

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**Optimalizace vnitřního prostředí bytu pro osoby  
s poruchou termoregulace**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vypracoval:**

**bc, Michal Hoffmann**

**Vedoucí práce:**

**doc. Ing, Michal Kabrhel, Ph.D.**

**2019**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Bc. Hoffmann</u>	Jméno: <u>Michal</u>	Osobní číslo: <u>426310</u>
Zadávací katedra: <u>K125 Technická zařízení budov</u>		
Studijní program: <u>Inteligentní budovy</u>		
Studijní obor: <u>Inteligentní budovy</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Optimalizace vnitřního prostředí bytu pro osoby s poruchou termoregulace</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Optimization of the flat indoor environment for persons with failure of thermoregulation</u>	
Pokyny pro vypracování: Na základě individuálních potřeb lidí s poruchou termoregulace navrhnete algoritmus pro regulaci teploty a vlhkosti v bytě. Algoritmus otestujte v laboratoři personalizované medicíny (UCEEB). Navrhnete řešení pro ukázkový byt.	
Seznam doporučené literatury: Publikace - Česká asociace paraplegiků ( <a href="https://www.czepa.cz/">https://www.czepa.cz/</a> ) Teco Mosaic ( <a href="http://www.tecomat.cz">www.tecomat.cz</a> )	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>20.2.2019</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>19.5.2019</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Hoffmann Michal. *Optimalizace vnitřního prostředí bytu pro osoby s poruchou termoregulace*. Praha: ČVUT 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.



**FAKULTA  
STAVEBNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

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

V Praze dne: 10. 05. 2019

Podpis:

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. a specialistovi Ing. Vítu Janovskému za cenné rady a podněty a vstřícnost při zpracování této diplomové práce. Poděkování patří také panu doc. Ing. Michalu Sněhotovi, Ph.D. ,který mi poskytl data z Laboratoře hydrometeorologie & hydropedologie na UCEEBU a panu RNDr. Vladislavu Martínkovi za poskytnutí dat a umožnění přístupu do systému PV FORECAST. A především své rodině za trpělivost a oporu.

# Abstrakt

Práce se zabývá řešením tepelného komfortu pro osoby s poruchou termoregulace. Cílem práce bylo zjistit optimální podmínky vnitřního prostředí pro tyto osoby a návrh algoritmu regulující teplotu a vlhkost v bytě.

## Klíčová slova

Termoregulace, tepelná rovnováha, osoby s poraněním míchy, vytápění, chlazení, predikce, měření, regulace.

# Abstract

The work deals with the solution of thermal comfort for people with thermoregulation disorder. The aim of this work was to find out optimal conditions of indoor environment for these persons and to design an algorithm regulating temperature and humidity in the apartment.

## Key words

Thermoregulation, thermal balance, persons with spinal cord injuries, heating, cooling, prediction, measurement, regulation.

# Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Produkce tepla a tepelný komfort</b> .....	<b>7</b>
1.1 Výsledný tepelný stav člověka .....	7
1.2 Vnitřní produkce tepla .....	7
1.3 Teplota těla .....	7
1.4 Měření teploty tělesného jádra .....	8
1.5 Řízení a regulace teploty tělesného jádra .....	9
<b>2 Změny organismu u osob s poraněním míchy</b> .....	<b>10</b>
2.1 Změna termoregulace.....	10
2.2 Změna metabolismu .....	11
2.3 Teplota kůže.....	12
2.4 Shrnutí.....	13
2.5 Regulace teploty s vazbou na teplotu hlavy SCI .....	13
2.6 Radiační pohoda .....	13
2.7 Rovnice tepelné rovnováhy těla .....	14
2.7.1 Vnitřní produkce tepla .....	14
2.7.2 Určení hodnoty metabolismu M.....	14
2.7.3 Mechanická práce W .....	16
2.7.4 Tepelný tok sáláním R.....	16
2.7.5 Tepelný tok prouděním C .....	17
2.7.6 Tepelná ztráta vypařováním E .....	18
2.7.7 Tepelná ztráta dýcháním .....	18
2.8 Kvalita spánku .....	18
2.9 Rovnice tepelné rovnováhy při spánku .....	19
<b>3 Návrh systému vytápění a klimatizace</b> .....	<b>21</b>
3.1 Stanovení optimálního teplotního a vlhkostního komfortu .....	21
3.2 Systém vytápění.....	21
3.3 Systém klimatizace.....	21
<b>4 Návrh regulace teploty v ukázkovém bytě</b> .....	<b>22</b>
4.1 Blokové schéma soustavy .....	22

4.2	Regulace zdroje tepla/chladu .....	22
4.3	Výpočet potřebného výkonu vytápění/chlazení místnosti.....	22
4.3.1	Určení $Q_z$ .....	23
4.3.2	Výpočet $Q_d$ .....	24
4.4	Prediktivní model .....	29
<b>5</b>	<b>Měření .....</b>	<b>31</b>
5.1	Měřený objekt.....	31
5.2	Měřící postup .....	31
5.2.1	Schéma půdorysu.....	32
5.3	Regulace operativní teploty.....	32
<b>Závěr</b>	<b>.....</b>	<b>33</b>
<b>Seznam použité literatury</b>	<b>.....</b>	<b>34</b>
<b>Použité nařízení a normy</b> .....	<b>.....</b>	<b>35</b>
<b>Seznam obrázků a tabulek</b> .....	<b>.....</b>	<b>35</b>
<b>Zdroj dat</b> .....	<b>.....</b>	<b>35</b>
<b>Přílohy</b> .....	<b>.....</b>	<b>36</b>



# Úvod

Projekt je projektován pro sdružení Paraple, které se zabývá péčí o lidi s poraněním míchy (SCI). V rámci plánované rekonstrukce by chtěli realizovat ukázkový byt s moderními technologiemi. Jednou z hlavních problémů SCI je porucha termoregulace a proto jsem se zabýval řešením regulace teploty v tomto bytě. Projekt je, ale teprve ve fázi příprav a proto nejsou známy přesné skutečnosti. Návrh je proto realizován tak aby okrajové podmínky bylo snadné upravit.

Cílem teoretické části je sestavit vhodné hodnoty a průběhy vnitřní teploty v místnosti, v průběhu dne a roku pro lidi s chronickým postižením míchy. Byla sestavena rovnice tepelné rovnováhy s upravením parametrů. A navrhnout regulační algoritmus.

# TEORETICKÁ ČÁST

# 1 Produkce tepla a tepelný komfort

## 1.1 Výsledný tepelný stav člověka

Člověk potřebuje do okolního prostředí odvádět teplo, které jeho tělo produkuje. Hlavním úkolem lidského organismu je udržet konstantní teplotu jádra lidského těla tzv. homoiotermní části. To je docíleno pomocí části těla s proměnlivou teplotou tzv. poikilothermní části, která teplotu jádra reguluje. Podmínkou pro udržení konstantní teploty je tedy tepelná rovnováha mezi organismem člověka a okolním prostředím. Pokud je z těla odvedeno více tepla, než je metabolismem vyrobeno a získáno z okolí, nastává pocit chladu, a naopak pokud je odvedeno méně tepla, nastává pocit tepla. [2]

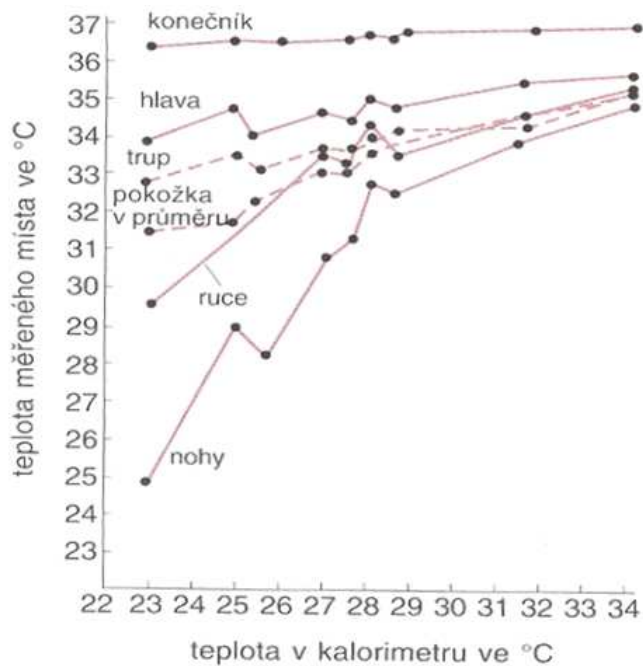
## 1.2 Vnitřní produkce tepla

Základní tvorba tepla je bazálním metabolismem tzv. metabolické teplo bazální, představuje energii potřebnou pro udržení homeostázy a metabolické aktivity buněk v klidu. Výsledná tepelná produkce člověka tzv. metabolické teplo brutto, se skládá z bazálního metabolického tepla a z tepelné produkce při vykonávané práci tzv. metabolické teplo netto. Metabolické teplo netto závisí především na fyzické aktivitě. Na metabolismus je ovlivněn i přijímanou potravou. [1]

## 1.3 Teplota těla

Hlavním úkolem lidského organismu je udržet konstantní teplotu jádra lidského těla tzv. homoiotermní části. Ta se skládá z hlavních vnitřních orgánů a požaduje teplotu kolem  $36,8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Konstantní teploty je docíleno pomocí části těla s proměnlivou teplotou tzv. poikilothermní části. Ta se skládá z kůže, podkoží a končetin a její teplota se může měnit v značném rozsahu. Dodržuje, ale dva gradienty a to, že klesá od vnitřních partií k povrchu těla a od hlavy ke končetinám. Podmínkou pro udržení konstantní teploty je tedy tepelná rovnováha mezi organismem člověka a okolním prostředím. [2]

Přibližná závislosti teploty různých partií a teploty okolí je uvedeno na obrázku 1.



Obrázek 1. Vliv teploty prostředí na teplotu rektální a teplotu slupky tělní [9]

## 1.4 Měření teploty tělesného jádra

Teplota tělesného jádra ( $t_b$ ) měříme v průmyslových podmínkách nejčastěji na bubínku (teplota bubínková) ( $t_{ty}$ ) nebo pod jazykem v dutině ústní - teplota orální ( $t_{or}$ ). Při kontinuálním sledování teploty těla a v laboratorních podmínkách se používá teplota rektální ( $t_{re}$ ) nebo teplota v zevním zvukovodu ( $t_{ac}$ ), případně teplota měřená v jícnu ( $t_{es}$ ). Teplota měřená v podpaží není vhodným indikátorem teploty tělesného jádra a pro účely fyziologie práce se nehodí. Podmínky měření teploty tělesného jádra a interpretace výsledků jsou obsaženy v ČSN EN ISO 9886. [2]

- **Teplota tympanální ( $t_{ty}$ )** odpovídá nejlépe teplotě diencefalické měří se bezkontaktními teploměry, které registrují infračervené záření vyzařované z bubínku. U dospělých je nutné vyrovnat zakřivení zevního zvukovodu tahem za ušní boltec nahoru a dozadu. K chybám může dojít, pokud není zevní zvukovod vyčištěn.
- **Teplota rektální ( $t_{re}$ )** se měří sondou zavedenou do rekta. Rectum je obklopeno rozsáhlou hmotou abdominálních tkání, a proto je nezávislá na zevní teplotě. Naměřené hodnoty jsou shodná s teplotou  $t_{ty}$ . Teplota rektální má však velké zpoždění, proto není vhodná pro informaci o rychlých změnách teploty těla. K chybám může dojít v případě, že konečník není dokonale vyprázdněn.
- **Teplota orální ( $t_{or}$ )** měří se pod jazykem, přičemž čidlo teploměru se musí dotýkat spodiny jazyka, ústa musí být uzavřená. Teplota podjazyková může být ovlivněna příjmem po-

travy nebo nápojů a dýcháním, časový odstup od posledního jídla nebo pití musí být alespoň 10 minut. Naměřené hodnoty jsou cca o 0,5 °C nižší než u teploty tympanální a rektální. Průměrná orální teplota měřená na velkém souboru osob činí  $36,7 \pm 0,4$  °C.

• **Teplota v zevním zvukovodu (tac)** – měří se teplota vzduchu v miniaturním prostoru mezi bubínkem a sondou, která prochází ucpávkou zavedenou do zevního zvukovodu. Měřené ucho musí být chráněno proti působení zevních podmínek. Je více ovlivněna kolísáním zevních podmínek než tly. Teplota tělesného jádra kolísá v závislosti na cirkadiálním rytmu. Nejnižší je mezi 3. až 4. hodinou ránní, nejvyšší mezi 16. až 18. hodinou. Ženy navíc mají měsíční cyklus teplotních změn charakterizovaný zvýšením teploty těla o 0,5 °C v průběhu ovulace a následující sekreční fáze menstruačního cyklu. [2]

## 1.5 Řízení a regulace teploty tělesného jádra

Za bazálních podmínek činí tepelná produkce lidského organismu okolo 300 kJ/h (83 W). Při zcela chybějící termoregulaci by tato tepelná produkce vedla ke zvýšení teploty těla o 1 °C za hodinu. Účinek lidské činnosti je většinou do 30 % při nejnáročnějších aktivitách a zbytek energie se přemění na teplo, které z organismu musí být odvedeno. Termoregulace je řízena ze dvou center mozku, které sbírají informace přicházející z chladových a tepelných termoreceptorů v kůži a z vnitřních termoreceptorů v hlubokých tkáních (svalech, míše, mozku i samotném termoregulačním centru). Pokud jsou požadované hodnoty teplot pozměněny, vyšle korekční signály do tří výkonných systémů, což jsou: **autonomní nervstvo** (cévní reakce), **endokrinní systém** (metabolismus) a **aktivace motivačních center** v limbickém systému (poskakování, schoulení se do klubíčka). [2]

**Autonomní nervová soustava** způsobuje okamžitou odezvu na podnět termoreceptorů, hlavní znaky jsou udržování srdeční a dýchací frekvence, vykonává proces trávení, pocení, močení a tvoří sliny. [3]

**Endokrinní systém** produkuje a do krve uvolňuje hormony, uplatňuje se hlavně při pomalejších regulacích dlouhodobého charakteru. Rychlost odezvy na podnět je sice pomalejší než u nervové soustavy, ale působí déle. [4]

Podráždění tepelných receptorů vede k otevření krevních kapilár v kůži s cílem zvýšit odvod tepla do okolního prostředí vedením, prouděním a sáláním tzv. suchá výměna tepla. Krev přebírá funkci chladicího media a odvádí teplo z místa jeho vzniku (ve svalech) ke kůži, odkud je předáváno do okolního prostředí.

**Vazodilatace** je pojem pro rozšíření cév a zvýšení krevního průtoku, což umožňuje krvi lépe předat teplo k povrchu těla-proces ochlazování těla.

**Vazokonstrikce** je pojem stažení cév a snížení krevního průtoku, snížení předávání tepla krví k povrchu těla-proces snížení tepelných ztrát.

Pokud suchá výměna tepla nestačí odvést přebytečné teplo, nastupuje produkce potu na povrch těla, kde se pot odpaří tzv. mokrá výměna tepla. [2]

## 2 Změny organismu u osob s poraněním míchy

### 2.1 Změna termoregulace

U zdravé osoby organismus udržuje svojí optimální vnitřní teplotu (teplota jádra) nastavenou na  $36,8^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  v průběhu celého dne a noci. Nicméně toto homeostatické chování je narušeno u osob s poraněním míchy. Tyto osoby jsou potom náchylné na hypertermii (stav, kdy je tělesná teplota je značně vyšší než normální) a hypotermii (tělesná teplota je naopak nižší než normální). Při těchto stavech začíná být ohrožen život osoby.

Každá osoba s poraněním míchy je svým způsobem specifická v závislosti podle místa, kde je mícha přerušena a jestli je osoba schopna vnímat senzory a motorické funkce i pod oblastí zranění, pokud ano je to tetraplegie neúplná. V opačném případě úplná.

Úroveň úrazu, úrovně poškození a stárnutí osoby společně s délkou trvání úrazu ovlivňuje fyzikální a tepelný výkon.

Příčinou rozdílného chování organismu je absence vazomotoriky, sudomotoriky (pocení) a třesoucí se reakce v částech těla pod úrovní poranění. Tělo tedy není schopno vhodně reagovat na podmínky okolního prostředí.

Změny v termoregulaci jsou doprovázeny změnou srdeční frekvence, cardio výstupem a změnou prokrvení kůže. Krevní perfúze zůstává konstantní, místo toho, aby reagovala podle teploty prostředí (vazodilatační a vazokonstrikční reakce). Při potřebě uvolnit větší množství tepla z organismu, což u zdravých osob vyvolá pocení těla, u tetraplegiků je pocení omezeno na části nad úrovní poranění, někteří se nemusí potit vůbec.[6]

Jednotlivci s poraněním míchy (SCI) mají zhoršenou autonomní termoregulaci, což způsobuje ztrátu vazomotorické kontroly a pocení pod úrovní poranění v důsledku narušení sympatického nervového systému. Tato změna může způsobovat vnitřní přehřívání. V důsledku toho je pro osoby s SCI důležité kontrolovat tělesnou teplotu pomocí behaviorální termoregulace, která je ovlivněna tepelným komfortem a pocitem.[7]

Osoby s SCI mají stabilní teplotu jádra  $36,8 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , podobnou zdravým osobám v úzkém teplotně vlhkostním rozsahu okolí  $22-25^{\circ}\text{C}$  a 45-50% relativní vlhkosti. Pokud, ale teplota začne stoupat nad  $25^{\circ}\text{C}$ , teplota jádra se začne zvětšovat.

Při klesnutí pod 22°C snižovat.

Absence okamžité reakce na změnu okolního prostředí způsobí, že termoregulační procesy jsou vyvolány, až po výrazné změně teploty jádra. (Viz tabulka 1) [8]

Thermoregulatory Action	Threshold Control Parameter	TP	AB
Start of Sweating	T <sub>core</sub>	38.2 ± 0.6°C (Petrofsky, 1992)	37.2°C (Salloum et al., 2006)
Basal Thermal Condition	T <sub>core</sub>	36.8 ± 0.9°C (Attia et al., 1983)	36.8°C (Salloum et al., 2006)
Start of Shivering	T <sub>core</sub>	35.6 ± 0.6°C (Downey et al., 1969)	35.8°C (Salloum et al., 2006)
	T <sub>skin</sub>	-	35.5°C (Salloum et al., 2006)
Maximum Shivering	T <sub>core</sub>	35.0°C (Khan et al., 2003)	33.0°C (Salloum et al., 2006)

Tabulka 1 rozdíl reakcí TP tetraplegiků a AB zdravých osob [8]

## 2.2 Změna metabolismu

Celkový denní energetický výdaj lidským organismem (TDEE) lze rozdělit do tří složek na bazální metabolickou rychlost (BMR), dieteticky indukovaná termogeneze a vydanou energii na fyzickou aktivitu. BMR představuje energii potřebnou pro udržení homeostázy a metabolické aktivity buněk v klidu. BMR zahrnuje přibližně 70% vydané energie u osob s chronickým poraněním míchy (SCI). BMR je u osob s SCI výrazně snížena o 14%-27%.

Přijetí sedavého životního stylu snižuje výdaje na fyzickou aktivitu, ochabování svalstva a hromadění tuků. Obezita a její související negativní metabolické následky se obvykle vyskytují ve zvýšené frekvenci u osob s SCI. Vzhledem k tomu, že BMR představuje největší podíl TDEE, je jeho přesné měření nesmírně důležité. Množství BMR lze použít k odvození individuálních energetických potřeb jednotlivce. [7]

### Měření BMR

Standardní metodou pro stanovení BMR je nepřímá kalorimetrie. Tento přístup však vyžaduje drahé, specializované vybavení (tj. Metabolický vozík), které typicky omezuje jeho použití na výzkumná nastavení. Přesná měření BMR by měla být prováděna po probuzení v tichém, tmavém, tepelně neutrálním prostoru po celonočním přenocování s účastníky v klidové pozici. Měření spočívá v měření v rozdílu koncentrací kyslíku a oxidu uhličitého ve vdechovaném a vydechovaném vzduchu po dobu 20 min. (Respirační koeficient-RER; produkce oxidu uhličitého / kyslíku). [7]

Vzorec s respiračním koeficientem:

Pacient po poranění ztrácí svalovinu a získává tuk z důvodu fyzické nečinnosti. Tyto změny snižují bazální metabolismus. Výdej energie je tedy nižší než u zdravých osob při vykonávání stejné aktivity. Větší množství podkožního tuku snižuje propustnost tepla z vnitřního do okolního prostředí. Podle výzkumu (Chun et al.,2017) je bazální hodnota (BMR) u tetraplegiků průměrně rovna 62 W +/-15. U zdravých lidí je hodnota BMR 80,65 W +/- 10. Tyto hodnoty nám ukazují přibližný rozdíl v metabolické produkci, ale hodnoty jsou značně individuální. Při vztažení na plochu těla 1,8 m<sup>2</sup> je bazální hodnota metabolismu (BM) rovna 34,4 W/m<sup>2</sup> (62/1,8=34,4W/m<sup>2</sup>). [8]

Tato hodnota je použita do výpočtu tepelné bilance jako defaultní nastavení.

Pro individuální nastavení lze využít vzorec [7]:

$$BMR = ((19,789 * FFM \text{ (kg)} + 5,156 * \text{váha (kg)} + 8,090 * \text{výška (cm)} - 15,301 * \text{obvod lýtky (cm)} - 860,546) / 24) * 1,163 \quad (\text{W}) \quad (1)$$

FFM- beztučná hmotnost těla, zahrnuje veškerou hmotnost těla bez tuku. Stanoví se nejlépe pomocí DXA skenu.

$$BM = BMR / A_D \quad (2)$$

BM= hodnota bazálního metabolismu (W/m<sup>2</sup>)

A<sub>D</sub> = plocha lidského těla, výpočet dle vzorce DuBois.

$$A_D = 0,202 * m^{0,425} * h^{0,725} \quad (3)$$

m=hmotnost těla (kg)

h=výška těla (m)

## 2.3 Teplota kůže

Z důvodu rozdílného vnímání teplot jednotlivých částí těla je střední povrchová teplota těla určena rozdílně, než u zdravých osob každá oblast těla má jinou váhu.

Rovnice pro teplotu kůže [8] :

$$T_{\text{skin}} = 0,21 T_{\text{face}} + 0,17 T_{\text{abdomen}} + 0,10 T_{\text{back}} + 0,15 T_{\text{thigh}} + 0,06 T_{\text{lower arm}} + 0,11 T_{\text{chest}} + 0,08 T_{\text{calf}} + 0,12 T_{\text{upper arm}} \quad (4)$$



## 2.4 Shrnutí

Změny způsobené poraněním míchy byly zahrnuty do rovnice tepelné pohody, která by nám měla ukázat optimální podmínky okolního prostředí při vyvážené teplotně-vlhkostní bilanci.

1. Snížení bazální metabolické produkce  
Bazální metabolická produkce byla stanovena na 34,4 W. Při ploše těla 1,8 m<sup>2</sup>.
2. Ztráta termoregulačních funkcí  
Abychom byli schopni udržet homeostázu u SCI, bude teplota regulována v úzkém rozsahu 22-25 °C operativní teploty a relativní vlhkost 40 %-60 %.
3. Do rovnice tepelné bilance nebude zahrnuta ztráta pocením.
4. Model pro osobu sedící.

## 2.5 Regulace teploty s vazbou na teplotu hlavy SCI

Pokud bychom byli schopni měřit teplotu v oblasti hlavy, která je u většiny osob SCI senzitivní a autonomní reakce u ní funguje, je tedy vázána na teplotu jádra osoby. Optimální teplota čela při dané činnosti, by tedy měla odpovídat optimální teplotě jádra. Porovnáním změřené teploty čela a optimální teploty čela nalezneme odchylku, která ukáže, zda je osobě teplo nebo zima. Podle toho by byl vyslán signál regulátorem a změněna teplota regulací vytápění nebo chlazení. Regulátor by byl nejlépe adaptivní konstrukce, aby by schopen odstranit možné vzniklé odchylky. Pro potvrzení tohoto řešení je nutné provést četná měření a stanovení optimální teploty v oblasti hlavy SCI, která by měla být shodná s optimální teplotou hlavy u zdravých osob. Toto řešení by mohlo být vhodné pro noční provoz kdy by se mohlo stát, že u osoby nebude dodržen tepelný komfort. Tato situace by řešila například případ, kdy osoba SCI před usnutím sníží teplotu z důvodu pocitu přehřátí a během noci již se její stav vyrovná a mohla by se naopak začít podchlazovat. Snímat teplotu by bylo možné na lůžku kde je pozici hlavy v malém rozsahu stanovena. V úvahu přichází to, že osoba s největší pravděpodobností bude spát na zádech nebo na boku. Pro spaní na zádech by byla reprezentativní teplota čela. Pro spaní na boku teplota v oblasti ucha. Tyto teploty se mohou mírně lišit, a proto by bylo dobré, aby přístroj rozpoznal geometrii obličeje. Měření by bylo možné provádět digitálním snímačem infračerveného záření. (DITI) Tento projekt zatím nebyl dále řešen v této práci.

## 2.6 Radiační pohoda

Pro dosažení teplotně vlhkostní pohody je důležité, aby člověk větší část tepla přijímal v podobě sálání a vlastní teplo do okolí sdílel konvekcí. Neboť je tomu tak navyklý z venkovního prostředí kdy většinu tepla přijímá od slunce. Tuto podmínku vyjadřuje součinitel radiační pohody (Radiant Comfort Coefficient = RCC). Ten je vyjadřován poměrem radiačního a konvekčního tepla sdíleného lidským organismem do okolí. [1]

$$RCC = \frac{C}{R} = \frac{\textit{konvekce}}{\textit{radiace}} \geq 1$$

(5)

## 2.7 Rovnice tepelné rovnováhy těla

Stav, kdy je zachována rovnost tepla produkovaného tělem člověka a tepla, které je okolím odebráno. Vyjádření tepelné bilance těla dle. [10]

$$M - W = R + C + K + E_d + E_{sw} + L_{res} + S_{res} + \Delta S \quad (6)$$

M = hodnota metabolismu – viz. kap. 2.7.2

W = mechanická práce – viz. kap. 2.7.3

R = tepelný tok sáláním – viz. kap. 2.7.4

C = tepelný tok prouděním – viz. kap. 2.7.5

K = tepelný tok vedením – viz. kap. 2.7.6

E<sub>d</sub> = tepelná ztráta difúzí pokožky – viz. kap. 2.7.7

E<sub>sw</sub> = tepelná ztráta pocením – viz. kap. 2.7.8

L<sub>res</sub> = latentní tepelná ztráta dýcháním – viz. kap. 2.7.9

S<sub>res</sub> = citelná tepelná ztráta dýcháním – viz. kap. 2.7.10

ΔS = změna tepelné kapacity – viz. kap. 2.7.11

### 2.7.1 Vnitřní produkce tepla

Hodnota metabolismu je výsledná produkce tepla tělem

Základní tvorba tepla bazálním metabolismem tzv. metabolické teplo bazální, závisí především na pohlaví a věku. Tepelný tok lze vztahovat na povrch těla a tím eliminovat váhu a výšku. Výsledná tepelná produkce člověka tzv. metabolické teplo brutto, se skládá z bazálního metabolického tepla a z tepelné produkce při vykonávané práci tzv. metabolické teplo netto. Metabolické teplo netto závisí především na fyzické aktivitě. Krátkodobě má na metabolismus i vliv teplota přijímané potravy.

### 2.7.2 Určení hodnoty metabolismu M

Hodnota metabolismu lze určit měřením a výpočtem, nebo standartně pomocí tabulek pro danou činnost. (1 met = 58,2 W.m<sup>-2</sup>). U žen se uvádí, že metabolická produkce je menší přibližně o 10 %.

Měření je prováděno speciálním přístrojem měřícím spotřebu O<sub>2</sub> a produkci CO<sub>2</sub>.

Výpočet je potom prováděn dle vzorce:

$$M = \frac{352 * (0,23 * RQ + 0,77) * V_{O_2}}{A_D} \quad (7)$$

RQ = respirační koeficient, tj. molekulový poměr vdechovaného CO<sub>2</sub> (V<sub>CO<sub>2</sub></sub>) a vdechovaného O<sub>2</sub> (V<sub>O<sub>2</sub></sub>). (-)

(V<sub>O<sub>2</sub></sub>) = objemové množství spotřebovaného kyslíku při teplotě 0 °C a tlaku 101,3 kPa. (1/min)

A<sub>D</sub> = viz. (3)

Určení dle tabulek :

Činnost	Metabolismus		Mechanická účinnost
	(W.m <sup>-2</sup> )	(met)	(-)
Bazální metabolismus	45	0,8	0
Sezení, odpočívání	58	1,0	0
Stání, odpočívání	65	1,1	0
Běžná kancelářská práce	75	1,3	0
Lehká práce na strojích	150	2,6	0,1
Těžká manuální práce	250	4,3	0,1
Chůze po rovině (4 km.h <sup>-1</sup> )	140	2,4	0
Chůze po rovině (6 km.h <sup>-1</sup> )	200	3,5	0
Chůze se stoupáním 5% (4 km.h <sup>-1</sup> )	200	3,5	0,1
Chůze se stoupáním 15% (4 km.h <sup>-1</sup> )	340	5,7	0,2

*Tabulka 2 M a W podle dané činnosti [11]*

## Přesné měření

Podrobně je metodika měření energetického výdaje uvedena v ČSN EN ISO 8996.

Pokud k dispozici není respirační měření lze hodnotu bazálního metabolismu určit viz, kapitola 2.2 speciálně určenou pro osoby s poraněním míchy.

### 2.7.3 Mechanická práce W

Energie vydaná na svalovou činnost, pro nízký výdaj energie, např. klidová činnost v sedě je uvažována 0.

$$\mu = \frac{W}{M - BM} \quad (8)$$

$\mu$  = mechanická účinnost (-)

BM = Bazální metabolismus (W/m<sup>2</sup>)

### 2.7.4 Tepelný tok sáláním R

R = tepelný tok sáláním mezi povrchem lidského těla (W/m<sup>2</sup>), tlumeným oblečením a povrchem okolních ploch.

$$R = h_r * f_{cl} * (t_{cl} - t_r) \quad (9)$$

$h_r$ -součinitel přestupu tepla sáláním (W/(m<sup>2</sup>\*K)), podle vzorce:

$$h_r = 4 * \varepsilon * \sigma * \frac{A_r}{A_D} * \left(273,15 + \frac{t_{cl} + t_r}{2}\right)^3 \quad (10)$$

$\varepsilon$  = emisivita oděvu, pro běžný oděv se dá uvažovat = 0,95 (-)

$\sigma$  = Stefan-Boltzmannova konstanta = 5,67 \* 10<sup>-8</sup> (W/(m<sup>2</sup>\*K))

$\frac{A_r}{A_D}$  = poměr povrchu těla účastníci se výměny tepla sáláním a povrchu lidského těla,

pro sedící osoby se dá uvažovat = 0,70 (m<sup>2</sup>)

$t_r$  = střední radiační teplota (°C)

$t_{cl}$  = teplota oděvu (°C), stanovená interakcí, jelikož je to mezilehlá hodnota mezi teplotou povrchem těla a radiační teplotou.

$t_{cl}$ -teplota oděvu (°C) se vypočítá, dle vzorce:

$$t_{cl} = \frac{h_c * f_{cl} * t_a + h_r * f_{cl} * t_r + \frac{1}{R_{cl}} * t_p}{h_c * f_{cl} + h_r * f_{cl} + \frac{1}{R_{cl}}} \quad (11)$$

$f_{cl}$  = povrchový faktor oděvu pro tepelnou izolaci oděvu,  $I_{cl} > 0,5$  (clo) :

$$f_{od} = 1,25 + 0,1 * I_{cl} \quad (12)$$

$R_{od}$  = tepelný odpor oděvu stanoven převedením jednotky clo na tepelný odpor.

1 clo = 0,155 m<sup>2</sup> \* K/W.

$h_c$  = součinitel přestupu tepla konvekcí (W/(m<sup>2</sup>\*K)), pro nucené větrání, podle vzorce:

$$h_c = 12,1 * \sqrt{v} \quad (13)$$

$v$  = rychlost proudění vzduchu v místnosti (m/s)

$t_p$  = střední teplota pokožky (°C), dle vzorce:

$$t_p = 12,17 + 0,22t_a + 0,44t_r - 0,253w + 0,00194p_v + 0,005346Q_m + 0,51274t_{re} \quad (14)$$

$t_{re}$  = rektální teplota (°C), v ustáleném prostředí, dle vzorce:

$$t_{re} = \frac{t_{er} - 1,31}{1,962} \quad (15)$$

$t_{er}$  = nitrotělní teplota (°C)

$$t_{er} = 0,0036(Q_m - 55) + 36,8 \quad (16)$$

$Q_m = M - W$  (W/m<sup>2</sup>)

$p_a$ -parciální tlak vzduchu stanoven podle teploty a vlhkosti. [5]

## 2.7.5 Tepelný tok prouděním C

Tepelný tok mezi člověkem a okolním vzduchem. (W/m<sup>2</sup>)

$$C = h_c * f_{cl} * (t_{cl} - t_a) \quad (17)$$

## 2.7.6 Tepelná ztráta vypařováním E

Tepelná ztráta vypařováním se skládá z tepelné ztráty difúzí pokožky  $E_d$  ( $W/m^2$ ) a tepelné ztráty pocením  $E_{sw}$  ( $W/m^2$ ). U SCI je uvažována pouze ztráta difúzí.

$$E_d = 3,25 * 10^{-3} * (p_{ws} - p_{wa}) \quad (18)$$

$p_{ws}$  = parciální tlak nasycené vodní páry (Pa) při teplotě pokožky  $t_p$  ( $^{\circ}C$ ).

$$p_{ws} = 256 * t_p - 3373 \quad (19)$$

$p_{wa}$  = parciální tlak vzduchu (Pa) stanoven podle teploty a vlhkosti.

$$p_{wa} = \text{EXP} \left( 23,58 - \left( \frac{4044,22}{235,6 + t_a} \right) \right) * \left( \frac{\varphi}{100} \right) \quad (20)$$

$\varphi$  = relativní vlhkost vzduchu (%)

## 2.7.7 Tepelná ztráta dýcháním

Dělí se na citelnou a latentní složku.

$S_{res}$  = citelná složka ( $W/m^2$ ), dle vzorce

$$S_{res} = 2,2214M * (34 - t_a) \quad (21)$$

$L_{res}$  = latentní složka ( $W/m^2$ ), dle vzorce:

$$L_{res} = 1,72 * 10^{-5} * M * (5867 - p_{wa}) \quad (22)$$

## 2.8 Kvalita spánku

Člověk stráví přibližně třetinu života spánkem, a proto je jeho kvalita, velmi důležitá.

Ve spánku tělo prochází stavem regenerace, pokud optimální podmínky spánku nejsou dodrženy prodlužuje se potřebná doba spánku. Hlavními vlivy na spánek jsou tepelná pohoda a kvalitní vnitřní vzduch, tedy dodržení nízké hodnoty  $CO_2$  pod 1000 ppm a optimální vlhkosti 40-60%.

## 2.9 Rovnice tepelné rovnováhy při spánku

Rovnice tepelné rovnováhy při spánku má pozměněné vstupní parametry oproti stavu bdění. Je snížena metabolická produkce, zvýšena metabolická odolnost lidského těla a nepřítomnost vlastní reakce chováním na tepelnou nepohodu. Optimální tepelná pohoda pro spánek pro osobu oblečenou pouze do spodního prádla na základě subjektivního hodnocení osob a měření, byla stanovená mezi 21,1 °C a 32,2 °C Rohles a Munson [7]. Kdy tepelná nepohoda z důvodu vyšší teploty se pro jedince jevila příjemnější než tepelná nepohoda způsobená nižší teplotou. Při použití spacího oblečení a přikrývky, tato teplota může být výrazně nižší pod 20 °C. Podle spánkové laboratoře je optimální teplota právě 18 - 20 °C.

# PRAKTICKÁ ČÁST



## 3 Návrh systému vytápění a klimatizace

### 3.1 Stanovení optimálního teplotního a vlhkostního komfortu

Hodnota optimální vnitřní operativní teploty je stanovena z rovnice tepelné bilance s úpravou parametrů pro osoby SCI. Návrh je převeden do Excelu a je podle něj regulována teplota v místnosti. Osoby se SCI mají obecně požadavek na vyšší teplotu z důvodu menší bazální produkce. Návrh je, ale potřeba experimentálně ověřit přímo u těchto osob pro různá roční období. Vlhkost je regulována samostatně centrální klimatizační jednotkou.

### 3.2 Systém vytápění

Pro řešení bylo vybráno podlahové vytápění, z důvodu pocitového teplotního komfortu, rozložení teplot po místnosti, úspoře místa a možnosti využití nízkopotencionálního tepla z tepelných čerpadel. Při prováděné rekonstrukce podlah je toto řešení i realizačně výhodné.

Padání studených proudů v oblasti ochlazované konstrukce (stěny a okna), které by mohly narušovat tepelný komfort bude zabráněno dobrou izolační vlastností konstrukcí a snížením rozteče otopného hadu u okrajové zóny.

Z důvodu požadavku na relativně malé odchylky lze volit nižší tloušťku akumulací vrstvy. Podlahové vytápění bude v provozu pouze v otopném období, tedy pokud výkon potřebný k vytápění (dodaný vytápěcí výkon  $Q_d$ ) bude vyšší než 20%, po dobu alespoň několika hodin. Výkon do 20% pokrývá fancoilová jednotka.

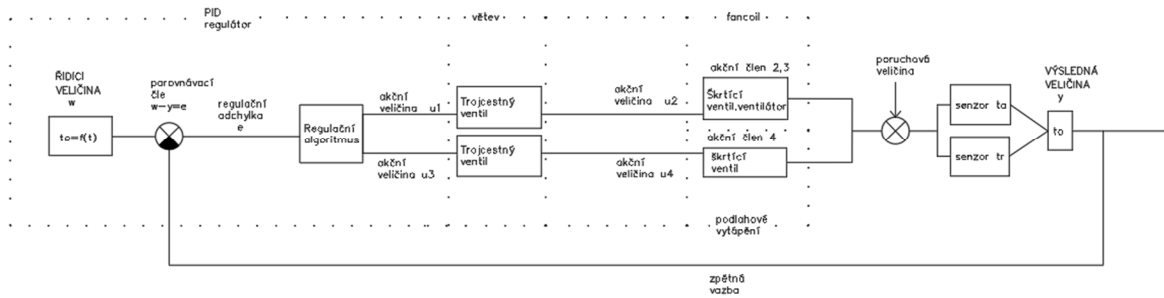
### 3.3 Systém klimatizace

Objekt bude klimatizovaný centrální klimatizační jednotkou upravující vlhkost a první stupeň teploty, druhý stupeň teploty bude realizován koncovou jednotkou, dle potřeby místnosti, např. fancoilovou jednotkou.

Koncová jednotka bude v provozu celý rok z důvodů pokrývání 100% potřeby chlazení a 20% potřeby vytápění.

# 4 Návrh regulace teploty v ukázkovém bytě

## 4.1 Blokové schéma soustavy



Obrázek 2 Blokové schéma soustavy

## 4.2 Regulace zdroje tepla/chladu

Navržená regulace pracuje s tepelnou bilancí celé stavby. Stavba je rozdělena na zóny se stejnou světovou stranou. Ke každé zóně vede příslušná větev regulovaná kvalitativní regulací, směřováním v trojcestném ventilu na patě větve. Výkon větve je dán součtem požadovaných dodaných výkonů do jednotlivých místností. Samotná místnost je regulována kvantitativně za pomoci škrtícího prvku. Celkový aktuální výkon zdroje tepla je dán součtem všech topných výkonů +  $Q_d$ , jednotlivých místností. Celkový chladicí výkon je dán součtem všech záporných výkonů. Celkový chladicí výkon je rozdělen mezi centrální klimatizační jednotku a koncové jednotky v jednotlivých místnostech, které primárně řeší potřebu chladu. Až při potřebě chladivového výkonu  $-Q_d$  ve všech zónách, se zapojuje chladicí výkon centrální klimatizace, která má primárně na starost dodávání požadovaného čerstvého vzduchu a regulaci vlhkosti.

## 4.3 Výpočet potřebného výkonu vytápění/chlazení místnosti

Regulace bude probíhat podle tepelné bilanční rovnice, která podle aktuální venkovní teploty, slunečního záření a požadované vnitřní teploty určí potřebný výkon.

$$Q_d = Q_z - Q_r - Q_o + Q_p \quad (23)$$

### 4.3.1 Určení $Q_z$

$Q_z$  = Tepelná ztráta/zátěž místnosti v daném okamžiku (W)

$$Q_z = H_T * (t_{i_a} - t_{e_a}) + H_{T,gr} * (t_{i_a} - t_{g_r}) \quad (24)$$

$H_T$  = celkový měrný tepelný tok prostupem (W/K), vypočítaný jako součet tepelných toků prostupem, bez toku podlahou.

$t_{i_a}$  = vnitřní teplota vzduchu požadovaná pro optimální výslednou operativní teplotu - proměnná

$t_{e_a}$  = venkovní teplota vzduchu změřená senzorem (°C) - proměnná

$$\sum H_T = H_{T,ie} + \sum H_{T,ia}$$

$H_{T,ie}$  = prostup tepla přímo do venkovního prostředí (W/K), dle ČSN EN 12 831 -1.

$$H_{T,ie} = \sum_k^n [A_k * (U_k + \Delta U_{TB}) * f_{U,k} * f_{ie,k}]$$

$A_k$  = plocha konstrukce (m<sup>2</sup>)

$U_k$  = součinitel prostupu tepla konstrukce (W/(m<sup>2</sup>\*K)), dle ČSN EN ISO 6946

$\Delta U_{TB}$  = přírážka na vliv tepelných vazeb (W/(m<sup>2</sup>\*K))

$f_{U,k}$  = opravný činitel zohledňující vlastnosti konstrukce a povětrnostní vlivy. (-)

$f_{ie,k}$  = teplotní opravný činitel (-)

$H_{T,ia}$  = prostup tepla do sousedních prostor (W/K), dle ČSN EN 12 831 -1.

$$H_{T,ia} = \sum_k^n [A_k * U_k * f_{ia,k}]$$

$f_{ia,k}$  = teplotní opravný činitel zahrnující rozdíl teplot místností. (-)

$$f_{ia,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ia}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

$\theta_{ia}$  = teplota vnitřního vzduchu sousedních prostor. (°C)

Pokud jde o nevytápěné prostory, jejich teplota se stanoví jako výsledek tepelných toků z okolních prostor.

$H_{T,gr}$  = prostup tepla podlahou, zjednodušený výpočet (W/K).

$$H_{T,ig} = \sum_p^n [A_{podlahy} * U_{podlahy}]$$

$U_{podlahy}$  = součinitel prostupu tepla podlahou (W/(m<sup>2</sup>\*K)), výpočet jako pro vodorovnou konstrukci, dle ČSN EN ISO 6946, bez vnějšího tepelného odporu při přestupu tepla.

Pro stanovení tepelného prostupu podlahou v daném okamžiku, potřebujeme znát teplotu zeminy pod podlahou. Tato teplota vzhledem k velké tepelné setrvačnosti zeminy neodpovídá teplotě vzduchu v daném okamžiku, ale je výslednicí působení změn venkovního vzduchu trvajících v řádu dní, a to pouze u okrajové zony (1,5 m). Teplota ve zbylé části pod podlahou se příliš nemění, a během roku je téměř konstantní. Tepelný tok zeminou uvažujeme vždy z místnosti do zeminy. Tedy teplota zeminy je nižší, než je teplota v místnosti. Teplota zeminy závisí na hloubce uložení stavby a lokalitě. Zadání konstantní hodnoty lze uplatnit pouze za předpokladu, že okrajové zóny jsou lépe zaizolované.

### 4.3.2 Výpočet Q<sub>d</sub>

$Q_d$  = potřebný výkon soustavy (W)

Potřeba vytápění = Teplu, které je potřeba dodat vytápěním do bytu, pokud  $Q_z - Q_r + Q_p - Q_o > 0$

$$Q_d = Q_v + Q_{top} \quad (25)$$

$Q_v$  = ztráta větráním (W) vždy min. hodnota dle požadavku na větrání

$$Q_v = V_p * \rho_a * c_a * (t_p - t_i) \quad (26)$$

$Q_{top}$  = výkon vytápění

Potřeba chlazení = Teplu, které je potřeba odebrat chlazením z bytu, pokud  $Q_z - Q_r + Q_p - Q_o < 0$

$$- Q_d = - Q_v \quad (27)$$

$Q_v$  = zátěž větráním (W) vždy min hodnota dle požadavku na větrání

$$Q_v = V_p * \rho_a * c_a * (t_i - t_p) \quad (28)$$

$V_p$  = množství přiváděného vzduchu

$$V_p = V_e + V_c \quad (29)$$

$V_e$  = při přítomnosti osoby je hodnota čerstvého vzduchu = min 50 m<sup>3</sup>/h.

$V_c$  = hodnota cirkulačního vzduchu, dle potřebného výkonu jednotky

$\rho_a$  = hustota vzduchu 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_a$  = měrná tepelná kapacita vzduchu 1010 J/(kg\*K)

$t_i$  = teplota požadovaného vnitřního vzduchu (°C)

$t_p$  = teplota přiváděného vzduchu po smíšení, dle požadovaného výkonu jednotky (°C)

Podmínka :

1. Pokud je otevřeno okno fancoil se vypíná.

$Q_r$  = zisk/zátěž oknem radiací (W)

Jeho regulace je řízena stínícím prvkem, dle výběru.

Zde uvažuji automatizované vnitřní světlé žaluzie o stínícím rozsahu 0 až 0,56. (plně vytažené, plně zatažené)

Při potřebě vytápění jsou žaluzie plně vytažené, pokud si je uživatel sám neupraví, dle nastavitelné volby hodnoty osvětlení, jako novou výchozí hodnotu.

Při potřebě chlazení a radiačním zátěži, jsou žaluzie nastaveny tak, aby co nejvíce stínily, ale do místnosti pouštěli dostatek světla, pro splnění denního osvětlení.

Podmínky denní osvětlení  $O_{sv}$ :

1. V bytě je přítomná osoba.
2. Požadavek min 600 lx +-100 lx, snímané čidlem osvitů. Pokud po dobu 0,5 hod bude trvalá odchylka od žádaného rozsahu = změna nastavení žaluzií.

$O_{sv} < 500$  lx a  $s > 0$  = snížení hodnoty  $s$ , 1.pootočení nebo 2.povytažení žaluzií.

$O_{sv} < 700$  lx a  $s < 0,56$  = zvýšení hodnoty  $s$ , 1.spuštěním žaluzií, 2. pootočením žaluzií.

Zvýšení hodnoty  $s$ , probíhá stažením žaluzií a úpravou náklonu.

Snížení hodnoty  $s$ , probíhá úpravou náklonu a při dalším potřebě snižovat  $s$  vytažením žaluzií.

3. Pokud je rozsvíceno světlo podmínka pro denní osvětlení je vypnuta.

Rozpoznání polohy žaluzií dle systému dodavatele.

Podmínky  $Q_r$  :

Pokud hodnota  $Q_r < 0$  je uvažováno  $Q_r = 0$ .

Pokud  $Q_r = 0$ , žaluzie jsou vytažené

Poznámka: Výpočet uvažuje s jednou prosklenou plochou orientovanou jedním směrem.

Výpočet zisku oknem radiací je vypočítán z hodnoty čidla intenzity slunečního záření a polohy slunce po obloze.

$$Q_r = (S_{os} * I_0 * c_0 + (S_0 - S_{os}) * I_{dT} * T_d) * s \quad (30)$$

$I_0$  = Celková intenzita sluneční radiace procházející jednoduchým zasklením ( $W/m^2$ )

$$I_0 = I_{bT} * T_D + I_{dT} * T_d \quad (31)$$

$I_b$  = Intenzita přímě sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu ( $W/m^2$ )

$$I_{bT} = I_{bn} * \cos \theta \quad (32)$$

$I_{bn}$  = Intenzita přímě sluneční radiace ve směru normály ( $W/m^2$ )

$$I_{bn} = I * \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \quad (33)$$

$I$  = Intenzita slunečního záření dopadajícího na obal atmosféry ( $W/m^2$ )

$$I = I_{sc} \left(1 + 0,033 * \cos \frac{360 * n}{365}\right) \quad (34)$$

$I_{sc}$  = sluneční konstanta 1350 ( $W/m^2$ )

$n$  = pořadí dne v roce

$Z$  = součinitel znečištění atmosféry pro města  $Z = 4$

$$\varepsilon = \frac{9,38076 * (\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5})}{2,0015 * (1 - L_v * 10^{-4})} + 2,91218 \quad (35)$$

$L_v$  = nadmořská výška daného místa (m.n.m)

$h$  = výška slunce (°)

$$h = \arcsin(\sin \delta * \sin \varphi + \cos \delta * \cos \varphi * \cos \tau) \quad (36)$$

$\delta$  = deklinace, natočení rovníku od normály dopadajících slunečních paprsků (°)

$$\delta = 23,45 * \sin\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right) \quad (37)$$

$\varphi$  = zeměpisná šířka, Praha = 50°

$\tau$  = sluneční úhel (°)

$$\tau = 15 * (ST - 12) \quad (38)$$

ST = sluneční čas, cca náš čas odchylka max 30 minut

$\theta$  = úhel dopadu slunečního záření (°)

$$\cos \theta = \sin h * \cos \beta + \cos h * \sin \beta * \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (39)$$

$\beta$  = úhel sklonu plochy, pro svislé okno = 90°

$\gamma_s$  = azimut slunce

$$\gamma_s = \arcsin\left(\frac{\cos \delta}{\cos h} * \sin \tau\right) \quad (40)$$

$\gamma$  = azimut orientace okna ,východ (- 90), západ (+ 90), jih (0°)

$T_D$  = Poměrná propustnost přímé sluneční radiace standatrním sklem

$$T_D = 2,87 - 1,47 \left(\frac{\theta}{100}\right)^5 \quad (41)$$

$I_d$  = intenzita difúzní sluneční radiace (W/m<sup>2</sup>)

$$I_{dT} = \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) * I_d \quad (42)$$

$I_{dv}$  = difúzní sluneční záření na vodorovnou rovinu ( $W/m^2$ )

$$I_d = 0,33 * (I - I_{bn}) * \sin h \quad (43)$$

$T_d$  = difúzní propustnost standartního skla,  $T_d = 0,85$

Podmínka  $I_d > 0$ .

$S_{OS}$  = osvětlená plocha okna ( $m^2$ )

$$S_{OS} = (L - (e_1 - f) * (H - (e_2 - g))) \quad (44)$$

Podmínka:

$e_1 < f$  ,potom člen  $(e_1 - f) = 0$

$e_1 - f > L$  ,potom člen  $(L - (e_1 - f)) = 0$

$e_2 < g$  ,potom člen  $(e_2 - g) = 0$

$e_2 - g > H$  ,potom člen  $(H - (e_2 - g)) = 0$

$|\gamma_s - \gamma| < 89^\circ$  ,  $S_{OS} = 0$

$L$  = zasklená šířka okna (m)

$e_1$  = délka stínu v půdorysu (vodorovná), (m)

$$e_1 = d * |\tan(\gamma_s - \gamma)| \quad (45)$$

$f$  = odstup vodorovné části okna od slunolamů, pokud u okna slunolamy nejsou = šířka rámu okna. (m)

$d$  = hloubka okna (m)

$H$  = zasklená výška okna (m)

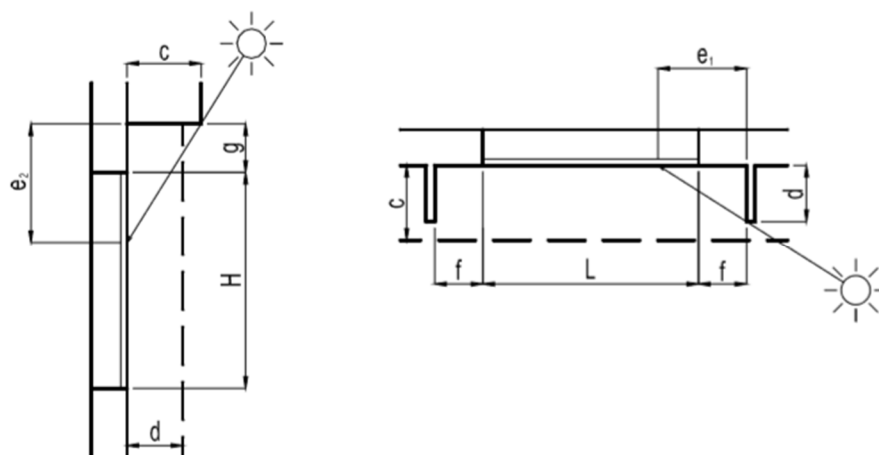
$e_2$  = délka stínu v řezu (svislá), (m)

$$e_2 = c * \left| \frac{\tan h}{\cos(\gamma_s - \gamma)} \right| \quad (46)$$

$g$  = odstup svislé části okna od slunolamů, pokud u okna slunolamy nejsou = šířka rámu okna. (m)

$c$  = hloubka okna (m)





Obrázek 3 Parametry výpočtu pro osluněnou plochu okna [10]

$Q_p$  = Poruchová veličina (W)

Poruchová veličina bude dopočítána zpětným postupem z rozdílu dodaných výkonů s požadovanými parametry a skutečnými změřenými parametry jak jejich rozdíl. Veličina potom bude přičtena k aktuálnímu dodanému výkonu tak, aby se blížila k nule.

$$Q_{\text{poruchové}} = Q_d - Q_{dp}$$

$Q_{dp}$  = výkon při parametrech teplot změřených senzory.

U výpočtu byl zanedbán radiční prostup tepla fasádou, pokud se nejedná o místnost z lehkou fasádou, či stropem tvořícím zároveň střechu jde u obytných budov o zanedbatelný vliv.

#### 4.4 Prediktivní model

Do výpočtu dle vzorce (23), byly dosazeny hodnoty předpovědi počasí na 24 hodin do předu. K tomuto účelu jsou využita data a predikce systému PV Forecast, využívající satelitní predikci. Ten předpovídá hodnotu osvitů a teploty na libovolném místě ČR, až na 5 dní dopředu. Pro náš účel jsou dostatečná data na 24 h dopředu, i kvůli zvýšení jejich přesnosti.

Pro účely zjištění tepelné radiace oknem, je celkový dopadající tepelný tok (osvit) rozložen na přímou a difúzní složku a přepočítán na dopadající tok na plochu okna, podle polohy slunce.

Změřená hodnota osvitu/predikovaná systémem PV Forecast =  $I_{bd}$  ( $W/m^2$ ) složka dopadající na vodorovnou rovinu, je součtem difúzní a přímé hodnoty slunečního záření dopadajícího na vodorovnou rovinu.

$$I_{bd} = I_b + I_d \quad (47)$$

Index čistoty atmosféry  $k_T$  (-):

$$k_T = \frac{I_{bd}}{I * \sin h} \quad (48)$$

Podmínka  $\sin h > 0$

Výpočet  $I_d$ , korekce podle (Orgill,Hollands).

$$\text{Pro } k_T < 0,35 \quad I_d = (1 - 0,249k_T) * I_{bd} \quad (49.1)$$

$$\text{Pro } 0,35 \leq k_T \leq 0,75 \quad I_d = (1,557 - 1,84k_T) * I_{bd} \quad (49.2)$$

$$\text{Pro } k_T > 0,75 \quad I_d = (0,177) * I_{bd} \quad (49.3)$$

Výpočet  $I_b$ , úpravou vzorce (47).

$$I_b = I_{bd} - I_d \quad (47.1)$$

$I_b$  = hodnota přímého slunečního ozáření dopadajícího na vodorovnou rovinu. ( $W/m^2$ )

$$I_{bn} = \frac{I_b}{\sin h} \quad (48)$$

Upravením vztahu (43), tedy dosazením vztahu (48) a vztahu (47.1) je složka  $I_d$  rovna, dle vzorce (49) a složka  $I_b$  rovna, dle vzorce (47.1).

$$I_d = \frac{0,33 * (I * \sin h - I_{bd})}{0,67} \quad (49)$$

## 5 Měření

### 5.1 Měřený objekt

Inteligentní byt pro vozíčkáře v Univerzitním centru energeticky efektivních budov u Buštěhradu (UCEEB).

### 5.2 Měřící postup

V bytě bylo vypnuto topení a chlazení a větrání a roztažené záclony, vytažené rolety 8 hodin před měřením a byla zaznamenávána hodnota vnitřní teploty po minutách, průměrována na hodinovou, hodnota venkovní teploty po minutách, průměrována na hodinovou. Dle předpovědi meteorologické stanice pro oblast Kladno ,provozovatel viz: <http://www.pocasinakladne.cz/> byly odečteny hodnoty předpovědi teplot venkovního vzduchu na 24 h dopředu. Ze systému PV FORECAST na UCEEBu viz: <http://wp2.pvforecast.cz/> , byly odečteny data predikce Osvitu na 24 h dopředu. Dosazením do algoritmu byl získán požadovaný dodaný výkon v danou hodinu. Zpětná vazba proběhla měřením skutečných hodnot svitu systémem PV FORECAST a změřením skutečných hodnot teploty stanice NE Laboratoře hydrometeorologie & hydropedologie na UCEEBu viz: <https://www.uceeb.cz/laborator-hydrometeorologie-hydropedologie>.

Hodnoty byly zaznamenány v excelu ve , kterém je i regulační algoritmus.

V excelu na záložce **Zadávací list** jsou zadána veškeré vstupní hodnoty pro výpočet. Vyhodnocení pro daný den je potom v záložce **Predikce a měření pro 1 den**. Data jsou nahrána pro 11.5. až 13.5. pro další dny, které chceme zobrazit je nutno hodnoty nahrát. Pokud nahrajeme pouze data predikce zobrazí se samostatně a naopak. V záložce vyhodnocení dat je potom graf Qd a ti , te za období 11.5. až 13.5 .

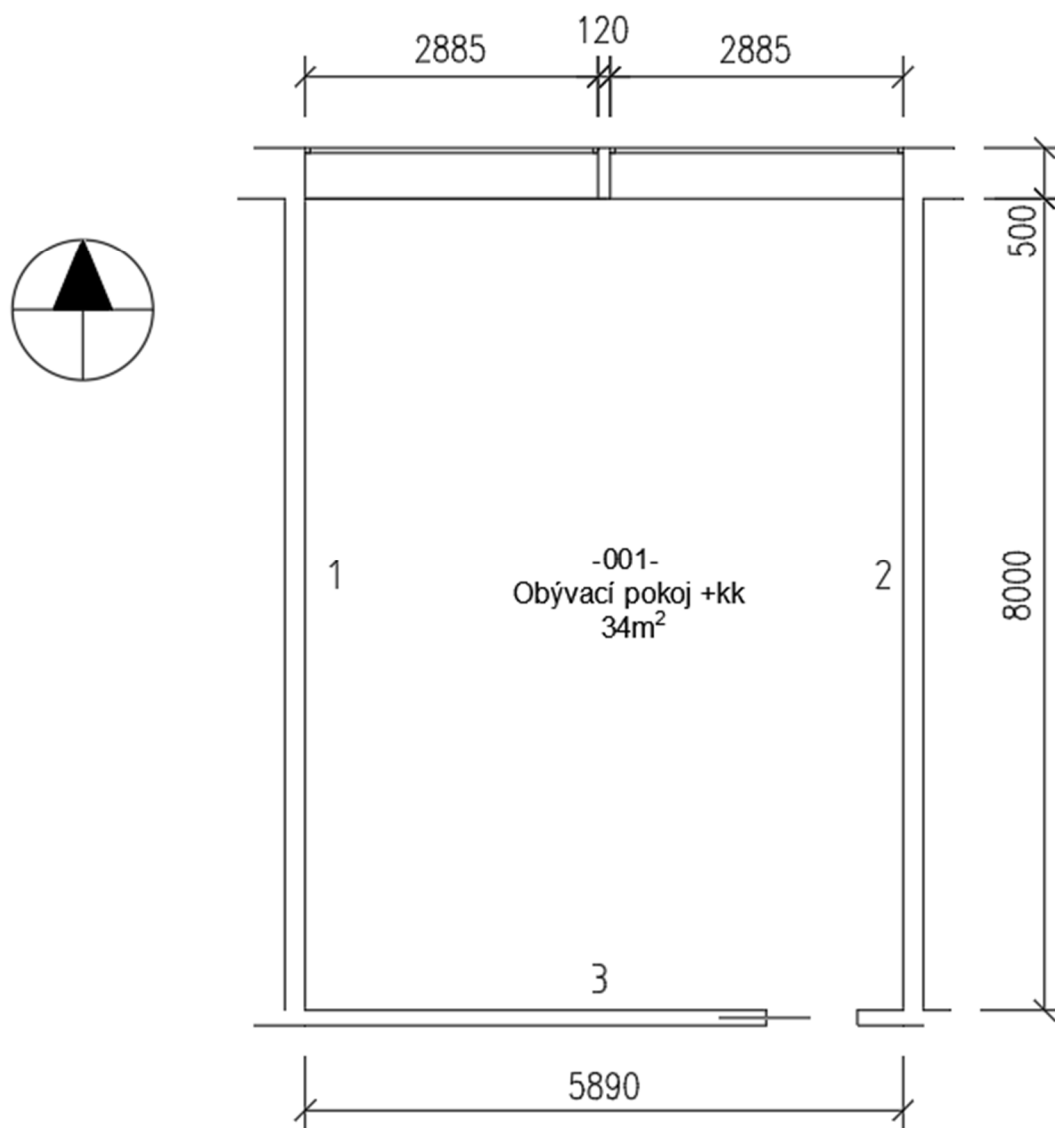
Vnitřní teplota se mění velmi málo , otázka je jestli změny , topný výkon kolem 350 W a nárazová zátěž sluncem do 2000 W byly redukovány akumulací vlastností stavby. Integrací výkonů se totiž blížíme k hodnotě 0.

Chybová veličina nastává v případě že by byla zapnuta regulace teploty v místnosti v takovém případě neznáme dodaný výkon prvkem, což by vysvětlovalo malý pohyb teploty.

Pro měření by byla vhodnější jiná roční doba kdy požadované výkony jsou jasně větší.

Pro to musí být provedeny další měření a zahrnuta akumulací vlastností stavby.

### 5.2.1 Schéma půdorysu



Obrázek 4 půdorys inteligentního bytu na UCEEBu

### 5.3 Regulace operativní teploty

Žádanou hodnotou regulace bude operativní teplota °C. Stanovená ze senzoru střední radiační teploty a senzoru teploty vzduchu.

Ta bude určena pro hodnoty rychlosti proudění vzduchu do 0,2 m/s ,ta by neměla být překročena v souladu s vyhláškou (č. 6/2003 Sb) pro pobytové prostory.

$$t_o = A * t_a + (1 - A) * t_r$$

A = rychlost proudění vzduchu v místnosti (m/s)

V zimním období operativní teplotu dokážeme ovlivnit jak složku střední radiační teploty tak složku teploty vzduchu, změnou výkonu podlahového vytápění nebo změnou poměru výkonů podlahového vytápění a fancoilu.

Nepřízniví stav nastává v létě kdy ovlivňujeme pouze teplotu vzduchu a střední radiační teplotu ovlivňujeme nepřímo přestupem tepla z povrchů do vzduchu.

## Závěr

Ve vyvinutém algoritmu vidím velký potenciál, i když je teprve na začátku svého vývoje. Je něj spousta nedořešených prvků, které mohou být méně či více podstatné. Dalo by se říct, že přesnou regulaci teploty bychom zajistili i jednodušší regulací, ale vzhledem k požadavkům na malé odchylky od žádané teploty, by mohlo často docházet k zbytečnému toku energie do vytápění a následné chlazení a tak dále. Proto hlavní výhodou, by byla úspora energie, management energie, ale i tepelný komfort. Hlavní nevýhodou může být nutnost zadání parametrů pro každou asymetrickou místnost se stykem z vnějším prostředím zvlášť. Také určení technický parametrů nemusí být přesné, ale pokud je projekt prováděn zodpovědnou profesionální firmou nemělo by docházet k podstatným odchylkám. Také velký vliv může mít chybná predikce, predikce venkovních teplot na 24 h pro danou lokalitu je dostatečně přesné, ale u predikce slunečního záření by bylo vhodné predikci snížit např. na 6 h dopředu. I tak by systém měl mít dost času reagovat, to závisí především na akumulaci bodovy a akumulace tepla u podlahového vytápění.

## Seznam použité literatury

- [1] PAPEŽ, Karel. Energetické a ekologické systémy budov 2: vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03622-8.
- [2] Měření a hodnocení pracovní tepelné zátěže na pracovištích [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.khshk.cz/e-learning/kurs3/index.html>
- [3] Autonomní\_nervová\_soustava [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Autonomní\\_nervová\\_soustava](https://cs.wikipedia.org/wiki/Autonomní_nervová_soustava)
- [4] Soustava\_žláz\_s\_vnitřní\_sekrecí [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Soustava\\_žláz\\_s\\_vnitřní\\_sekrecí](https://cs.wikipedia.org/wiki/Soustava_žláz_s_vnitřní_sekrecí)
- [5] Vlastnosti-vlhkeho-vzduchu-informace [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/Vlastnosti-vlhkeho-vzduchu-informace>
- [6] Wilsmore, Bradley R, Thermoregulation in people with spinal cord injury, PhD thesis, School of Health Sciences, University of Wollongong, 2007. <http://ro.uow.edu.au/theses/85>.
- [7] NIGHTINGALE, TOM E. a ASHRAF S. GORGEY. Predicting Basal Metabolic Rate in Men with Motor Complete Spinal Cord Injury. 2018, 50(6), 1305-1312. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001548. ISSN 0195-9131. Dostupné také z: <http://Insights.ovid.com/crossref?an=00005768-201806000-000>
- [8] Farah Mneimneh, Nesreen Ghaddar, Kamel Ghali, Ibrahim Omeis and Charbel Moussalem, An Altered Bioheat Model for Persons with Cervical Spinal Cord Injury, Journal of Thermal Biology, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.007>
- [9] GANONG, William F., c2005. Přehled lékařské fyziologie: dvacáté vydání. Praha: Galén. ISBN 80-726-2311-7.
- [10] Awbi H.B., 1995. Ventilation of Buildings. E & FN Spon UK
- [11] [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/569-hodnota-metabolismu>
- [12] Vzduchotechnika [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/01\\_Vypocet%20tepeln%20zateze.pdf](http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/01_Vypocet%20tepeln%20zateze.pdf)
- [13] Ing. Lada Centnerová. TRADIČNÍ & ADAPTIVNÍ MODEL TEPELNÉ POHODY. Praha, 2001. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Karel Papež, CSc.
- [14] Teplotní pole v zemině pod podlahou – teorie a skutečnost [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/10182-teplotni-pole-v-zemine-pod-podlahou-teorie-a-skutecnost>

[15] Výpočet tepelného zisku klimatizovaného prostor [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z:[http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tz02/cviceni/uloha\\_1/du1\\_tepelny-zisk.pdf](http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tz02/cviceni/uloha_1/du1_tepelny-zisk.pdf)

[16] Vladimír Zmrhal. PRODUKCE TEPLA OSOB JAKO PODKLAD PRO ENERGETICKÉ SIMULAČNÍ VÝPOČTY: Simulace budov a techniky prostředí 2016 9. konference IBPSA-CZ Brno, 10. a 11. 11. 2016.

## Použité nařízení a normy

Nařízení vlády (č. 6/2003 Sb) Pobytové prostory

ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostor

ČSN EN 12 831 -1. Výpočet tepelných ztrát

ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda

## Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1. Vliv teploty prostředí na teplotu rektální a teplotu slupky tělní [9] .....	8
Obrázek 2 Blokové schéma soustavy.....	22
Obrázek 3 Parametry výpočtu pro osluněnou plochu okna [10].....	29
Obrázek 4 půdorys inteligentního bytu na UCEEBu .....	32
Obrázek 1. Vliv teploty prostředí na teplotu rektální a teplotu slupky tělní [9] .....	8
Obrázek 2 Blokové schéma soustavy.....	22
Obrázek 3 Parametry výpočtu pro osluněnou plochu okna [10].....	29
Tabulka 1 rozdíl reakcí TP tetraplegiků a AB zdravých osob [8] .....	11
Tabulka 2 <i>M</i> a <i>W</i> podle dané činnosti [11] .....	15

## Zdroj dat

[17] PV FORECAST: ČVUT Univerzitní centrum energeticky efektivních budov. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://wp2.pvforecast.cz/>

[18] Laboratoř hydrometeorologie & hydropedologie: ČVUT Univerzitní centrum energeticky efektivních budov. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.uceb.cz/laborator-hydrometeorologie-hydropedologie>.

[19] Vlastní měření senzorem WOHLER CDL210.

[20] Počasí z oblasti kladna [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.pocasinakladne.cz/>

## **Přílohy**

Aplikace Excel – Diplomová práce Michal Hoffmann návrh regulace