky, doplníme srovnáním skupin, kdy větrné podmínky zůstanou stejné, ale bude se měnit fáze klidu a fáze lehké fyzické zátěže. Při statistické analýze opět volíme neparametrický test s párovým designem, tzv. *Wilcoxonův test*. Zjišťujeme, zda má lehká fyzická zátěž vliv na metabolismus člověka vztažený k parametrům nepřímé kalorimetrie (H_A), nebo vliv nemá (H_0).

Tabulka 22: Statistická analýza - skupina klid × zátěž při "normál"

<i>Parametr</i>	<i>"normál" klid</i>	<i>"normál" zátěž</i>	<i>p hodnota</i>
<i>VO2 [l/min]</i>	<i>0,31 ± 0,07</i>	<i>0,79 ± 0,23</i>	$p \leq 0,05$
<i>VCO2 [l/min]</i>	<i>0,26 ± 0,07</i>	<i>0,70 ± 0,20</i>	$p \leq 0,05$
<i>VE [l/min]</i>	<i>9,63 ± 2,30</i>	<i>20,23 ± 5,40</i>	$p \leq 0,05$
<i>HR [1/min]</i>	<i>83,07 ± 8,93</i>	<i>101,74 ± 10,41</i>	$p \leq 0,05$
<i>BPsys [mmHg]</i>	<i>107,48 ± 14,12</i>	<i>118,29 ± 26,85</i>	NS
<i>BPdia [mmHg]</i>	<i>76,86 ± 7,69</i>	<i>68,74 ± 9,44</i>	$p \leq 0,05$
<i>RER [-]</i>	<i>0,85 ± 0,05</i>	<i>0,89 ± 0,05</i>	NS
<i>VO2/kg [ml/kg/m]</i>	<i>4,09 ± 0,23</i>	<i>10,46 ± 1,05</i>	$p \leq 0,05$
<i>VCO2/kg [ml/kg/m]</i>	<i>3,50 ± 0,37</i>	<i>9,30 ± 1,13</i>	$p \leq 0,05$
<i>VE/kg [ml/kg/m]</i>	<i>129,24 ± 14,74</i>	<i>268,64 ± 24,42</i>	$p \leq 0,05$
<i>O2 pulse [ml/beat]</i>	<i>3,76 ± 1,03</i>	<i>7,97 ± 2,27</i>	$p \leq 0,05$
<i>METs [-]</i>	<i>1,18 ± 0,07</i>	<i>2,99 ± 0,30</i>	$p \leq 0,05$
<i>E [W/m²]</i>	<i>54,46 ± 7,13</i>	<i>140,67 ± 25,36</i>	$p \leq 0,05$

Tabulka 23: Statistická analýza - skupina klid × zátěž při "vítr"

<i>Parametr</i>	<i>"vítr" klid</i>	<i>"vítr" zátěž</i>	<i>p hodnota</i>
<i>VO2 [l/min]</i>	<i>0,29 ± 0,07</i>	<i>0,79 ± 0,21</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>VCO2 [l/min]</i>	<i>0,25 ± 0,06</i>	<i>0,69 ± 0,19</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>VE [l/min]</i>	<i>9,52 ± 1,89</i>	<i>20,08 ± 4,98</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>HR [1/min]</i>	<i>76,60 ± 7,30</i>	<i>99,05 ± 9,97</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>BPsys [mmHg]</i>	<i>89,48 ± 37,73</i>	<i>111,33 ± 13,85</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>BPdia [mmHg]</i>	<i>66,24 ± 27,53</i>	<i>70,33 ± 8,17</i>	<i>NS</i>
<i>RER [-]</i>	<i>0,87 ± 0,06</i>	<i>0,88 ± 0,04</i>	<i>NS</i>
<i>VO2/kg [ml/kg/m]</i>	<i>3,89 ± 0,37</i>	<i>10,49 ± 1,03</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>VCO2/kg [ml/kg/m]</i>	<i>3,37 ± 0,36</i>	<i>9,19 ± 1,06</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>VE/kg [ml/kg/m]</i>	<i>128,50 ± 8,28</i>	<i>268,84 ± 29,64</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>O2 pulse [ml/beat]</i>	<i>3,84 ± 0,97</i>	<i>7,94 ± 1,88</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>METs [-]</i>	<i>1,12 ± 0,10</i>	<i>2,99 ± 0,30</i>	<i>p ≤ 0,05</i>
<i>E [W/m²]</i>	<i>51,87 ± 7,46</i>	<i>140,16 ± 22,76</i>	<i>p ≤ 0,05</i>

Vyhodnocení tabulky 22 a 23: Po provedení Wilcoxonova testu je z p hodnot patrné, že při stejné větrné podmínce, ale při změně fyzické aktivity můžeme v naměřených hodnotách pozorovat významný statistický rozdíl téměř ve všech parametrech (hodnoty zvýrazněny kurzívou). Zamítáme H_0 a přijímáme H_A . Hodnoty objemu plynů při lehké fyzické aktivitě vzrostly o více než dvojnásobek hodnoty naměřené ve fázi klidu. Zároveň můžeme konstatovat, že tento nárůst je větší než při lehké fyzické aktivitě ("kolo"), kterou jsme porovnávaly vzhledem ke změně teploty okolního prostředí. Tento větší rozdíl je pravděpodobně dán dvojnásobně delší dobou vykonávání fyzické zátěže a snímání parametrů (desetiminutové šlapání na bicyklovém ergometru se zátěží 0,5 W/kg ku šlapání pětiminutovému se zátěží 0,5 W/kg). Stejně výsledky jsme pozorovali v bezvětrí i při působení větru. Nárůst hodnot objemu plynů a energetického výdeje je při lehké fyzické aktivitě fyziologickou reakcí (kapitola 4.1.3). Hodnoty byly přibližně 140 W/m², což odpovídá lehké až středně těžké práci (viz tabulka 8, kapitola 4.1.4). Subjektivní hodnocení dobrovolníků vykazovalo zahřívání organismu vlivem zátěže v případech bezvětrí i působení větru (viz tabulka 15).

Mimo číselný a slovní popis můžeme výsledky sledovaných skupin porovnat i graficky v podobě krabicových grafů na Obr. 49.

Tepelný manekýn Karel × vybrané skupiny

Nyní porovnáme naměřené parametry u vybraných skupin a tepelného manekýna Karla. Toto zhodnocení nás v rámci diplomové práce a tepelného komfortu zajímalo nejvíce.

Na tomto místě je potřeba vysvětlit, že hlavní linie diplomové práce byla do jisté míry omezena tepelným manekýnem Karlem, konkrétně tím, že jsme získali pouze jeden naměřený parametr, který můžeme srovnávat s lidskými subjekty. V původní představě celého konceptu práce se vyskytovalo více možností měření parametrů, což se v praxi ovšem ukázalo zcela nereálné. Při porovnání obou metodik měření tepelného komfortu budeme tedy nadále pracovat pouze s parametrem energetický výdej E v jednotkách $[W/m^2]$.

Pro statistickou analýzu vybraných skupin dobrovolníků s Karlem jsme zvolili *jednovýběrový t-test*. Ten nám posuzuje, zda se průměr naměřené veličiny ve skupině dobrovolníků (proměnná) statisticky významně liší (H_A) či neliší (H_0) od hodnoty získané při měření parametrů modelu (referenční hodnota, konstanta). V širším smyslu jsme zjišťovali, kdy hodnoty naměřené modelem korespondují s hodnotami naměřenými na lidských subjektech.

Tabulka 24: Statistická analýza - Karel × vybraná skupina

<i>Parametr</i>	<i>Karel</i>	<i>skupina</i>	<i>p hodnota</i>
<i>$E [W/m^2]$ "15"</i>	<i>126,23 ± 1,43</i>	<i>51,28 ± 8,98</i>	$p \leq 0,05$
<i>$E [W/m^2]$ "20"</i>	<i>113,05 ± 0,74</i>	<i>53,63 ± 10,61</i>	$p \leq 0,05$
<i>$E [W/m^2]$ "25"</i>	<i>80,69 ± 0,36</i>	<i>41,38 ± 11,27</i>	$p \leq 0,05$
<i>$E [W/m^2]$ "chůze" ("kolo")</i>	<i>110,44 ± 0,00</i>	<i>121,38 ± 32,03</i>	NS
<i>$E [W/m^2]$ "chůze" (zátěž)</i>	<i>110,44 ± 0,00</i>	<i>140,67 ± 25,36</i>	NS
<i>$E [W/m^2]$ "vítr" + klid</i>	<i>130,49 ± 2,36</i>	<i>51,87 ± 7,46</i>	$p \leq 0,05$
<i>$E [W/m^2]$ "vítr" + "chůze"</i>	<i>134,87 ± 0,00</i>	<i>140,16 ± 22,76</i>	NS

Vyhodnocení tabulky 24: Po provedení jednovýběrového t-testu je z p hodnot patrné, že statisticky významný rozdíl parametru E byl zaznamenán při měření dobrovolníků a Karla při různých teplotách okolního prostředí a při působení proudění okolního vzduchu (hodnoty zvýrazněny kurzívou). Hodnoty u Karla byly více než dvakrát větší než u dobrovolníků. V těchto čtyřech případech zamítáme H_0 a přijímáme H_A . Naopak nulovou hypotézu, bez pozorování statisticky významných rozdílů hodnot, přijímáme ve třech případech, kdy model a dobrovolníci vykonávali fyzický pohyb. Hodnoty se většinou přibližovaly. Z naměřených hodnot energetického výdeje ve vztahu k teplotě je evidentní, že tyto s rostoucí teplotou měly víceméně klesající trend, a to u dobrovolníků i Karla. Grafické porovnání nalezneme na

Obr. 46. Potvrzujeme již výše vysvětlenou fyziologickou reakci. Co se týče srovnání hodnot naměřených v podmínkách měření energetického výdeje při okolní teplotě 20 °C ("20") a v podmínkách při stejné teplotě a vykonávání lehké fyzické zátěže ("chůze", "kolo"), měli bychom z fyziologického hlediska naměřit zvýšení hodnoty jako u dobrovolníků (sloupec *skupina*). To se ovšem u Karla i při opakovaném měření nepodařilo a můžeme konstatovat, že v tomto ohledu jsme nedokázali nahradit lidský subjekt modelem. Problémem může být vyhřívání Karla a dodávaný příkon. Abychom dosáhli simulace lidské tělesné teploty 37 °C, bylo potřeba dodávat na vyhřívání příkon v hodnotách kolem 200 W a vyšší, což už bylo na hranici možností našeho modelu. Fakt, že byl Karel maximálně vyhříván, mohl eliminovat naměření očekávaných změn. Kdybychom model více oblékli (zvětšili izolační vrstvu), mohl by být rozdíl výraznější. Z důvodu zachování stejných podmínek u dobrovolníků a Karla v rámci oděvu nebylo měření s jiným oděvem provedeno. V normě ČSN EN ISO 15831 nalezneme, že v případě dynamického modelu ("chůze") mohou být odchylkami ovlivněny výsledky měření. Tento poznatek by rovněž mohl vysvětlit vzniklý problém nemožnosti naměřit očekávané hodnoty při fyzické aktivitě u Karla. Z výsledků tedy vyplývá, že pomalým pohybem horních a dolních končetin u Karla se nedosáhlo změny (srovnání hodnot "20" x "chůze" a klid+"vitr" x "chůze"+"vitr"). V klidu a při působení větru byli hodnoty u dobrovolníků srovnatelné s klidovými podmínkami bez působení větru, což bylo již vysvětleno. U Karla ale došlo k pozorovatelnému nárůstu hodnot, jelikož byl působením proudění vzduchu ochlazován a bylo potřeba jej více vyhřívát (oproti situaci v bezvětrí při teplotě 20 °C). Při fyzické aktivitě a působení větru ("chůze"+"vitr") byl energetický výdej u dobrovolníků srovnatelný s hodnotou fyzické aktivity bez působení větru (opět potvrzení, že vítr neměl na měřené parametry vliv). Energetický výdej ve stejné situaci u Karla byl z důvodu ochlazování největší ze všech situací. Otázkou zůstává, zda by tato hodnota nebyla mnohem větší, kdyby model nebyl eliminován maximem příkonu. Grafické porovnání všech situací nalezneme na Obr. 50.

8.4.3 Shrnutí

Námi sestavené skupiny dobrovolníků se nelišili věkem, výškou, váhou, hodnotou BMI, ani hodnotou BSA. Při různých teplotách okolního prostředí jsme našli významné rozdíly u naměřených parametrů: spotřeba O₂, výdej CO₂ a energetický výdej E. Při lehké fyzické zátěži tyto rozdíly ještě vzrostly. Při působení proudícího vzduchu oproti bezvětrí byly změny zanedbatelné. Naopak lehká fyzická aktivita oproti klidovému stavu měla významný vliv na měřené parametry. Porovnáním hodnot naměřených u modelu Karla a dobrovolníků jsme zjistili rozdíly při všech měřeních, které probíhaly bez fyzické aktivity. Při vykonávání aktivity byly rozdíly zanedbatelné.

9 Programovací část

9.1 Matlab

Jedním bodem diplomové práce je navrhnout a realizovat program v programovém prostředí Matlab pro zpracování získaných dat s možností porovnat parametry z obou metodik měření tepelného komfortu. Vytvořená aplikace naměřená data načte a zpracuje.

MATLAB (odvozeno z anglických slov *matrix laboratory*) je software pro vědecko-technické výpočty, analýzy, vývoj algoritmů, vytváření modelů a aplikací, vizualizace, simulace, atd. Toto interaktivní prostředí je vyvinuto společností *MathWorks*. Užíváme jej jako nástroj pro pohodlnou interaktivní práci a vývoj mnoha aplikací [35]. Knihovny (toolboxy), které jsou důležitou součástí, obsahují velké množství již vytvořených funkcí. Pro jednodušší používání vytvořených aplikací slouží prostředí, umožňující vytvářet aplikace s grafickým rozhraním, tzv. *GUIDE*.

V dalších kapitolách bude popsán vytvořený program, který umožňuje data získaná softwarem LF8 přístroje PowerCube Ergo zpracovat.

Pro vytvoření programu bylo použito programové prostředí Matlab verze R2012b.

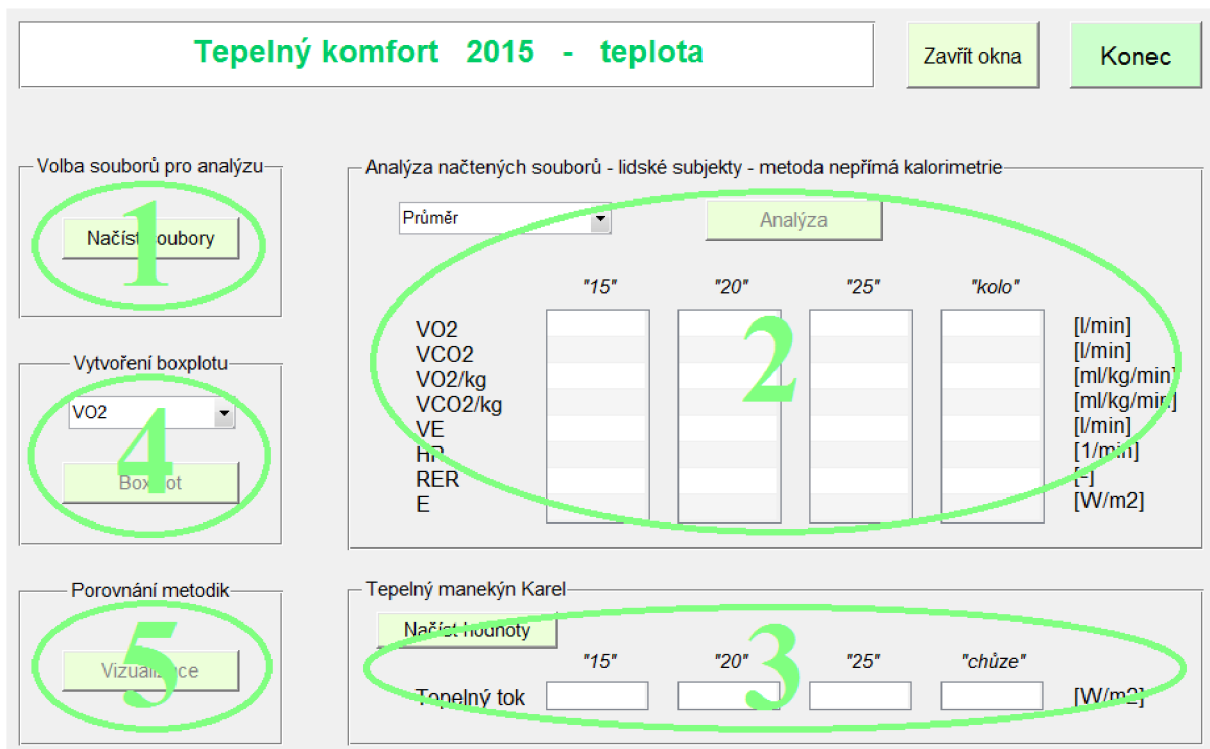
9.2 Hlavní funkce a uživatelské prostředí

Zpracování naměřených dat je rozděleno do tří samostatných částí. Vytvořili jsme tři hlavní funkce - *teplota*, *normal_vitr*, *zatez*. Z těchto jsou si dvě principiálně velmi podobné (rozdíl je v načítání jiných dat). Nyní si jednotlivě popíšeme hlavní funkce.

Část teplota

Hlavní funkce *teplota* slouží ke zpracování hodnot, které byly naměřeny při různých teplotách okolního prostředí dle protokolu fáze klidové ("15", "20", "25", "kolo"). Umožňuje nám hodnotit tepelný komfort v závislosti na změně okolní teploty. Funkce inicializuje prvky pro ovládání grafického rozhraní a spouští uživatelské okno, z něhož se volají (spouští) vedlejší funkce, které budou popsány níže.

Při tvorbě uživatelského okna jsme se snažili o jednoduchost při zachování přehlednosti a pochopitelnosti. Rozdělili jsme jej na oblasti (Obr. 40).



Obrázek 40: Uživatelské okno *teplota* s vyznačenými oblastmi

Oblast 1 umožňuje vybrat soubory k načtení, které chceme zpracovat. Po stisknutí tlačítka „Načíst soubory“ se spustí funkce *nacti_soubory_teploata*.

Oblast 2 slouží pro zobrazení načtených hodnot (VO_2 [l/min], VCO_2 [l/min], VO_2/kg [ml/kg/min], VCO_2/kg [ml/kg/min], VE [l/min], HR [1/min], RER [-], E [W/m^2]) pro čtyři skupiny - "15", "20", "25", "kolo". Po načtení souborů v oblasti 1 se zobrazí hodnoty průměrů naměřených parametrů u všech skupin a zároveň se aktivuje tlačítko „Analýza“ a „Boxplot“. V roletce je možnost výběru ze čtyř způsobů analýzy naměřených dat, a to průměr (součet vybraných hodnot vydělený jejich počtem), směrodatná odchylka (kvadratický průměr odchylek hodnot od jejich aritmetického průměru), modus (nejčastější hodnota, s největší relativní četností) a medián (hodnota dělící řadu seřazených hodnot podle velikosti na dvě stejné poloviny). Po zvolení možnosti v roletce (funkce *vyber_analyza_teploata*) a kliknutí na tlačítko „Analýza“ (funkce *prepocitat_teploata*) dojde ke zvolené analýze a zobrazení výsledků.

Oblast 3 slouží k načtení a zobrazení hodnot tepelného toku (\approx energetický výdej E [W/m^2]), které jsme naměřili u modelu. Tlačítkem „Načíst hodnoty“ se spustí funkce *nacti_karla_teploata* a po výběru souboru s hodnotami (zde pouze jedna možnost) se tyto zobrazí do příslušných polí. Když máme načtené hodnoty u skupin i u Karla aktivuje se tlačítko „Vizualizace“ (v oblasti 5).

Oblast 4 umožňuje zhodnotit data dobrovolníků pomocí vykreslení krabicových grafů - boxplotů z hodnot všech parametrů (VO₂, VCO₂, VO₂/kg, VCO₂/kg, VE, HR, RER, E) pro každou skupinu ("15", "20", "25", "kolo"). Výběrem volby v roletce (funkce *vyber_boxplot_teplota*) a kliknutím na tlačítko „Boxplot“ (funkce *boxplot_teplota*) se otevře nové okno s vybraným zpracováním v podobě krabicových grafů.

Oblast 5 nám dává možnost porovnat parametry z obou metodik měření tepelného komfortu. Po načtení hodnot do všech polí (skupiny a Karel) se aktivuje tlačítko „Vizualizace“. Po kliknutí na něj se spustí funkce *graf_teplota*. V novém okně se vytvoří graf, ve kterém jsou vizuálně zobrazeny hodnoty energetického výdeje u skupin při různých teplotách a lehké fyzické zátěži a hodnoty tepelného toku u Karla při stejných situacích.

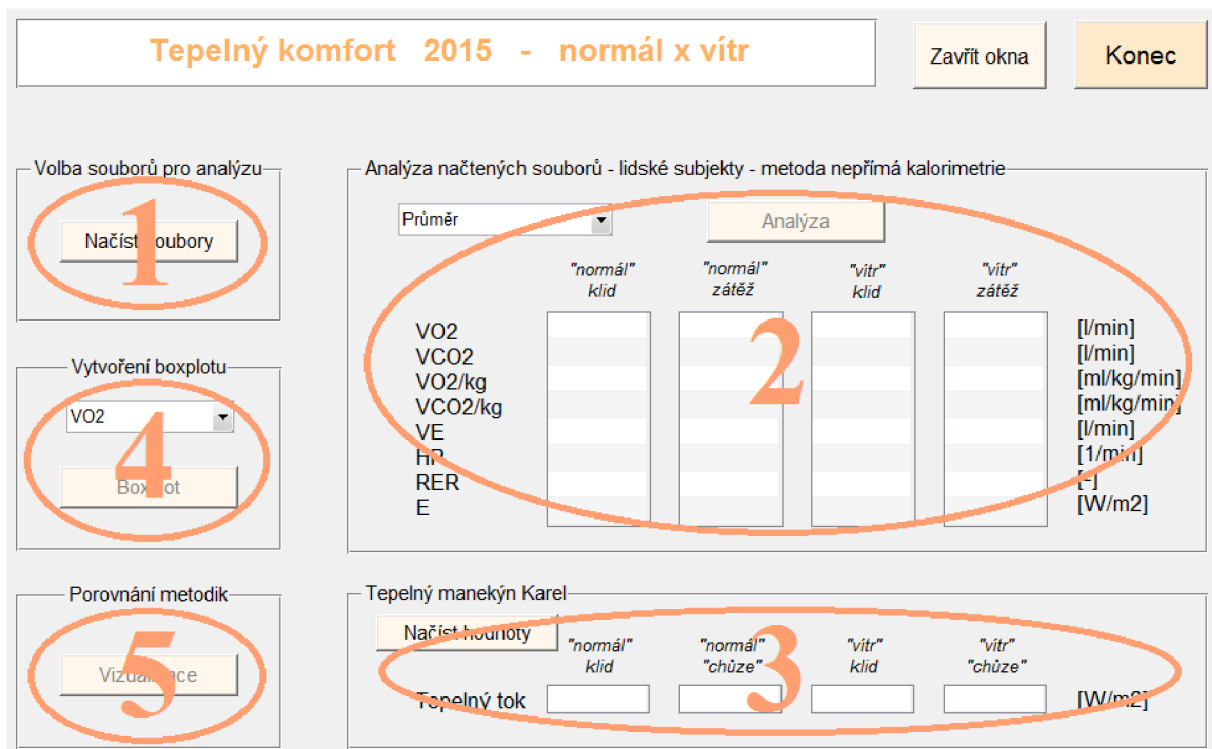
Tlačítko nacházející se vpravo nahoře „Zavřít okna“ spustí funkci *zavri_okna_teplota* a uzavře všechna okna, která vytvoříme při hodnocení dat v oblasti 4 a 5.

Posledním tlačítkem je „Konec“, které program ukončí a uzavře uživatelské prostředí (funkce *konec_teplota*).

Část *normal_vitr*

Hlavní funkce *normal_vitr* slouží ke zpracování hodnot, které byly naměřeny dle protokolu fáze tělesné zátěže ("*normál*", "*vitr*"). To znamená při klidu a při lehké fyzické zátěži bez větru a při klidu a lehké fyzické zátěži s větrem. Můžeme tedy hodnotit tepelný komfort v závislosti na působení proudění okolního vzduchu či v závislosti na fyzické aktivitě. Funkce inicializuje prvky pro ovládání grafického rozhraní a spouští uživatelské okno, z něhož se volají (spouští) vedlejší funkce. Uživatelské prostředí i příslušné funkce jsou velmi podobné části *teplota* (liší se pouze načtením a zpracováním jiných dat), proto je nebudeme opakovaně popisovat a poukážeme jen na jiné názvy funkcí.

Uživatelské okno je opět rozděleno na popsané oblasti (Obr. 41), heslovitě popíšeme příslušné funkce.



Obrázek 41: Uživatelské okno *normal_vitr* s vyznačenými oblastmi

Oblast 1 - tlačítko „Načíst soubory“ (funkce *nacti_soubory*).

Oblast 2 - zobrazení načtených hodnot (VO2 [l/min], VCO2 [l/min], VO2/kg [ml/kg/min], VCO2/kg [ml/kg/min], VE [l/min], HR [1/min], RER [-], E [W/m²]) pro čtyři skupiny - "normál" klid, "normál" zátěž, "vítr" klid, "vítr" zátěž, aktivace tlačítek „Analýza“ a „Boxplot“, roletka (funkce *vyber_analyza*), tlačítko „Analýza“ (funkce *prepcitat*).

Oblast 3 - zobrazení hodnot tepelného toku modelu (\approx energetický výdej E [W/m²]), tlačítko „Načíst hodnoty“ (*nacti_karla*), aktivace tlačítka „Vizualizace“.

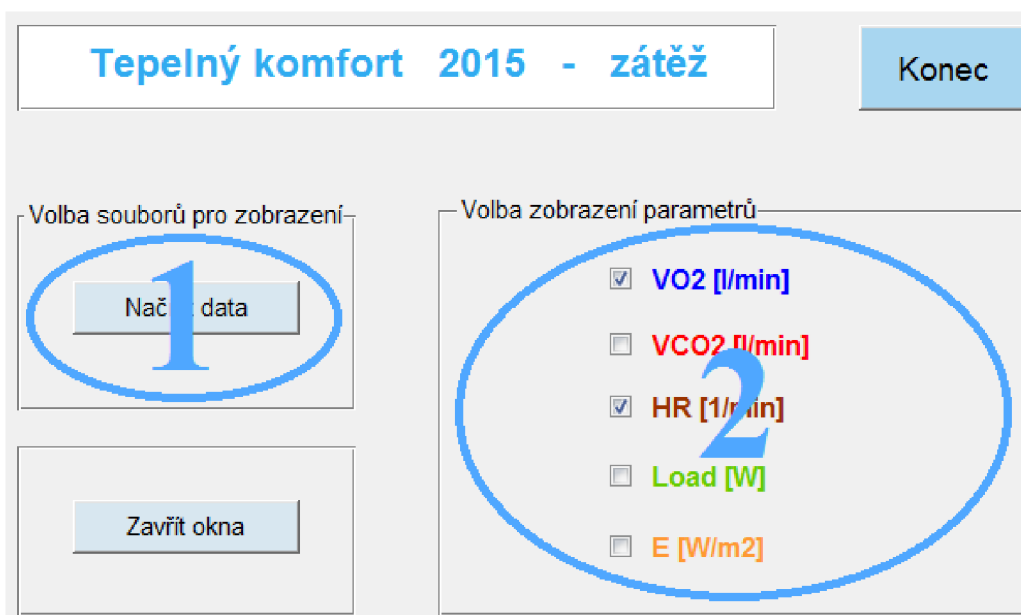
Oblast 4 - vykreslení krabicových grafů - boxplotů všech parametrů (VO2, VCO2, VO2/kg, VCO2/kg, VE, HR, RER, E) pro každou skupinu ("normál" klid, "normál" zátěž, "vítr" klid, "vítr" zátěž), roletka (funkce *vyber_boxplot*), tlačítko „Boxplot“ (funkce *boxplot*).

Oblast 5 - porovnání parametrů z obou metodik měření tepelného komfortu, tlačítko „Vizualizace“ (funkce *graf*), vizuální zobrazení hodnot energetického výdeje u skupin při různých okolních podmínkách (bezvětrí, vítr) a různé fyzické aktivitě (žádná, lehká) a zobrazení hodnot tepelného toku u Karla ve stejných situacích.

Tlačítko „Zavřít okna“ (funkce *zavri_okna_zatez*) a tlačítko „Konec“ (funkce *konec*).

Část zátěž

Hlavní funkce *zátěž* slouží ke zpracování hodnot, které byly naměřeny dle protokolu fáze tělesné zátěže ("*zátěž*"), tedy při stupňované zátěži bez přestávek. Tato část byla změřena a zpracována s úmyslem zhodnotit, jak se člověk cítí v tepelné pohodě při těžké fyzické zátěži (jaký je trend parametrů, popřípadě v jakém rozmezí hodnot, apod.). Hodnoty modelu ke srovnání nemáme k dispozici. Funkce opět inicializuje prvky pro ovládání grafického rozhraní a otevírá uživatelské prostředí, z něhož se spouští vedlejší funkce. V tomto případě je jednodušší než předchozí dvě prostředí (Obr. 42).



Obrázek 42: Uživatelské okno *zatez* s vyznačenými oblastmi

Oblast 1 umožňuje vybrat k načtení data dobrovolníků, která chceme zpracovat. Po stisknutí tlačítka „Načíst data“ se spustí funkce *nacti_soubory_zatez*.

Oblast 2 slouží k výběru parametrů, které budeme chtít zobrazit do grafu (VO2 [l/min], VCO2 [l/min], HR [1/min], Load [W], E [W/m²]). Po načtení dat se otevře nové okno s grafickým zobrazením parametrů, které si můžeme libovolně přepínat.

Tlačítko „Zavřít okna“ (funkce *zavri_okna*) zavírá okna s grafy a tlačítko „Konec“ (funkce *konec*) ukončuje a zavírá celý program.

9.3 Popis dílčích funkcí

Část *teplota*

nacti_soubory_teplota - Funkce načítá data z námi vybraných souborů, které jsou ve formátu “.xlsx“ (“.xls“). Pro správnou funkci je potřeba vždy vybrat minimálně jeden soubor z každé skupiny. Funkce načte hodnoty z příslušných polí pro daný parametr (hodnoty z poslední minuty desetiminutového snímání - zvýrazněno na Obr. 34, kapitola 7.2) a tyto zprůměruje. U parametru energetický výdej navíc přepočte hodnotu na jiné jednotky, jak je vysvětleno v kapitole 8.4.1. Průměrné hodnoty parametru z poslední minuty každého vybraného jednotlivce opět zprůměruje a výsledek zobrazí do příslušného pole v tabulce. Proměnné jsou uloženy a pomocí příkazu *global* jsou sdíleny a předávají se mezi ostatními funkcemi. Nevýhodou je dlouhá doba načítání při volbě více souborů, což je způsobeno velkým množstvím naměřených dat. Na Obr. 43 jsou výsledné hodnoty pro volbu Průměr po načtení všech dostupných (naměřených) souborů.

Analyza načtených souborů - lidské subjekty - metoda nepřímá kalorimetrie

	"15"	"20"	"25"	"kolo"	
VO2	0.2808	0.2978	0.2291	0.7191	[l/min]
VCO2	0.2510	0.2504	0.2059	0.5942	[l/min]
VO2/kg	4.1063	4.3208	3.2628	10.2029	[ml/kg/min]
VCO2/kg	3.6396	3.6313	2.9231	8.4206	[ml/kg/min]
VE	9.3354	9.7840	8.0041	17.6688	[l/min]
HR	91.3958	89.7917	97.0641	95.2647	[1/min]
RER	0.8875	0.8466	0.8959	0.8282	[-]
E	51.2741	53.6321	41.3768	127.8129	[W/m2]

Obrázek 43: Načtená data (volba Průměr) - teplota

prepcitat_teplota - Po prvotním zobrazení průměrů hodnot předchozí funkcí můžeme analyzovat data použitím volby pro výpočet směrodatné odchylky, modus a mediánu. Po zvolení se provede obdobný úkon, jako při přednastavené volbě Průměr. Výsledky se zobrazí do tabulek.

nacti_karla_teplota - Funkce načítá data ze souboru "Karel.xlsx" ("Karel.xls"). Načtené hodnoty zobrazí do příslušných polí. Proměnné jsou uloženy a pomocí příkazu *global* jsou sdíleny a předávají se mezi ostatními funkcemi. Na Obr. 44 jsou načtené hodnoty.

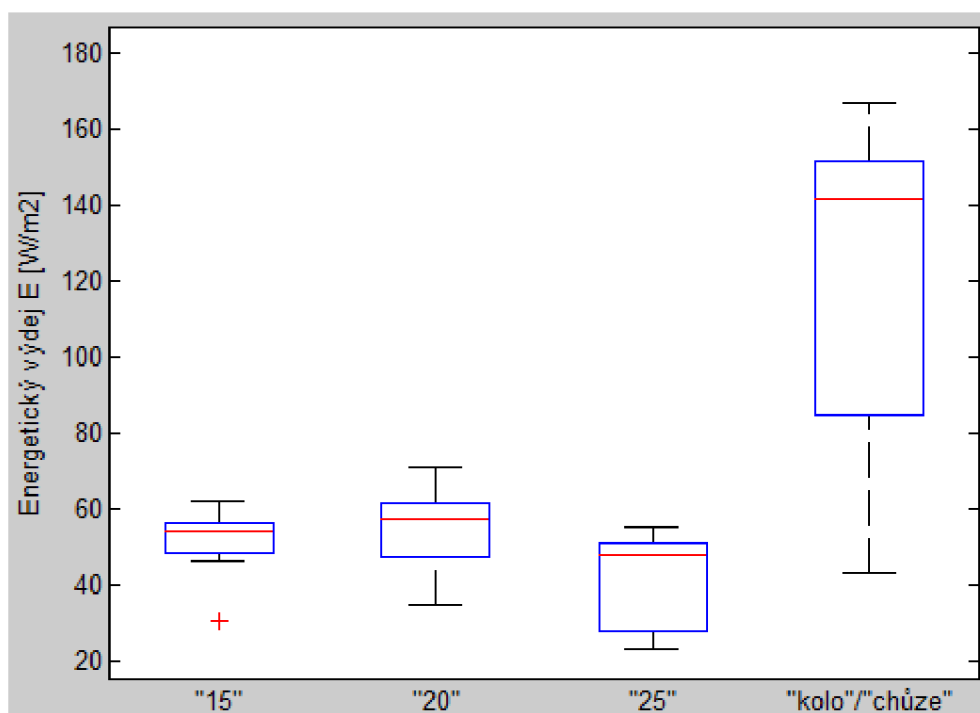
Tepelný manekýn Karel

Načíst hodnoty

	"15"	"20"	"25"	"chůze"	
Tepelný tok	126.2300	113.0500	80.6900	110.4400	[W/m ²]

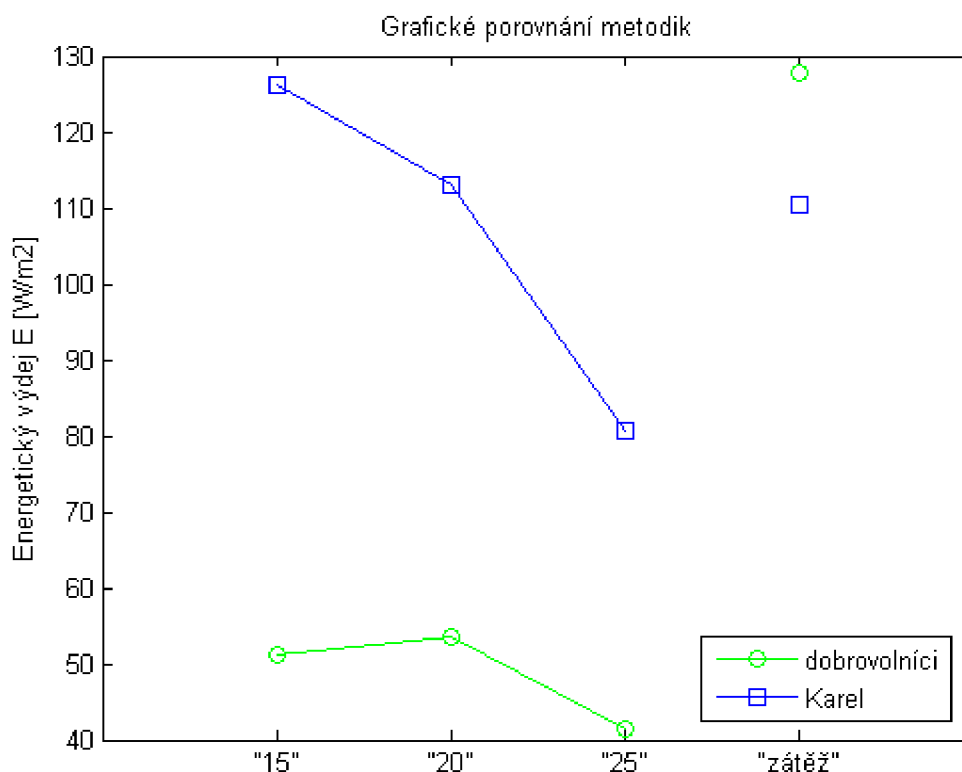
Obrázek 44: Načtená data - Karel - teplota

boxplot_teplota - Funkcí jsou vytvářeny krabicové grafy, tzv. boxploty. Můžeme zobrazit boxploty ze všech parametrů. Na tomto místě je potřeba zdůraznit, že pro správnou funkci a vykreslení, je potřeba na začátku načíst stejné počty souborů z každé skupiny (!). Popis boxplotu: střední čára - medián, horní a dolní hrana - maximální a minimální hodnota, rohy - 25 a 75 percentil. Výstup se zobrazí do nového okna. Na Obr. 45 jsou výsledky po volbě načtení parametru E pouze z těch souborů dobrovolníků, u nichž byli naměřeny všechny čtyři skupiny.



Obrázek 45: Krabicové grafy pro volbu E - teplota

graf_teplota - Funkce vytvoří v novém okně graf s osmi body, čtyři reprezentují průměrnou hodnotu energetického výdeje u skupiny dobrovolníků a čtyři hodnotu tepelného toku u Karla. Při totožné okolní podmínce se hodnota dobrovolníků a hodnota Karla nachází pod sebou. Pomocí spojení bodů můžeme porovnávat například rostoucí či klesající trendy při různých teplotách okolí. Vykreslení po načtení všech dostupných souborů je na Obr. 46.



Obrázek 46: Grafické porovnání metodik - teplota

zavri_okna_teplota - Funkce slouží k zavření všech vytvořených oken (Boxplot, Grafické porovnání metodik).

konec_teplota - Funkce zavírá uživatelské prostředí a ukončuje celý program.

Část *normal_vitr*

nacti_soubory - Funkce načítá data z námi vybraných souborů formátu “.xlsx“ (“.xls“). Opět vždy musíme vybrat minimálně jeden soubor z každé skupiny. Funkce načte hodnoty z příslušných polí pro daný parametr (hodnoty z poslední minuty desetiminutového snímání fáze klidu a z poslední minuty desetiminutového snímání fáze zátěže - zvýrazněno na Obr. 35, kapitola 7.2) a zprůměruje je. U parametru energetický výdej navíc přepočte hodnotu na jiné jednotky

(viz kapitola 8.4.1). Průměrné hodnoty parametru ve fázi klidu a ve fázi zátěže každého vybraného jednotlivce opět zprůměruje a výsledky zobrazí do příslušných polí v tabulce. Proměnné jsou sdíleny pomocí příkazu *global* a předávají se mezi ostatními funkcemi. Nevýhodou je delší doba načítání při volbě více souborů, což je způsobeno velkým množstvím naměřených dat. Na Obr. 47 jsou výsledné hodnoty parametrů sledovaných skupin pro volbu Průměr po načtení všech naměřených souborů.

Analyza načtených souborů - lidské subjekty - metoda nepřímá kalorimetrie

Průměr

	"normál" klid	"normál" zátěž	"vitr" klid	"vitr" zátěž	
VO2	0.3052	0.7898	0.2902	0.7855	[l/min]
VCO2	0.2626	0.7010	0.2512	0.6898	[l/min]
VO2/kg	4.0905	10.4595	3.8881	10.4857	[ml/kg/min]
VCO2/kg	3.5048	9.2952	3.3690	9.1905	[ml/kg/min]
VE	9.6262	20.2310	9.5188	20.0745	[l/min]
HR	83.0714	101.7381	76.5952	99.0476	[1/min]
RER	0.8550	0.8879	0.8657	0.8750	[-]
E	54.4571	140.6729	51.8720	140.1547	[W/m2]

Obrázek 47: Načtená data (volba Průměr) - "normál" x "vitr"

prepcitat - Funkce analyzuje data, můžeme vypočítat a zobrazit směrodatnou odchylku, modus a medián. Po zvolení z nabídky bude proveden úkon, jako při přednastavené volbě Průměr. Výsledky se přepíší do tabulek.

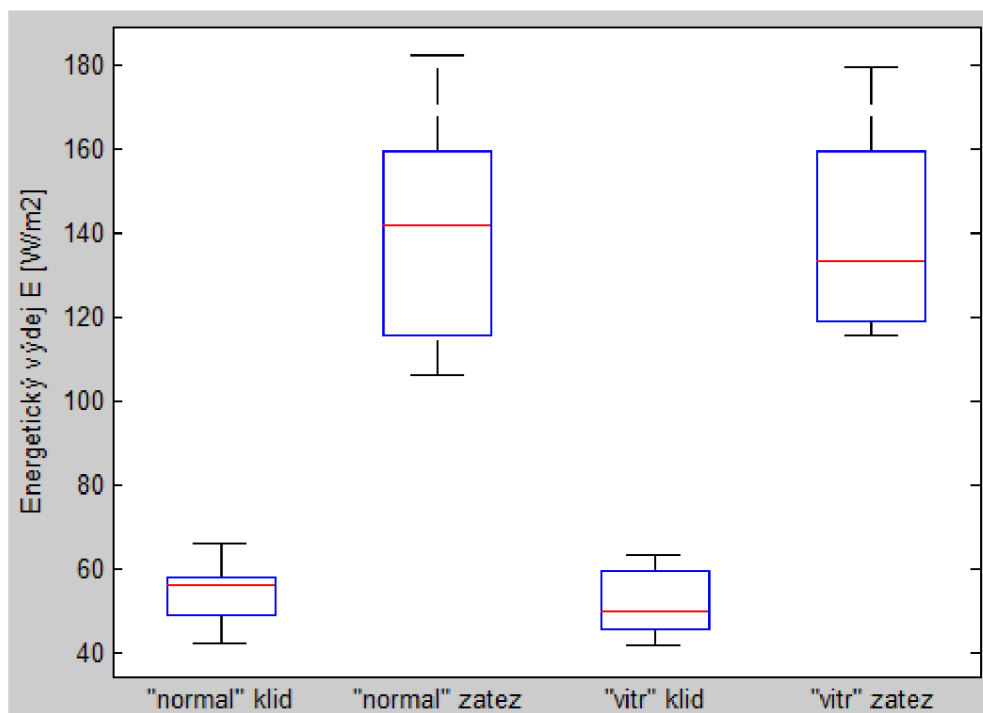
nacti_karla - Funkce načítá data ze souboru - viz *nacti_karla_teplota*. Hodnoty jsou vyobrazeny na Obr. 48.

Tepelný manekýn Karel

	"normál" klid	"normál" "chůze"	"vitr" klid	"vitr" "chůze"	
Tepelný tok	113.0500	110.4400	130.4900	134.8700	[W/m2]

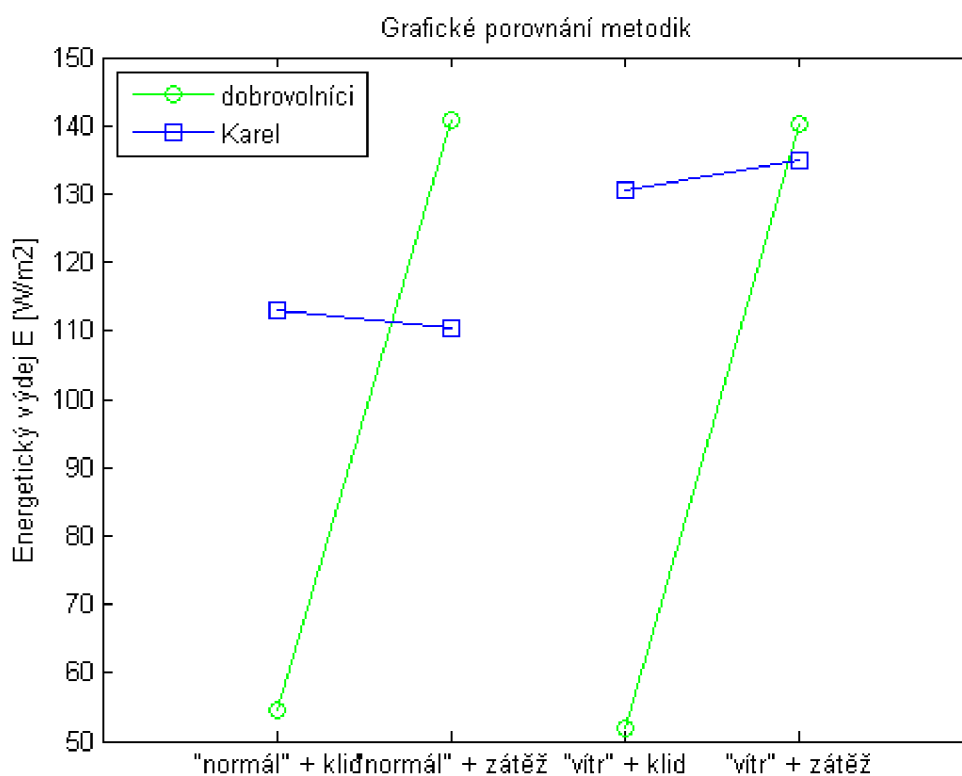
Obrázek 48: Načtená data - Karel - "normál" x "vitr"

boxplot - Funkce slouží ke tvorbě krabicových grafů - viz *boxplot_teplota*. Je potřeba zdůraznit, že pro správnou funkci a vykreslení, je potřeba na začátku načíst stejné počty souborů v každé skupině (!). V novém okně se zobrazí výstup (Obr. 49), jež vychází ze všech naměřených souborů.



Obrázek 49: Krabicové grafy pro volbu E - "normál" x "vitr", klid x zátěž

graf - Funkce viz graf_teplota. Na Obr. 50 je zobrazeno vykreslení pro všechny soubory.



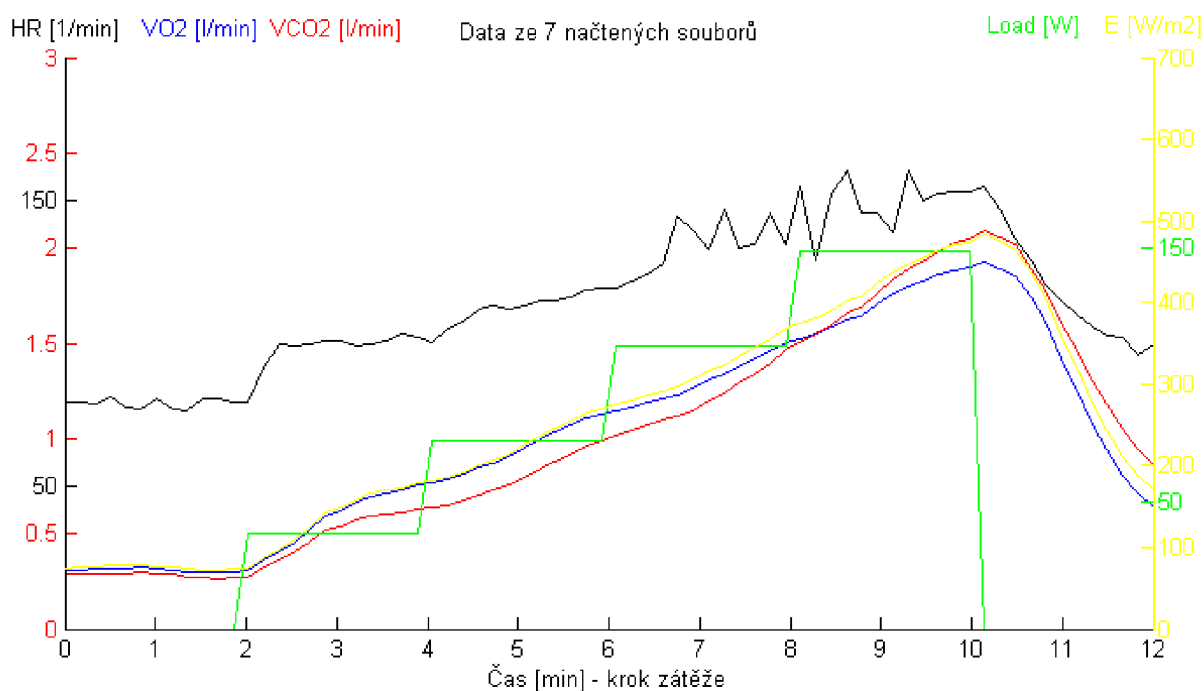
Obrázek 50: Grafické porovnání metodik - "normál" x "vitr", klid x zátěž

zavri_okna - Funkce viz *zavri_okna_teplota*.

konec - Funkce viz *konec_teplota*.

Část zátěž

nacti_soubory_zatez - Funkce slouží ke grafickému zobrazení ergometrických dat dle uživatelské volby (VO₂, VCO₂, HR, Load, E, přednastaveno zobrazení všech parametrů, možno měnit pouze při načtených datech a zobrazení v okně) v závislosti na čase měření, respektive na kroku zátěže. Funkce umožňuje načíst soubory ve formátu ".xlsx" ("xls"), zpracovat a vykreslit data, a to pro jednoho či více dobrovolníků. Po zvolení všech naměřených souborů dostaneme zprůměrovaný grafický výstup v novém okně (Obr. 51).



Obrázek 51: Graf průběhu zátěže

zavri_okna_zatez - Funkce viz *zavri_okna_teplota*.

konec_zatez - Funkce viz *konec_teplota*.

10 Diskuze

Smyslem práce bylo určit v jakých případech a v jakém rozmezí je možné při stanovování tepelného komfortu nahrazovat lidské subjekty tepelnými modely. S rostoucím počtem nových technologií a materiálů vzniká tlak na možnost rychlejšího a spolehlivějšího testování, které může být zajištěno právě nahrazením člověka modelem.

Při praxi v Textilním zkušebním ústavu, kde při testování oděvů pracují s modely, vznikla myšlenka na porovnání modelu a člověka. Otázkou bylo, zda je tato substituce dostatečně vypovídající a kdy je vůbec možná.

V původní představě náplně práce se vyskytovalo více způsobů měření parametrů a tedy více možností následného porovnání metodik. V případě měření u člověka a různých možností získání parametrů pro hodnocení tepelného komfortu by bylo vše v pořádku, ovšem u tepelného modelu se tato představa v praxi postupně ukazovala jako zcela nereálná. Všechny linie práce byly nakonec z technického hlediska omezeny Karlem, konkrétně tím, že jsme mohli naměřit pouze jeden parametr - tepelný tok (respektive dva - příkon a z něj vycházející tepelný tok). Abychom mohli porovnat obě metodiky měření tepelného komfortu, zůstala nám jedna možnost, a to porovnání v rámci parametru nepřímé kalorimetrie energetického výdeje E [W/m^2] u člověka a tepelného toku E [W/m^2] u Karla. Z tohoto důvodu jsme se na parametr E zaměřili při vyhodnocování výsledků měření, při porovnání dat i při vytváření aplikací.

Výhodou modelu je například možnost měřit kdykoliv, bez přítomnosti dohlížejícího, opakovaně, při extrémních teplotách (pozor na omezení příkonu), atd. Na druhou stranu nevýhodou je, že model (v podobě v jaké ho máme k dispozici) nemůže nikdy v plné míře nahradit lidské tělo. Například není schopen fyziologické reakce na změnu v podobě regulace tepové frekvence, nemůže měnit tukovou vrstvu, nedisponuje izolací ve formě kůže a podkožního vaziva, atd. Plně nahradit lidský subjekt tedy model nedokáže.

Nepřesnosti měření mohly být způsobeny i tím, že model byl kvůli napodobení lidského těla vyhříván na teplotu $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je u něj teplota povrchová. Kdežto člověk si z fyziologického hlediska tuto teplotu drží jako centrální a jeho periferie dosahuje teplot nižších (Obrázek 1, 1.1.1 Teplota slupky a teplota jádra). Teplota $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla pro figurínu Karel víceméně hraniční a toto limitní dodávání příkonu mohlo ovlivnit výsledky.

V práci jsme vždy vycházeli z hodnocení skupiny jako celku, tedy z průměru hodnot jednotlivců ve sledované skupině. Hodnocení jednotlivce samotného by nemělo smysl, jelikož by mohl vykazovat metabolické extrém (metabolicky velmi nízké, či velmi vysoké hodnoty).

Část teplota

V rámci toho, abychom nemuseli využívat dobrovolníky, se model při měření reakcí na změnu teploty jeví jako dostačující a užitečný. To se ovšem týká pouze trendů změn, ne konkrétních hodnot. Změny jsou již diskutovány ve vyhodnocení tabulky 24 a znázorněny na Obr. 46.

Námi zjištěné výsledky potvrzují i studie, které byly prezentovány na mezinárodní konferenci v Tampere ve Finsku v září roku 2014. Konference se věnovala testování tepelného komfortu pomocí figurín a outdoorovým výrobkům.

Konkrétní studie, potvrzující naše výsledky, se jmenuje "*Physiological model control of a sweating thermal manikin*" a pochází od skupiny autorů vedené A. R. Curran, USA. Poukazovali na dosti odlišné regulační mechanismy člověka a modelu a hledali vztah mezi přenosem tepla, teplotou pokožky a teplotou uvnitř těla. Z výsledků vyplynulo, že model reagoval pouze na povrchové změny, kdežto člověk disponoval kůží, podkožním vazivem, tukovými vrstvami a jejich vlivy. Změny u člověka byly pomalejšího charakteru. Při provádění studie srovnávali lidské subjekty s tepelným potícím se modelem při různých teplotách v kabině automobilu. Hodnoty teplot povrchu kůže hlavy lidského subjektu a modelu se v čase v závislosti na teplotě pohybovaly po přibližně totožných křivkách (měly stejný trend, nikoliv hodnoty), čehož se podařilo dosáhnout i s parametrem E při našem měření, viz Obr. 46. Hodnoty tepelného komfortu vycházející ze studie rovněž odpovídaly našim výsledkům. Při nízkých teplotách v kabině sledované hodnoty rostly a s vysokou teplotou klesaly. Rovnovážné hodnoty vykazoval lidský subjekt i model při teplotě v kabině 35 - 38 °C, tedy hodnotě blízké normální fyziologické teplotě těla [36].

Další studie je "*Physiological manikin evaluation of wildland fire fighter clothing*" od skupiny autorů vedené E. A. DenHartog, USA. Studie vycházela z faktu, že modely jsou vhodné k rychlému získání výsledků, ale pokládala otázku, jestli jsou takto získané výsledky srovnatelné s praxí. Testovali hasičský oděv na skupině hasičů se zaměřením na povrchovou a rektální teplotu a srovnávali naměřená data s daty získanými měřeními na figuríně. Závěry byly obdobné našemu zjištění, či závěrům předchozí studie, tedy průběhy křivek v reakci na změnu teploty jsou si u člověka a modelu velmi podobné, model reaguje rychleji [36].

Část *normal_vitr*

Při měření reakcí na působení větru či na změnu aktivity už model neodpovídá a nedostačuje (oproti člověku je velmi citlivý na působení větru a naopak na změnu aktivity nereaguje téměř vůbec). Změny jsou diskutovány ve vyhodnocení tabulky 24 a znázorněny na Obr. 50.

Studie přednesená na konferenci a týkající se našich výsledků ohledně působení větru se nazývá "*Prediction of convective heat transfer coefficient for ruck and aperity of clothing surface*" a byla zveřejněna autory vedenými *H. Nagano*, Japonsko. Ve výzkumu se zaměřili na vliv proudění vzduchu na tepelný komfort při oblečení dobře „padnoucího“ oděvu a oděvu „nepadnoucího“ (velká velikost). Zjistili, že se naměřená data mírně odlišují. Například paže a stehna byli různě „obtékány“ vzduchem, nerovný povrch oděvu (záhyby, nakrčení) měnil směr proudění a odvod tepla z povrchu, atd. Tyto rozdíly byly zvýrazněny při vykonávání pohybu. Zásadní tedy bylo, zda oděv „padl“. Pokud oděv správně neseděl, byly zjištěny rozdíly v naměřených datech a hodnocení tepelného komfortu nemuselo být přesné. Můžeme konstatovat, že je důležité dodržet konfekční velikost. Při našem měření nastal právě tento problém, kdy oděv univerzální velikosti nevyhovoval některým ženám menší tělesné konstituce, vytvářel záhyby, nakrčení a na převažující ploše těla nebyl v kontaktu s kůží (především při fyzické aktivitě). Ve studii byl kladen důraz na myšlenku, aby tvar tepelné figuríny v maximální míře odpovídal tvaru člověka a oděv byl dobře „padnoucí“ při srovnávání hodnot měření z obou metodik [36].

Část *zátěž*

Nad rámec práce byl vytvořen protokol stupňované zátěže bez přestávek, s cílem zhodnotit oděv z hlediska funkčnosti při vyšší tělesné zátěži u člověka (bez možnosti porovnat s modelem). U výsledků tohoto měření jsme hodnotili pouze subjektivní pocity dobrovolníků (provádět statistickou analýzu postrádalo smysl) a vytvořili jsme aplikaci pro vizuální zobrazení naměřených dat. Jsme si vědomi, že tento počín je nad rámec zadání, ale považovali jsme za vhodné práci rozšířit.

Na výsledných hodnotách průběhu zátěže (Obr. 51) si můžeme ukázat, že s rostoucí zátěží rostly všechny sledované parametry nepřímé kalorimetrie. Na začátku byly hodnoty objemu plynů O_2 (modrá barva v grafu) a CO_2 (červená barva v grafu) v klidu téměř totožné. Po započetí aktivity začaly objemy rovnoměrně narůstat. Jedná se o aerobní zátěž, kdy je energie získávána z dostatečného přísunu O_2 (kapitola 4.1). Aerobní způsob získávání energie je typický pro déletrvající mírnější zátěž. Se vzrůstající zátěží jsme mohli v posledním kroku pozorovat překmit hodnot objemů O_2 a CO_2 . Označuje se jako tzv. anaerobní práh a používá se k hodnocení zdatnosti organismu. V tento okamžik už organismus nestačí dodávat potřebné množství O_2 do pracujících svalů a orgánů a vzniká tzv. kyslíkový deficit. Anaerobní způsob

získávání energie, kdy se zvyšuje produkce CO₂, je typický pro intenzivní vysokou zátěž, při které organismus není schopen dlouho pracovat. Po skončení zátěže se hodnoty postupně vracely ke klidovým hodnotám. Čas návratu k původním hodnotám byl dán trénovaností jedince a jeho fyzickou zdatností. Maximální hodnoty energetického výdeje (žlutá barva v grafu) se pohybovaly nad 400 W/m², což odpovídá těžké až velmi těžké práci (viz tabulka 8, kapitola 4.1.4).

Možnosti do budoucna

Můžeme se zamýšlet, zda by širší spektrum možností měření u modelu ovlivnilo výsledky. Například rozšíření o elementy umožňující dýchání modelu a měření parametrů nepřímé kalorimetrie by bylo nadstandardem a určitě zajímavým tématem k výzkumu. Dále zakomponování prvků umožňující vykazovat pocení, kdy bychom očekávali naměření větších hodnot tepelného toku, jelikož by byl působením větru více ochlazován, atd.

Možnosti do budoucna s modelem, jež je k dispozici, zůstávají pro srovnání s lidskými subjekty omezené. Námětem pro měření s manekýnem Karlem by mohlo být porovnání parametrů při stejných okolních podmínkách, ale s různými typy oděvů, nebo s oděvem a bez něj, atd.

Ze studií přednesených na proběhlé konferenci můžeme odhadnout směr, kterým se bude vývoj tepelného komfortu ubírat. Především se bude jednat o technologické a funkční zdokonalování textilních materiálů, které mohou nabídnou „něco“ nového, se zachováním nebo dokonce zlepšením vlastností pro dosažení tepelného komfortu. Vývoj se zaměřuje na různé druhy senzorů v oblasti biometrie, ergonomie, zdravotnictví a fitness, bezpečnosti, dále na tepelné senzory či světelné prvky. Snahou je mikroelektroniku integrovat do textilního materiálu tak, aby nebyla viditelná. Za zmínku stojí například bioimpedanční vesta se schopností měřit kumulaci vody na plicích u osob se slabým srdcem, podprsenka se snímačem tepové frekvence, kraťasy s integrovanými senzory pro ověření rovnoměrného zapojení svalů dolních končetin (vhodné pro pacienty po úrazu či sportovce). Toho všeho je možné dosáhnout a tím i posouvat celkový vývoj v oblasti tepelného komfortu pouze se souběžným vývojem a zdokonalováním tepelných manekýnů. V tomto směru se předpokládá vyvinutí systému aktivního chlazení, kde bude chladícím médiem voda, dále pokročilé měření tepelného toku, kdy nebudou mít modely stejnou teplotu po celém těle (zatím nereálné, z důvodu úniku tepla do sousedních zón), a podobné [36].

11 Závěr

Cílem práce bylo seznámit se s problematikou termoregulace a tepelného komfortu u člověka, se zaměřením na její měření a stanovení. V první a druhé kapitole jsme zmínili základní poznatky z fyziologie lidského těla, týkající se regulace tělesné teploty a definovali jsme si tepelný komfort. V kapitole třetí jsme popsali možnosti a metodiky sledování tepelného komfortu pomocí tepelného manekýna a seznámili jsme se s pracovištěm, kde měření probíhalo. V kapitole čtvrté a páté jsme uvedli základní pojmy a parametry při měření metodou nepřímé kalorimetrie a seznámili jsme se s metabolickou laboratoří, kde proběhlo měření na dobrovolnících. Její zařízení jsme popsali v šesté kapitole. V kapitole sedmé jsme navrhli protokoly pro měření parametrů termoregulace se zaměřením na parametry nepřímé kalorimetrie, podle nichž byla pod dohledem vedoucí práce provedena jednotlivá měření na dobrovolnících. Zároveň byl dle stejných protokolů sledován tepelný komfort tepelného manekýna. Vyhodnocení samotných výsledků měření (hlavně ze statistického hlediska) a subjektivních pocitů je sepsáno především formou tabulek v kapitole osmé. V kapitole deváté byly popsány aplikace *teplota*, *normal_vitr* a *zatez* vytvořené v programovém prostředí MATLAB, které umožňují analyzovat data získaná měřením, i s možností porovnat parametry z obou metodik příslušných pracovišť. Data byla následně v kapitole desáté diskutována.

Statistickou analýzou jsme došli k závěru, že změny teploty, či fyzická aktivita měli vliv na parametry nepřímé kalorimetrie měřené u člověka. Naopak působení větru tyto parametry neovlivňovalo. U tepelného modelu jsme zjistili vliv teploty a působení větru na měřený tepelný tok. Fyzická aktivita neměla vliv na tento parametr.

Závěrem můžeme tedy konstatovat, že v případě měření reakcí na změnu okolní teploty můžeme nahradit lidský subjekt modelem. Nahrazení je odpovídající za předpokladu nastavení rozmezí okolních teplot, při kterém je model možné dostatečně vyhřívat. Naopak v případě měření reakcí na působení větru a na změnu fyzické aktivity není nahrazení lidského subjektu modelem vhodné (model je příliš citlivý na proudění okolního vzduchu a neodpovídá fyziologické reakci organismu na zátěž).

Programy, které byly v rámci práce vytvořeny k analýze a porovnání dat, umožňují námi vybrané soubory s naměřenými daty načíst a to v podobě, jak jsme je získaly pomocí softwaru měřicího přístroje. Data mohou být zpracována dle námi zvolené analýzy s možností vytvořit krabicové grafy vybraného parametru nepřímé kalorimetrie. V poslední řadě můžeme vizuálně porovnat trendy naměřených hodnot u lidských subjektů a tepelného modelu.

Programy mohou být využívány na Fyziologickém ústavu Lékařské fakulty pro snadnější a rychlejší zpracování dat při jiných výzkumech prováděných v metabolické laboratoři.

Seznam zkratek a použitých symbolů

<i>ASHRAE</i>	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
t_a	teplota vzduchu
v_a	rychlost proudění vzduchu
<i>ČSN</i>	česká technická norma
<i>ISO</i>	mezinárodní organizace pro normalizaci
<i>EN</i>	evropská norma
<i>RH</i>	relativní vlhkost vzduchu
t_r	střední radiační teplota
R_{cl}	tepelný odpor oděvu
I_{cl}	tepelný odpor oděvu
t_o	operativní teplota
t_{ef}	efektivní teplota
<i>PMV</i>	předpokládaná průměrná volba, Predicted Mean Vote
<i>PPD</i>	předpokládané procento nespokojených, Predicted Percentage of Dissatisfied
<i>TZÚ, s.p.</i>	Textilní zkušební ústav, státní podnik
<i>USA</i>	Spojené státy americké
<i>UK</i>	Spojené království Velké Británie a Severního Irska
<i>acetyl-CoA</i>	acetylkoenzym-A
<i>ATP</i>	adenozintrifosfát
O_2	kyslík
CO_2	oxid uhličitý
H_2O	voda
<i>BMR</i>	bazální metabolismus, Bazal Metabolic Rate
<i>SDA</i>	specificko-dynamický účinek
<i>E</i>	značka energie
<i>SI</i>	mezinárodně domluvená soustava fyzikálních jednotek
<i>J</i>	joule, jednotka energie
<i>cal</i>	kalorie, jednotka energie
<i>kcal</i>	kilokalorie, jednotka energie
<i>MET (METs)</i>	vyjádření výkonu (tepla)
<i>RQ (RER)</i>	respirační kvocient
<i>R</i>	poměr respirační výměny
<i>EKG</i>	elektrokardiografie

<i>VO₂</i>	příjem kyslíku
<i>QO₂</i>	spotřeba kyslíku
<i>VCO₂</i>	výdej oxidu uhličitého
<i>QCO₂</i>	tvorba oxidu uhličitého
<i>STPD</i>	přepočítávací faktor, Standard Temperature Pressure Dry
<i>VI, VE</i>	minutová ventilace
<i>BTPS</i>	objemové ventilační hodnoty, Body Temperature, Ambient Pressure
<i>LF8</i>	software pro PowerCube Ergo
<i>SDS-104</i>	software pro Cardiovit AT-104 PC
<i>spol. s r. o.</i>	společnost s ručením omezeným
<i>ARO</i>	anesteziologicko-resuscitační oddělení
<i>JIP</i>	jednotka intenzivní péče
<i>VO₂</i>	objem kyslíku
<i>VCO₂</i>	objem oxidu uhličitého
<i>SF</i>	srdeční frekvence
<i>HR</i>	tepová frekvence
<i>BMI</i>	index tělesné hmotnosti
<i>BSA</i>	povrch těla
<i>H₀</i>	nulová hypotéza
<i>H_A</i>	alternativní hypotéza
<i>VE</i>	expirační minutová ventilace
<i>BP_{sys}</i>	systolický tlak
<i>BP_{dia}</i>	diastolický tlak
<i>O₂ pulse</i>	pulzní kyslík
<i>E</i>	energetický výdej / tepelný tok

Seznam obrázků

Obrázek 1: Teplota jádra a slupky u neoblečeného člověka [4].....	10
Obrázek 2: Změny tělesné teploty během dne [1].....	11
Obrázek 3: Výdej tepla [4]	14
Obrázek 4: Blokový diagram termoregulace (upraveno dle [5] - Hensen, 1991)	16
Obrázek 5: Tepelný manekýn "Karel" - oblečený do zkušební oděvu [15]	22
Obrázek 6: Tepelný manekýn - schématické uspořádání zón [15].....	22
Obrázek 7: Ukázka výstupu dat získaných měření tepelného komfortu spacího pytle.....	24
Obrázek 8: Schéma přeměny základních živin (upraveno dle [18])	27
Obrázek 9: Kroghův respirometr [3]	31
Obrázek 10: Kapesní spirometr SPIROBANK [21].....	31
Obrázek 11: PowerCube [28][33].....	35
Obrázek 12: Cardiovit AT-104 [30][33]	35
Obrázek 13: Modul podtlakových elektrod a ergometr [31][32][33].....	36
Obrázek 14: Spiro-ergometrické pracoviště jako celek [26][33]	37
Obrázek 15: Kalibrace objemu	38
Obrázek 16: Kalibrace plynů	38
Obrázek 17: Referenční prostředí	39
Obrázek 18: Kartotéka pacientů	39
Obrázek 19: Pacientská data [33]	40
Obrázek 20: Obrazovka připravená na záznam - ergo [33].....	40
Obrázek 21: Obrazovka připravená na záznam - spiro.....	41
Obrázek 22: Obrazovka připravená na záznam - spiro.....	41
Obrázek 23: Obrazovka při samotném měření (hrudní svody, "kolo") - ergo.....	42
Obrázek 24: Obrazovka při samotném měření ("zátěž", zotavovací fáze) - spiro.....	43
Obrázek 25: Výsledky měření - ergo [33]	44
Obrázek 26: Výsledky měření - spiro.....	45
Obrázek 27: Výsledky měření - spiro - Wassermanova okna [33].....	45
Obrázek 28: Ukázka přehledu středních hodnot komplexů svodu V ₁ [33]	46
Obrázek 29: Tabulka ST-amplitud [33].....	46
Obrázek 30: Ukázka ST-trendů [33]	46
Obrázek 31: Ukázka kompletního záznamu vybraného svodu [33].....	47
Obrázek 32: Ukázka exportovaných dat z programu Excel - spiro	48
Obrázek 33: Ukázka exportovaných dat z programu Excel - ergo [33]	48

Obrázek 34: Schéma protokolu - fáze klidová ("15", "20", "25", "kolo")	52
Obrázek 35: Schéma protokolu - fáze tělesné zátěže ("normál", "vítr")	52
Obrázek 36: Schéma protokolu - fáze tělesné zátěže ("zátěž")	53
Obrázek 37: Ukázka výběru přednastavených protokolů [33]	53
Obrázek 38: Nastavení protokolu	54
Obrázek 39: Test elektrod [33]	54
Obrázek 40: Uživatelské okno <i>teplota</i> s vyznačenými oblastmi	70
Obrázek 41: Uživatelské okno <i>normal_vitr</i> s vyznačenými oblastmi	72
Obrázek 42: Uživatelské okno <i>zatez</i> s vyznačenými oblastmi	73
Obrázek 43: Načtená data (volba Průměr) - teplota	74
Obrázek 44: Načtená data - Karel - teplota	75
Obrázek 45: Krabicové grafy pro volbu E - teplota	75
Obrázek 46: Grafické porovnání metodik - teplota	76
Obrázek 47: Načtená data (volba Průměr) - "normál" x "vítr"	77
Obrázek 48: Načtená data - Karel - "normál" x "vítr"	77
Obrázek 49: Krabicové grafy pro volbu E - "normál" x "vítr", klid x zátěž	78
Obrázek 50: Grafické porovnání metodik - "normál" x "vítr", klid x zátěž	78
Obrázek 51: Graf průběhu zátěže	79

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tělesná teplota [1]	9
Tabulka 2: Regulace tělesné teploty (upraveno dle [1][3])	16
Tabulka 3: Tepelný odpor vybraných druhů oděvů dle ČSN EN ISO 7730 [7]	18
Tabulka 4: Vyjádření tepelného pocitu dle indexu PMV (upraveno dle [10])	20
Tabulka 5: Technické specifikace při měření tepelné izolace (upraveno dle [15])	23
Tabulka 6: Přehled vývoje tepelných manekýnů (upraveno dle [17])	25
Tabulka 7: Faktory ovlivňující metabolismus [1][3]	28
Tabulka 8: Hodnoty metabolismu přepočtené na různé jednotky (upraveno dle [8])	29
Tabulka 9: Základní živiny a jejich parametry [1][2][3][19]	30
Tabulka 10: Reaktivní změny na fyzickou zátěž [22]	33
Tabulka 11: Charakteristika skupin dobrovolníků - klidová fáze	55
Tabulka 12: Charakteristika skupiny dobrovolníků - fáze tělesné zátěže	56
Tabulka 13: Index PMV a Bedfordova stupnice - skupina "15", "20", "25"	57
Tabulka 14: Index PMV a Bedfordova stupnice - skupina "kolo"	57
Tabulka 15: Index PMV a Bedfordova stupnice - skupina "normál", "vítr"	58
Tabulka 16: Index PMV a Bedfordova stupnice - skupina "zátěž"	58
Tabulka 17: Výsledky - tepelný manekýn Karel	59
Tabulka 18: Statistická analýza - skupina "15" × "20" × "25"	61
Tabulka 19: Porovnání výsledků - skupina "20" × "kolo"	63
Tabulka 20: Statistická analýza - skupina "normál" × "vítr" ve fázi klidu	64
Tabulka 21: Statistická analýza - skupina "normál" × "vítr" ve fázi zátěže	64
Tabulka 22: Statistická analýza - skupina klid × zátěž při "normál"	65
Tabulka 23: Statistická analýza - skupina klid × zátěž při "vítr"	66
Tabulka 24: Statistická analýza - Karel × vybraná skupina	67

Seznam literatury

- [1] TROJAN, Stanislav a kol. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha: Grada Publishing, a. s., 2003. str. 772. ISBN 80-247-0512-5.
- [2] ROKYTA, Richard a kol. *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetrovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech*. 2. vydání. Praha: ISV nakladatelství, 2008. str. 426. ISBN 80-86642-47-X.
- [3] GANONG, William Francis. *Přehled lékařské fyziologie*. 20. vydání. Praha: Galén, 2005. str. 890. ISBN 80-7262-311-7.
- [4] SILBERNAGL, Stefan, Agamemnon Despopoulos. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vydání. Praha: Grada Publishing, a. s., 2004. str. 448. ISBN 80-247-0630-X.
- [5] HENSEN, Jan LM. *On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system*. Doctoral dissertation. Eindhoven University of Technology, 1991. ISBN 90-386-0081-X.
Dostupné z: http://www.bwk.tue.nl/bps/hensen/publications/91_dissertation.pdf
- [6] CENTNEROVÁ, L. *Tepelná pohoda a nepohoda*. Vytápění, větrání, instalace, 2000, roč. 9, č. 5, s. 213-216. ISSN: 1210-1389.
- [7] ANSI/ASHRAE Standard 55-1992. *Thermal Environment Conditions for Human Occupancy*, 1992
- [8] CENTNEROVÁ, L. *Tradiční a adaptivní model tepelné pohody*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2001. Vedoucí dizertační práce Doc. Ing. Karel Papež, CSc.
- [9] ČSN EN ISO 7730, 2006. *Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-iso-7730-2006-10>
- [10] CHARLES, K. E. *Fanger's Thermal Comfort and Draught Models*. National Research Council Canada. str. 29. [Published online] 10 October 2003. IRC-RR-162. Dostupné z: <http://www.nascoinc.com/standards/breathable/PO%20Fanger%20Thermal%20Comfort.pdf>.
- [11] ČSN EN ISO 15831, 2004. *Oděvy - Fyziologické účinky - Měření tepelné izolace pomocí tepelné figuríny*. Propůjčeno technickým zkušebním ústavem.
- [12] Současnost TZÚ: Textilní zkušební ústav, s. p. *Web Textilní zkušební ústav, s. p.* [Online] pocitacesnadno.cz, 2013-2014. [Citace: 21. listopad 2014.] Dostupné z: <http://www.tzu.cz/historie-tzu-CZ12473>

- [13] Historie TZÚ: Textilní zkušební ústav, s. p. *Web Textilní zkušební ústav, s. p.* [Online] pocitacesnadno.cz, 2013-2014. [Citace: 21. listopad 2014.] Dostupné z: <http://www.tzu.cz/historie-tzu-CZ12473>
- [14] Home page: Textilní zkušební ústav, s. p. *Web Textilní zkušební ústav, s. p.* [Online] pocitacesnadno.cz, 2013-2014. [Citace: 21. listopad 2014.] Dostupné z: <http://www.tzu.cz/home-page-cz-CZ1008>
- [15] Elektronické materiály propůjčené Textilním zkušebním ústavem.
- [16] ČSN EN 342, 2004. *Ochranné oděvy - Soupravy a oděvní součásti na ochranu proti chladu*. Propůjčeno technickým zkušebním ústavem.
- [17] HOLMÉR, Ingvar. *Thermal manikin history and application*. Eur J Appl Physiol 92, str. 614-615, 2004. [Published online] 8 June 2004. DOI 10.1007/s00421-004-1135-0. Dostupné z : <http://link.springer.com/article/10.1007/s00421-004-1135-0#page-1>.
- [18] DOSTÁL, Jiří, Hana PAULOVÁ, Jiří SLANINA, Eva TÁBORSKÁ. *Biochemie pro posluchače bakalářských oborů*. 1. vydání. Brno: Masarykova univerzita, 2009. str. 158. ISBN 978-80-210-5020-4.
- [19] WILHELM, Zdeněk a kol. *Stručný přehled fyziologie člověka pro bakalářské studijní programy*. 4. vydání. Brno: Masarykova univerzita, 2010. str. 117. ISBN 978-80-210-5283-3.
- [20] NOVÁKOVÁ, Zuzana, Robert ROMAN a kol. *Praktická cvičení z fyziologie*. 1. vydání. Brno: Masarykova univerzita, 2009. str. 118. ISBN 978-80-210-4391-6.
- [21] Katalog produktů: Spirometry: Spirometr SPIROBANK, DT. *Web POLYMEDShop.eu*. [Online] POLYMED medical CZ, a.s., 2014. [Citace: 20. prosinec 2014.] Dostupné z: <http://www.polymedshop.cz/z11590-spirometr-spirobank-dt>
- [22] HAVLÍČKOVÁ, Ladislava a kol. *Fyziologie tělesné zátěže: I. Obecná část*. 2. vydání. Praha: Vydavatelství Karolinum, Univerzita Karlova v Praze, 2008. str. 203. ISBN 978-80-7184-875-2.
- [23] PLACHETA, Zdeněk, Jarmila SIEGLOVÁ a kol. *Praktická cvičení z klinické fyziologie pro bakalářské studium Specializace ve zdravotnictví*. 1. vydání. Brno: Masarykova univerzita, 2010. str. 57. ISBN 978-80-210-3620-8.
- [24] Úvod: Kardio-Line spol. s r. o. *Web Kardio-Line spol. s r. o.* [Online] ARTAX, a. s., 2014. [Citace: 14. listopad 2014.] Dostupné z: <http://www.kardioline.cz/HomePage.aspx>.
- [25] O nás: Kardio-Line spol. s r. o. *Web Kardio-Line spol. s r. o.* [Online] ARTAX, a. s., 2014. [Citace: 14. listopad 2014.] Dostupné z: <http://www.kardioline.cz/O-nas.aspx>.

- [26] Produkty: Kardio-Line spol. s r. o. *Web Kardio-Line spol. s r. o.* [Online] ARTAX, a. s., 2014. [Citace: 14. listopad 2014.] Dostupné z: http://www.kardioline.cz/produkty/pneumologie/powercube_ergo/.
- [27] Products: Ganshorn Medizin Electronic. *Ganshorn Medizin Electronic.* [Online] Produkce Ganshorn, 2012. [Citace: 14. listopad 2014.] Dostupné z: http://www.ganshorn.de/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=218.
- [28] Produkte: Berger Medizintechnik GmbH . *Berger Medizintechnik GmbH* . [Online], 2014. [Citace: 14. listopad 2014.] Dostupné z: http://www.bemed.com/cms/website.php?id=/produkte/kardiologie/spirometrie/ganshorn_powercube.php.
- [29] Produkty: Kardio-Line spol. s r. o. *Web Kardio-Line spol. s r. o.* [Online] ARTAX, a. s., 2014. [Citace: 14. listopad 2014.] Dostupné z: http://www.kardioline.cz/produkty/ergospirometrie/cardiovit_at_104/.
- [30] Products Schiller. *Web Schiller AG.* [Online] Produkce DialogArt, 2014. [Citace: 14. listopad 2014.] Dostupné z: [http://www.schiller.ch/?start=false&#verz-schiller\\$_84_100\\$](http://www.schiller.ch/?start=false&#verz-schiller$_84_100$).
- [31] Produkty: Kardio-Line spol. s r. o. *Web Kardio-Line spol. s r. o.* [Online] ARTAX, a. s., 2014. [Citace: 14. listopad 2014.] Dostupné z: <http://www.kardioline.cz/produkty/straessle/dt100/>.
- [32] Produkty: Kardio-Line spol. s r. o. *Web Kardio-Line spol. s r. o.* [Online] ARTAX, a. s., 2014. [Citace: 14. listopad 2014.] Dostupné z: http://www.kardioline.cz/produkty/ergometry/ergoselect_100/.
- [33] ŽÁKOVÁ, M. *Měření parametrů kardiiovaskulárního systému na spiro-ergometrickém pracovišti.* Brno: Vysoké učení technické, 2013. Vedoucí bakalářské práce MUDr. Zuzana Nováková, Ph.D.
- [34] ZHANG, P., Rh. GONG, H. TOKURA. *Effect of clothing material on thermoregulation responses.* Text Res J, 2002, 72(1), pp. 83-89.
- [35] Products and Services: MATLAB. *Web MATLAB - The Language of Technical Computing.* [Online] The MathWorks, Inc., 1994-2015. [Citace: 1. květen 2015.] <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>>.
- [36] Elektronické materiály propůjčené Textilným zkušebním ústavem. Materiály z mezinárodní konference *Ambience14*, 7.-9. 9. 2014, Tampere, Finsko.

Obsah elektronické dokumentace

Soubory:

Zakova_Monika_DP.pdf - elektronická verze diplomové práce

Cti_me.txt - pokyny pro použití přiložených funkcí

Soubory aplikace Microsoft Office Excel ve formátu *.xlsx*

teplota.m - hlavní funkce *teplota*

normal_vitr.m - hlavní funkce *normal_vitr*

zatez.m - hlavní funkce *zatez*

teplota.fig - grafické rozhraní hlavní funkce *teplota*

normal_vitr.fig - grafické rozhraní hlavní funkce *normal_vitr*

zatez.fig - grafické rozhraní hlavní funkce *zatez*

Do hlavní funkce *teplota* jsou zakomponovány funkce *nacti_soubory_teplota*, *prepocitat_teplota*, *nacti_karla_teplota*, *boxplot_teplota*, *graf_teplota*, *zavri_okna_teplota*, *konec_teplota*.

Do hlavní funkce *normal_vitr* jsou zakomponovány funkce *nacti_soubory*, *prepocitat*, *nacti_karla*, *boxplot*, *graf*, *zavri_okna*, *konec*.

Do hlavní funkce *zatez* jsou zakomponovány funkce *nacti_soubory_zatez*, *zavri_okna_zatez*, *konec_zatez*.