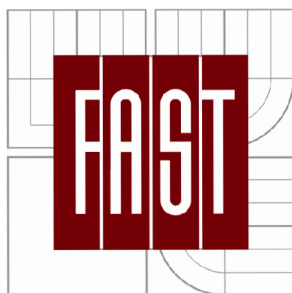




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ENERGETICKÁ CERTIFIKACE SYSTÉMŮ  
VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE V BUDOVÁCH  
ENERGY VALUATION OF SYSTEMS OF VENTILATION AND AIR-CONDITIONING

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE  
SHORT VERSION OF DISSERTATION THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ING. PETRA PÍŠOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ HIRŠ, CSC.

BRNO 2013

### ***Klíčová slova***

Větrání, klimatizační systémy, energetická certifikace, simulace, teplota operativní, teplota vnitřního vzduchu, relativní vlhkost, referenční hodnota, idealizovaný model.

### ***Key words***

Ventilation, (air-)condition systems, energy certification, simulation, operative temperature, indoor air temperature, relative humidity, reference value, idealize model.

## OBSAH

|   |    |
|---|----|
| 1. ÚVOD   | 5  |
| 2. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY   | 6  |
| 2.1. Větrání  | 6  |
| 2.1.1. Typy větrání   | 6  |
| 2.1.2. Přirozené větrání  | 7  |
| 2.1.3. Nucené větrání   | 7  |
| 2.1.4. Kombinované větrání  | 8  |
| 2.2. Klimatizace  | 9  |
| 2.3. Legislativní předpisy  | 9  |
| 2.3.1. Obecný postup výpočtu  | 10 |
| 2.3.2. Výpočet dodané energie   | 10 |
| 3. CÍL PRÁCE  | 14 |
| 3.1. Posuzovaný objekt  | 15 |
| 3.2. Energie vstupující do objektu                                      | 16 |
| 4. METODY ŘEŠENÍ  | 17 |
| 5. ROZBOR DÍLČÍCH ÚLOH  | 19 |
| 5.1. Teoretické řešení  | 19 |
| 5.1.1. Geometrický model a fyzikální popis konstrukcí                   | 19 |
| 5.1.2. Simulace Bsim  | 20 |
| 5.1.3. Simulace Energie   | 20 |
| 5.2. Experimentální řešení  | 21 |
| 5.2.1. Měření vnitřních parametrů v referenčních místnostech Pavilonu O | 21 |
| 6. VÝSLEDKY DIZERTACE   | 22 |
| 6.1. Výsledky simulace provozu - BSim                                   | 22 |
| 6.2. Výsledky simulace Energie  | 23 |
| 6.3. Srovnání simulací  | 24 |
| 6.4. Porovnání s reálnou spotřebou                                      | 25 |
| 6.5. Shrnutí výsledků   | 26 |
| 7. APLIKACE DO PRAXE A MOŽNOST DALŠÍHO VÝZKUMU                          | 27 |
| 7.1. Aplikace do praxe  | 27 |
| 7.2. Možnosti dalšího výzkumu   | 27 |
| 8. REJSTRÍK POJMŮ   | 28 |
| 9. SEZNAM OBRÁZKŮ   | 30 |
| 10. SEZNAM TABULEK  | 30 |
| 11. POUŽITÁ LITERATURA  | 31 |
| 12. AUTOROVO CV   | 32 |
| 13. ABSTRACT  | 34 |



## 1. ÚVOD

Od okamžiku, kdy člověk vyšel z jeskyní a přirozených úkrytů, poprvé vztyčil čtyři stěny a zakryl vzniklý prostor střechou nebo jen stropní konstrukcí, začal vytvářet vnitřní obytné prostředí. Nároky na pobytovou pohodu v tomto prostoru se vyvíjely postupem času a sledovaly tempo vývoje technických a technologických prostředků, a také poznatky o vlivu pobytového prostoru na člověka se rozšiřovaly s pokrokem vědy.

Bylo nezbytné zajistit v uměle vytvořeném prostředí podmínky optimální pro pobyt lidí v něm. Ať už se to týká teploty v místnosti, vlhkosti vzduchu či koncentrace různých chemických látek, nečistot a prachu. Způsobů úpravy ovzduší v interiéru budovy je mnoho, např. ovlivnění technologie, hermetizace zdrojů škodlivin, větrání, teplovzdušné vytápění, klimatizace.

S rozvojem znalostí vzniká potřeba tyto systémy porovnávat a vybírat z nich nejvhodnější řešení. Vyvstává nutnost certifikovat jednotlivé varianty řešení.

A jak porovnat, tak rozmanité systémy, jakými větrací a klimatizační jsou? Jejich typy se liší dle druhu provozu, kde jsou umístěny, dispozice budovy či velikostí a orientací místností. Odlišné jsou požadavky na provozní parametry. Ty mohou být rozmanité i na stejném typu provozu.

Ideální variantou se jeví porovnávat jednotlivé klimatizační systémy na stejném typu objektu. Tímto by byla zajištěna jednotnosti vstupních parametrů a možnost systémy navzájem srovnávat a hodnotit.

## 2. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Současná legislativní úprava se zabývá energetickou náročností budov velmi podrobně. Ukládá podmínky výpočtu a požadovanou velikost jednotlivých veličin, které musí být ve výpočtu zohledněny. Definuje jednotlivé metody a postupy pro vyhodnocení a také podíl zjednodušujících předpokladů či zanedbání některých vstupních parametrů při charakteristice daného stavebního objektu a jeho dílčích stavebních částí.

Při vytváření výpočtových modelů se využívá popisu vnějších podmínek ovlivňujících budovu; definování účelu vnitřního prostředí a způsobu jeho využití; a uvedení typu vnitřních technologických systémů (vytápění, větrání, druh zdroje energie, apod.).

Dalším bodem je tvorba optimálního vnitřního prostředí budov – mikroklimatu.

Přehled druhů mikroklimatu:

- tepelně vlhkostní
- mikrobiální
- ionizační
- aerosolové
- odérové
- toxické
- akustické
- světelné
- elektroiontové
- elektrostatické
- elektromagnetické

Základem je zabezpečit optimalizaci alespoň tří složek prostředí: tepelně-vlhkostní, odérové a elektroiontové.

Hodnoty mikroklimatických podmínek pro vnitřní pracovní prostředí stanoví pro ČR například právní předpis č. 178 [5, 7].

### 2.1. Větrání

Větrání je výměna vzduchu v interiéru, při níž se odvádí zkažený, závadný vzduch a nahrazuje se příivodem vzduchu nezávadného.[15]

Nejčastějším parametrem větrání místnosti je výměna vzduchu, která určuje, kolikrát za hodinu se vzduch v místnosti nahradí (vymění) čerstvým vzduchem.

#### 2.1.1. Typy větrání

Větrací systémy rozdělujeme na dle [15]:

- přirozené
- nucené
- kombinované (sdružené, hybridní)

### 2.1.2. Přírozené větrání

Výměnu vzduchu probíhá samočinně a zajišťují ji rozdíly způsobené gravitačním vztlakem, dynamickým účinkem větru a obecně tlakovými rozdíly mezi vnějším a vnitřním prostředím. [9, 11, 15].

#### *Infiltrace*

$$V_d = \sum(i l) \Delta p^{0,67} \quad (2.1)$$

#### *Provětrávání*

$$V_d = \mu b \sqrt{g \Delta p h^3 \rho_e} \quad (2.2.)$$

#### *Šachtové větrání*

$$gh (\rho_e - \rho_i) = \frac{\left(\frac{\lambda h}{d} + \sum \xi + 1\right) \rho_i w^2}{2} + (p_e - p_i) \quad (2.3.)$$

#### *Aerace*

$$V_d = Q / (c(t_o - t_e)) \quad (2.4.)$$

#### *Místní větrání (větrání odtahové)*

$$\dot{V} = \max[\dot{V}_{min}, \dot{V}_d] \quad (2.5.)$$

### 2.1.3. Nucené větrání

Je zajišťováno pomocí mechanických strojních zařízení (ventilátoru, ejektoru, dmýchadla nebo kompresoru), která regulují přívod a současně odvod vzduchu v budovách. Nucené větrání zaručuje výměnu vzduchu i při nepříznivých tlakových podmínkách, možnost regulace výkonu na základě momentálních požadavků (koncentrace CO<sub>2</sub>, počet osob či úroveň vlhkosti atd.), možnost úpravy vzduchu (filtrace, úprava teploty či vlhkosti atd.), a také možnost rekuperace tepla. [16, 17]

Hodnota součinitele větrací rovnováhy při celkovém větrání  $\varepsilon = V_p/V_o$  (poměr průtoku vzduchu nuceně přiváděného a nuceně odváděného) dělí systémy na rovnotlaké  $\varepsilon = 1$ , přetlakové  $\varepsilon > 1$  a podtlakové  $\varepsilon < 1$ .

Celkový objemový tok vzduchu je určen jako součet objemového toku stanoveného z průměrného objemového toku vzduchu větracím systémem v provozu  $V_f$  a přídatného toku vzduchu  $V_x$  vyvolaného větrem a vztlakem při netěsném obvodovém plášti budovy.

$$\dot{V} = \dot{V}_f + \dot{V}_x \quad (2.6.)$$

Pro systém nuceného větrání odpovídá  $V$  vždy větší hodnotě, buď objemovému toku přiváděného vzduchu  $V_{\text{sup}}$ , nebo odváděného vzduchu  $V_{\text{ex}}$ .

#### 2.1.4. Kombinované větrání

Větrání nucené lze kombinovat s přirozeným. Oblíbená kombinace místního odsávání s přirozeným přívodem vzduchu (bez starosti o jeho čistotu a ohřev) se nazývá kombinované větrání.

##### *Hybridní větrání*

Představuje systém, ve kterém je kombinován účinek přirozených (vztlakových) sil se silou mechanickou (nucené větrání). [1]

Druhy možných kombinací:

- Střídavé nebo současné použití přirozeného a nuceného větrání



Tato strategie je založena na dvou nezávislých větracích systémech, kde řídicí systém přepíná mezi jednotlivými systémy nebo je vzájemně kombinuje.

- Přirozené větrání asistované ventilátorem



Tato strategie je založena na systému přirozeného větrání, kombinovaného s ventilátorem pro přívod nebo odvod vzduchu. Ventilátor se uvádí do činnosti pouze v případě nepříznivých podmínek pro přirozené větrání.

- Nucené větrání podpořené šachtovým efektem a účinkem větru



Tato strategie je založena na systému nuceného větrání, který optimálně využívá rozdílů teplot a účinku větru pro výměnu vzduchu

Celkový objemový tok vzduchu, pokud není mechanické větrání nepřetržitě v provozu, se vypočítá:

(2.7.)

Objemový tok vzduchu  $V_0$  zobrazuje tok vzduchu při přirozeném větrání (při vypnutí mechanického větracího systému) včetně toku vzduchovody,  $V'_x$  je přídatný objemový vzduchový tok infiltrací při vypnutí větracího systému,  $V_f$  je návrhový objemový tok vzduchu způsobený mechanickým větráním,  $V_x$  je přídatný tok infiltrací při mechanickém větrání způsobený účinky větru.



## 2.2. Klimatizace

Lze ji definovat jako úpravu a výměnu znehodnoceného vzduchu v daném prostoru přírodním vzduchem, který je alespoň ochlazován, vlhčen, nebo odvlhčován a v zimě zpravidla ohříván. Klimatizace zajišťuje všechny složky vnitřního prostředí budov (čistota, teplota, vlhkost) na požadované úrovni v celém spektru vyskytujících se provozních stavů budovy či místnosti. [15]

Základním výkonovým parametrem vzduchotechnického zařízení je vzduchový výkon (též objemové množství nebo objemový průtok vzduchu) v jednotkách m<sup>3</sup>/h, nebo m<sup>3</sup>/s.

Celkový objemový tok vzduchu  $V$  se stanovuje individuálně dle konkrétního případu, obecně by jej šlo napsat pomocí integrálu proměnného v čase  $t$ :

$$\dot{V} = \int_{t=t_1}^{t=t_2} c\rho\Delta\theta dt \quad (2.8.)$$

Základním prvkem je ventilátor, který zajišťuje odvod vzduchu. V prostoru vzniká podtlak, množství vzduchu odebrané z místnosti tímto ventilátorem musí být nahrazeno vzduchem z okolních prostorů, který se přisaje netěsnostmi, příp. přes elementy k tomu vhodnými, jako jsou stěnové nebo dveřní mřížky.

Pro specifické účely se filtrace a ohřev větracího vzduchu doplňuje dalšími úpravami. Chlazením v létě u komfortních zařízení a určitých typů průmyslových zařízení, např. potravinářského průmyslu, laboratoří; zvlhčováním při zpracování hygroskopických materiálů jako je textil, tabák, papír avšak i v muzeích výtvarného umění, knihovnách.

Odvlhčováním, které je většinou spojeno s chlazením (chemický průmysl).

## 2.3. Legislativní předpisy

Přistoupením ČR do Evropské Unie se v procesu přibližování legislativní předpisů jednotlivých zemí změnila i naše národní legislativa. Do stávající platných předpisů je nutno zapracovat úpravy vztahů a některé nové veličiny, které byly schváleny EU a budou platit na celém jejím území.

Energetickou náročností budov se zabývá Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2002/91/ES [4]. Některé její části, např. tepelnou bilanci celé budovy a způsobem výpočtu jejích jednotlivých složek, uvádí vyhláška [6].

K vyhlášce patří přílohy, ve kterých jsou uvedeny jednotlivé postupy výpočtu spotřeb tepla a energií, a vzor pro vypracování energetického průkazu.

### 2.3.1. Obecný postup výpočtu

Celková vypočtená roční energie  $Q_{\text{fuel}}$  se stanoví pro celou budovu (všechny zóny) pomocí měsíční intervalové výpočtové metody jako součet vypočtené dodané energie pro pokrytí jednotlivých dílčích potřeb pro viz. Tab. 2.2.

Hodnoty těchto dílčích dodaných energií se spočítají podle druhu energonositele a zahrnují účinnosti energetických systémů v budově a ztráty vzniklé v těchto systémech. Také obsahují část tepelných ztrát využitých ke snížení spotřeby energie a pomocnou energii včetně využitelných tepelných zisků. [13, 14]

Tab. 2.1: Schéma výpočtu celkové roční dodané energie

|  | Dílčí<br>dodaná<br>energie <sup>1</sup>     | Dodaná<br>pomocná<br>energie | Energie z OZE <sup>2</sup>           | Celkem            |
|--|---|------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
|  |   |                              | Elektrická                           |                   |
| vytápění                               | $Q_{\text{fuel};H}$                         | $Q_{\text{Aux};H}$           | $Q_{\text{PV};E} + Q_{\text{CHP};E}$ | $Q_{\text{fuel}}$ |
| chlazení                               | $Q_{\text{fuel};C}$                         | $Q_{\text{Aux};C}$           |                                      |                   |
| větrání (vč. zvlhčování <sup>3</sup> ) | $Q_{\text{Aux};Fans} + Q_{\text{fuel};Hum}$ |                              |                                      |                   |
| teplá voda                             | $Q_{\text{fuel};DHW}$                       | $Q_{\text{Aux};DWH}$         |                                      |                   |
| osvětlení                              | $Q_{\text{fuel};Light;E}$                   |                              |                                      |                   |

### 2.3.2. Výpočet dodané energie

Do budovy je na její systémové hranici dodávána energie, která je přeměněna ve zdroji a následně je rozvedena do jednotlivých zón. Zdrojem pro přeměnu energie je například tepelné čerpadlo, plynový kotel nebo výměňiková stanice pro ústřední topení. [21]

Do každého zdroje vstupuje jeden energonositel. Pro elektřinu je zdrojem transformátor nebo rozvodná stanice, pokud je součástí budovy.

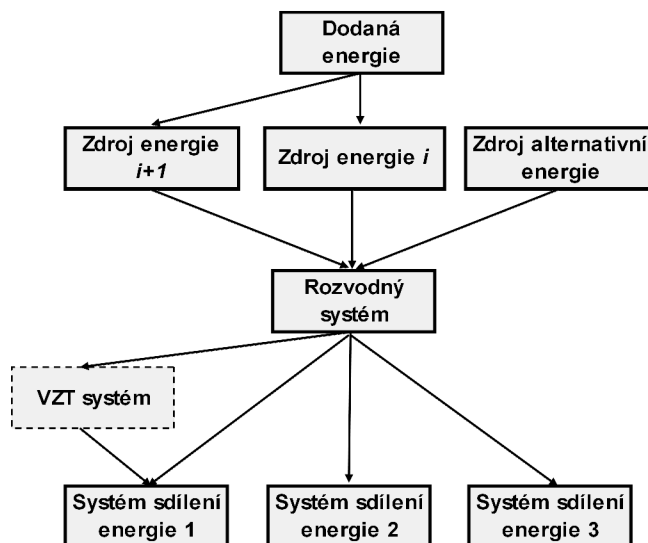
Na Obr 2.1 je zobrazeno schéma celkového toku energie budovou.

1 Dodaná energie včetně odečtené energie ze solárních kolektorů.

2 Energie vyrobená z OZE je přičítána se znaménkem minus.

3 V případě použití zvlhčování je dodaná energie na zvlhčování připočtena k dodané energii na mechanické větrání budovy.

Obr. 2.1: Celkový tok energie v budově dle [1]



Výpočetní postup stanovení potřeby energie v budově nebo zóně budovy je proveden obálkovou metodou pro režimy vytápění (index H) a chlazení (index C) podle příslušných technických norem.<sup>4</sup>

- Potřeba energie na vytápění (2.1)

- Potřeba energie na chlazení (2.2)

### ***Celkový tepelný tok a tepelné zisky pro režim vytápění a chlazení***

- Celkový tepelný tok  $Q_L$  (2.3)

- Celkové tepelné zisky  $Q_G$  (2.4)

- Tepelný tok větráním  $Q_V$  (2.5)

---

<sup>4</sup> Například ČSN EN ISO 13790, ČSN EN 12831, EN ISO 13370.

Měrný tepelný tok větráním  $H_{V,i}$  se stanoví jako součet infiltrace, přirozeného a nuceného větrání pro každou zónu budovy  $z$ , pro každou konstrukci přilehlou k prostoru(ům), prostředí nebo zóně(ám) podle:

$$H_{V,i} = b f_{vent} \rho_a c_a V_{V,i} \quad (2.6)$$

### ***Výměna vzduchu v klimatizovaném prostoru***

Výpočtový postup pro stanovení výměny vzduchu závisí na uvažovaném řešení, např. s nebo bez větrací soustavy.

- Přirozené větrání – Předpokládá se, že větrací soustava není nainstalovaná. Hodnota výměny vzduchu je poté:

$$\dot{V}_i = \max (\dot{V}_{inf,i} \dot{V}_{min,i}) \quad (2.7)$$

- Nucené větrání – Větrací soustava je v prostoru využívána, pak se výměna vzduchu vypočítá jako:

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{inf,i} + \dot{V}_{su,i} \times f_{vi} + \dot{V}_{mech,inf,i} \quad (2.8)$$

- Množství vzduchu při užití nucených soustav

$$\dot{V}_{mech,inf} = \max (\dot{V}_{ex} - \dot{V}_{su}) \quad (2.9)$$

V budovách pro bydlení je množství přiváděného vzduchu pro celou budovu většinou rovno 0.  $\dot{V}_{mech,inf}$  se nejprve stanoví pro celou budovu. Následně se rozdělí množství venkovního vzduchu do každého prostoru podle jeho průvzdušnosti<sup>5</sup> v poměru k průvzdušnosti celé budovy.

$$\dot{V}_{mech,inf,i} = \dot{V}_{mech,inf} \frac{V_i}{\sum V_i} \quad (2.10)$$

Nejsou-li dostupné hodnoty průvzdušnosti<sup>5</sup>, lze využít poměr objemů jednotlivých prostorů.

### ***Dodaná energie pro vytápění***

Energie dodaná do budovy pro vytápění v jednom roku  $Q_{fuel;H}$  se rozděluje podle druhů energonositelů a pro jednotlivé měsíce. Pokud je zdrojem tepla KVET, je předpokládáno, že teplo na vytápění je přednostně dodáváno z KVET ( $Q_{gen;H}$ ).

---

<sup>5</sup> Výraz „průvzdušnost“ zohledňuje vzduchovou těsnot obvodového pláště budovy a navržené otvorové výplně v budově.

Dodaná energie za měsíc  $n$  pro každý zdroj tepelné energie  $i$  se stanoví podle vztahu:

$$Q_{gen;H;c;n;i} = \frac{(Q_{distr;H;n} \times F_{gen;H;n;i})}{(\eta_{gen;H;c;i} \times \eta_{gen;H;ctrl;i} \times COP_{gen;H;c;i})} \quad (2.11)$$

Součinitel  $F_{gen;H;n;i}$  určuje podíl dodávky tepelné energie ze zdroje do rozvodného systému. Tento podíl je stanoven v rámci předběžných výpočtů.

### ***Dodaná energie na chlazení a odvlhčování***

Postup výpočtu je velmi obdobný určení dodané energie pro vytápění. Pouze index  $H$  se mění za index  $C$ . Také se rozlišuje, zda se v objektu jedná o chlazení či pouze odvlhčování.

- Chlazení

Dodaná energie na chlazení za měsíc  $n$  pro každý zdroj chladu  $i$  a každý energonositel  $c$  je stanovena vztahem:

$$Q_{gen;C;c;n;i} = \frac{(Q_{distr;C;n} \times F_{gen;C;n;i})}{COP_{gen;C;c;i}} \quad (2.12)$$

- Zvlhčování

Pro každý zvlhčovací systém  $s$  a každý energonositel  $c$  je dodaná energie stanovena ze vztahu:

$$Q_{gen;Hum;c;n;i;s} = \frac{Q_{distr;Hum;n;s}}{\eta_{gen;Hum;c;i}} \quad (2.13)$$

### ***Pomocná energie***

Pro účely této vyhlášky se stanovuje spotřeba pomocné energie pro systém vytápění, chlazení, větrání a přípravy teplé vody.

Dodaná pomocná energie zahrnuje pouze elektrickou energii. Roční dodaná pomocná energie se stanoví ze vztahu:

$$Q_{fuel;Aux} = \sum_n Q_{fuel;Aux;n} \quad (2.15)$$

$$Q_{fuel;Aux;n} = Q_{Aux;H;n} + Q_{Aux;C;n} + Q_{Aux;DHW;n} + Q_{Aux;Fans;n} \quad (2.16)$$

Spotřeba pomocné energie na mechanické větrání ve výpočtovém období  $n$  se stanoví ze vztahu:

$$Q_{Aux;Fans;n} = P_{fans} \times t_n \times f_{vent} \times f_{c;vent} \quad (2.17)$$

$$P_{fans} = e_{vent} \times V_{V,AHU;n} \quad (2.18)$$

### 3. CÍL PRÁCE

Nyní k přehledu prvotních cílů disertační práce, které byly stanoveny na počátku doktorského studia:

- analýza větracích a klimatizačních systémů z energetického hlediska
- definování okrajových podmínek výpočtu energetické náročnosti pro ČR
- definování okrajových podmínek modelů vybraných typů budov v ČR
- experimentální měření větracích a klimatizačních systémů u vybraných typů budov
- energetická simulace vybraných typů budov
- stanovení měrných spotřeb energie na větrání a klimatizaci pro vybrané typy budov

Tyto cíle jsou však samy o sobě velmi široké a jejich zpracování by svým rozsahem obsáhlo několik samostatných disertačních prací. Některé z těchto bodů jsou již částečně definované pomocí legislativních požadavků po přijetí Směrnice EPBD II [4] a navazujících zákon, prováděcích vyhlášek [6] a norem [8, 9, 12].

Důsledkem této širší témat je zúžení zaměření disertační práce pouze na jeden vybraný cíl. Tím je energetická simulace vybraného typu budovy a rozbor větracích a klimatizačních systémů umístěných v budově.

Po vstupní analýze projektové dokumentace budovy a prohlídky na místě bude vytvořen matematický model budovy z hlediska obálky budovy (stavebních konstrukcí) a instalací technických zařízení. Při tvorbě modelu bude nutné předem uvážit jednotlivá zjednodušení – v rámci tvorby 3D matematického modelu skutečné budovy a zejména provozních harmonogramů technický systému uvnitř budovy. Týká se to zejména dispozičního rozčlenění na jednotlivé provozní zóny v budově a odůvodněného zjednodušení geometrického modelu. Důležitým prvkem je volba odpovídajícího výpočetního nástroje.

Nutné je provedení měření vybraných parametrů vnitřního prostředí v budově. Nejlépe v dlouhodobém časovém horizontu, nejméně však v délce 3 týdny.

Po porovnání virtuálního modelu s reálně provedeným měřením v referenčních místnostech budovy a jeho případném upravení vstupních podmínek v modelu bude možné prohlásit objekt jako referenční.

Na modelu bude vyhodnoceno několik způsobů využití větracích a klimatizačních systému ve více simulačních programech. Na závěr bude provedeno jejich porovnání a vyhodnocení získaných poznatků.

### 3.1. Posuzovaný objekt

Ve spolupráci s energetickým manažerem Mendlovy zemědělské a lesnické university (MZLU) Ing. Radkem Holoubkem byl zvolen stravovací pavilon O (menza) v areálu MZLU v Černých Polích.

#### *Obecný popis pavilonu O*

Jedná se o dvoupodlažní nepodsklepený objekt, dokončený v roce 1996. Objekt jídelny slouží pro zabezpečení denního stravování zaměstnanců a studentů s denní kapacitou výdeje 500 hlavních jídel.



V budově jsou instalovány tyto technické zařízení:

- tlakově závislá předávací stanice
- technologie pro ohřev a konečnou úpravu jídel
- 2 klimatizační jednotky pro větrání a chlazení
- odsávací zařízení

Z energeticko-provozního hlediska lze objekt rozčlenit na části:

- provozní – jídelna, bufet, kuchyně;
- komunikační prostory (schodiště, chodby, sociální zařízení).

Provoz objektu během pracovního týdne je od 7<sup>00</sup>-17<sup>00</sup>. Nad rámec této doby objekt funguje pouze dílčím způsobem. O víkendech nebývá objekt v užívání.

Podrobnosti včetně popisu skladeb jednotlivých konstrukcí a technického zařízení jsou uvedeny v Dizertační práci.

#### *Problémy s tvorbou optimálního vnitřního prostředí*

V pavilonu ‚O‘ se vyskytují problémy zejména s chlazením prostor v letních měsících. Chlazení se uvádí do provozu kolem 10 hodiny odpolední, kdy na střeše objektu může být teplota nasávaného vzduchu kolem 37°C. Stížnosti jsou na nedostatečný výkon chlazení (dle uživatele).

Dalšími komplikacemi je provoz zařízení v přechodových obdobích roku (jaro, podzim). Kombinace vytápění (chladné rána) a chlazení (vnitřní zisky od zařízení, provozu a solární zisky prosklenými konstrukcemi během dne).

### 3.2. Energie vstupující do objektu

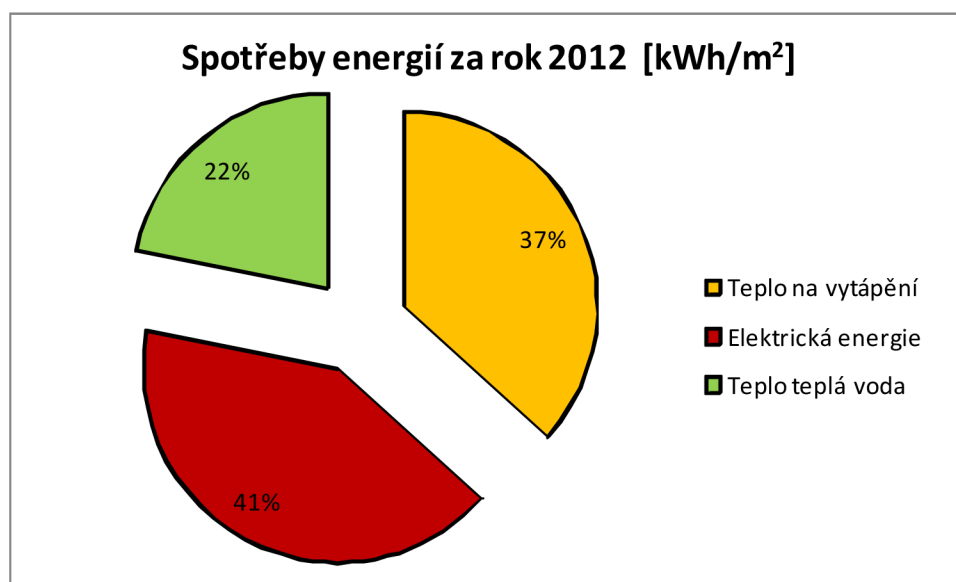
Areál Mendelu v Černých polích je centrálně monitorován z kanceláře hlavního energetika pomocí soustavy měřidel (kalorimetry, elektroměry, apod.) a čidel (teplotní, vlhkostní, elektrické, apod.).

Pomocí měsíčních odečtu z měřidel je uvedena přehled spotřeby energie pro rok 2012 v tabulce 3.1, a jejich grafické znázornění Obr. 3.1.

Tab. 3.1: Přehled spotřebované energie v Pavilonu O

| Spotřeby za rok 2012 |                       |                    |                       |              |                       |            |                       |
|----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|------------|-----------------------|
| Teplota na vytápění  |                       | Elektrická energie |                       | Studená voda |                       | Teplá voda |                       |
| 401,0                | [GJ]                  | 125 670            | [kWh]                 | 846          | [m <sup>3</sup> ]     | 799        | [m <sup>3</sup> ]     |
| 111,39               | [MWh]                 | 125,67             | [MWh]                 | --           | [MWh]                 | 66,58      | [MWh]                 |
| 79,30                | [kWh/m <sup>2</sup> ] | 89,46              | [kWh/m <sup>2</sup> ] | --           | [kWh/m <sup>2</sup> ] | 47,40      | [kWh/m <sup>2</sup> ] |

Obr. 3.1: Podíl jednotlivých spotřeb v Pavilonu O





## 4. METODY ŘEŠENÍ

V současné době existuje nepřehledné množství softwaru, který lze pro modelování využít. Volba závisí na komplikovanost vstupních podmínek a výsledku výpočtu. V našem případě jde o výpočet tepelných zisků a ztrát budovy, energetické náročnosti budovy, anebo vytváření modelu budovy nebo místnosti, následné simulace jejího chování a vývoj hodnot sledovaných veličin ve zvoleném časovém období.

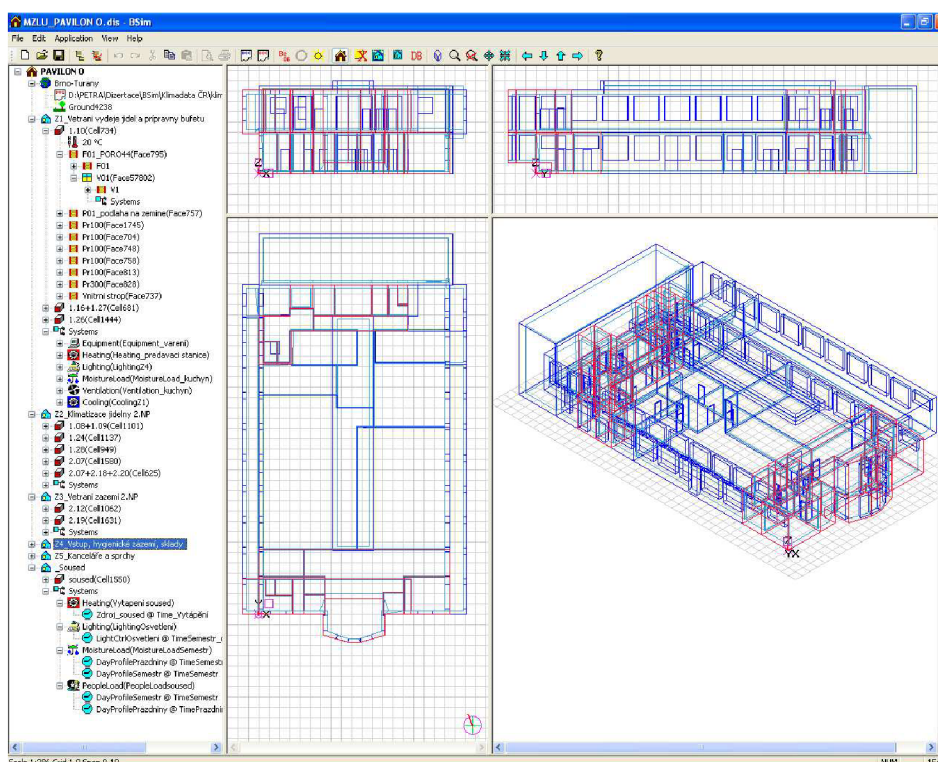
Pro tvorbu modelu bude využit program SketchUp [2].

- freeware umožňující snadné a rychle vykreslení 3D objektů

K řešení a výpočtu bude zvolen výpočetní program BSim2000 [3]:

- program vyvinutý dánským výzkumným stavebním institutem (SBI)
- pracuje s metodou konečných objemů
- umožňuje vytvoření modelu celého objektu nebo jeho části v 3D pomocí kartézského systému vynášení jednotlivých funkčních prostor
- budova je chápána jako soubor navzájem oddělených zón od sebe i vnějšího prostředí

Obr. 4.1: Pracovní prostor programu BSim



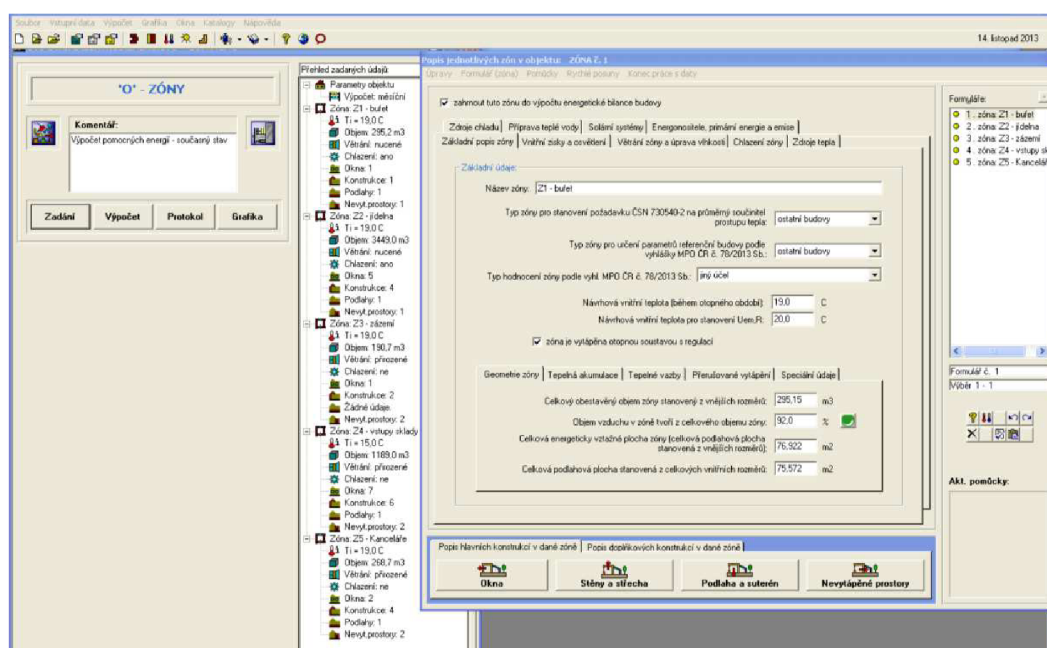
Program dává možnost výpočtu a analýzy vnitřních klimatických podmínek, množství dodané a spotřebované energie v budovách. Při tvorbě podrobného

matematického modelu stavebního objektu je možné vytvořit i velmi komplexní budovu s příslušným systémem vytápění a větrání a vyzkoušet průběh vnitřních parametrů, které se střídají po dnech či v průběhu roku.

Dalším programem je výpočetní program Energie 2013:

- český program – autor Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda
- pracuje s metodou dennostupňů
- problematika oblasti tepelné techniky
- komplexní vyhodnocení energetické náročnosti budov

Obr. 4.2: Pracovní prostor programu Energie



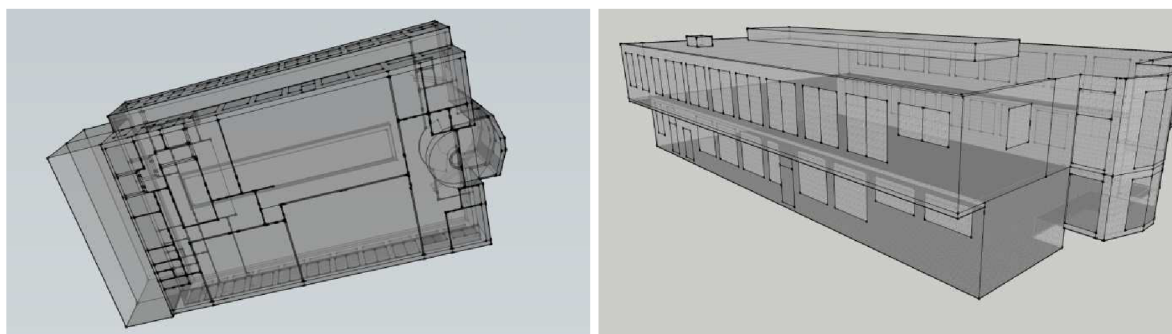
## 5. ROZBOR DÍLČÍCH ÚLOH

### 5.1. Teoretické řešení

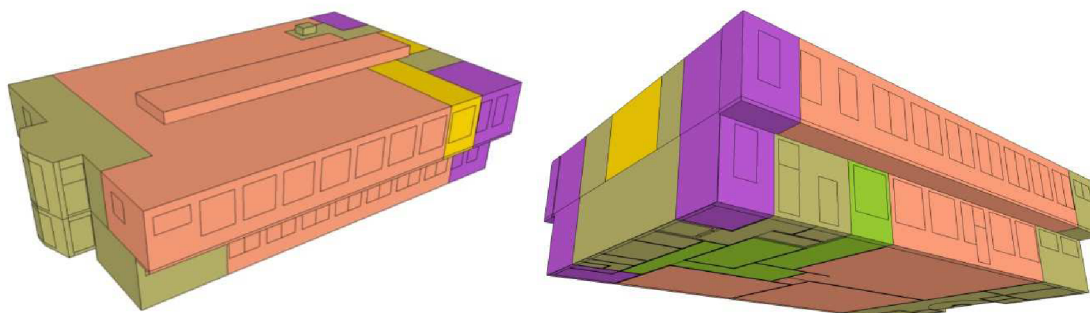
#### 5.1.1. Geometrický model a fyzikální popis konstrukcí

Freeware SketchUp umožnil vytvoření „drátěného“ modelu, který byl využit pro zadávání vstupních parametrů geometrie do programu BSim a Energie.

*Obr. 5.1: Model Pavilonu O pro zadávání do programu BSim*



*Obr. 5.2: Model Pavilonu O pro zadávání do programu Energie*



V Dizertační práci je uveden celkový výpis jednotlivých konstrukcí (viz. Obr. 5.3.) a také Energetický štítek obálky budovy (EŠOB) dle [8].

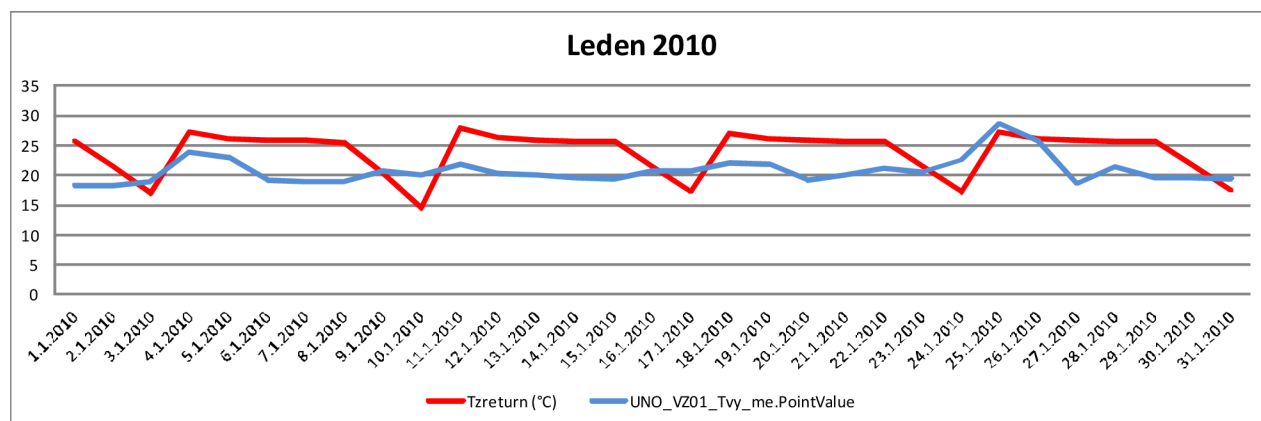
*Obr. 5.3: Karta Podlahy – skladby konstrukcí*

| Název konstrukce: Podlaha na zemině I |  |                      |                            | P1                    |
|---------------------------------------|--|----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Skladba konstrukce                    |  |                      |                            |                       |
| č.                                    | Název vrstvy                           | $\lambda$<br>W/(m.K) | $\lambda_{ekv}$<br>W/(m.K) | $d$<br>mm             |
| 1                                     | Keramická dlažba Taurus                | 1,010                | -                          | 9                     |
| 2                                     | Lože z cementové malty                 | 1,160                | -                          | 15                    |
| 3                                     | Betonová mazanina B20 + rabič. pletivo | 1,200                | -                          | 66                    |
| 4                                     | Desky ORSIL-P                          | 0,043                | -                          | 60                    |
| 5                                     | Podkladní beton B12,5 s ocelovou sítí  | 1,430                | -                          | 100                   |
| 6                                     | Štěrkodrt                              | 0,560                | -                          | 200                   |
| 7                                     | Štěrkopisek                            | 0,560                | -                          | 50                    |
| Celková plocha konstrukce             |  | A                    | 427,8                      | m <sup>2</sup>        |
| <b>Součinitel prostupu tepla</b>      |  | <b>U</b>             | <b>0,463</b>               | W/(m <sup>2</sup> .K) |

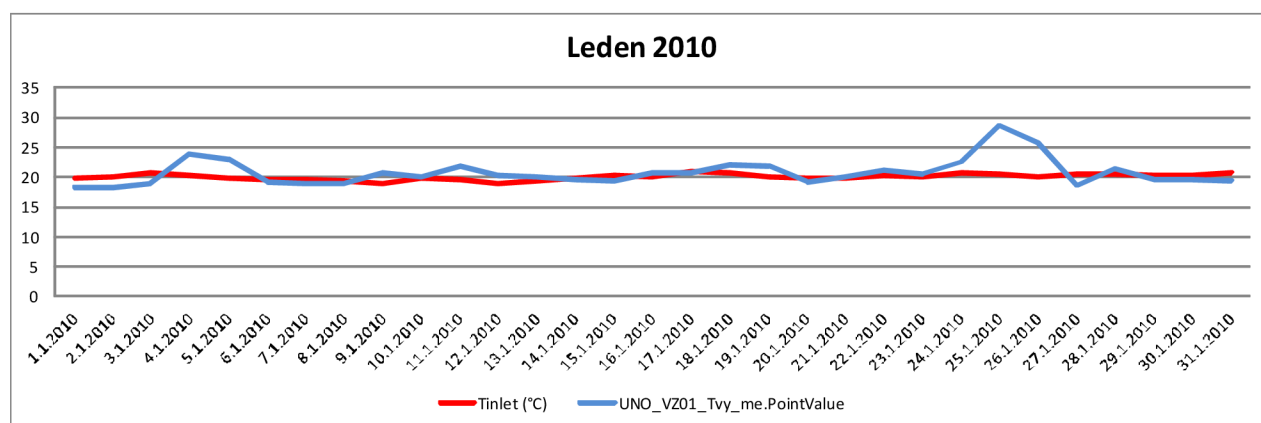
### 5.1.2. Simulace Bsim

Pro kalibraci modelu porovnám výsledky (průběh teplot vzduchu na přívodu do vnitřního prostředí budovy) ze simulace s reálnými naměřenými daty. (Obr. 5.4.)

Obr. 5.4: Průběh teplot podle simulace v BSim a naměřených hodnot



Obr. 5.5: Průběh teplot podle simulace v BSim a naměřených hodnot - kalibrace



Na základě tohoto závěru byla provedena úprava provozních charakteristik, zejména prodloužení provozu vytápění i na víkendy. Útlum ve vytápění byl ponechán pouze přes noc a po pracovní době (17:00 – 7:00). Viz obrázek 5.5.

Výsledné grafy o provedené simulaci, získaná data a vyhodnocené výsledky je možné najít v části věnující se vyhodnocení a podrobněji v samotné disertační práci.

### 5.1.3. Simulace Energie

Pro první simulaci byly použity parametry typického užívání budov z TNI 73 0331. Tyto údaje byly porovnány s hodnotami reálně spotřebované energie podle odečtů z měřidel (Tab. 3.1.). Vypočtené hodnoty jsou skoro 2 násobně větší než reálně naměřené a proto byla provedena úprava výpočtu.

Tab. 5.1: Porovnání spotřeb energie

| Kalibrace modelu      |                 |                      | Legenda    |  |
|-----------------------|-----------------|----------------------|------------|--|
| [kWh/m <sup>2</sup> ] | Původní výpočet | Kalibrace na faktury |            |  |
| $Q_{f,H}$             | 251,83          | 87,86                | $Q_{f,H}$  | spotřeba energie na vytápění               |
| $Q_{f,C}$             | 7,75            | 4,88                 | $Q_{f,C}$  | spotřeba energie na chlazení               |
| $Q_{f,F}$             | 41,02           | 35,00                | $Q_{f,F}$  | spotřeba energie na nucené větrání         |
| $Q_{f,W}$             | 99,43           | 47,38                | $Q_{f,W}$  | spotřeba energie na přípravu teplé vody    |
| $Q_{f,L}$             | 16,56           | 42,65                | $Q_{f,L}$  | spotřeba energie na osvětlení a spotřebiče |
| $Q_{f,A}$             | 1,86            | 1,00                 | $Q_{f,A}$  | pomocná energie                            |
| $Q_{fuel}$            | 418,45          | 218,78               | $Q_{fuel}$ | celková dodaná energie                     |

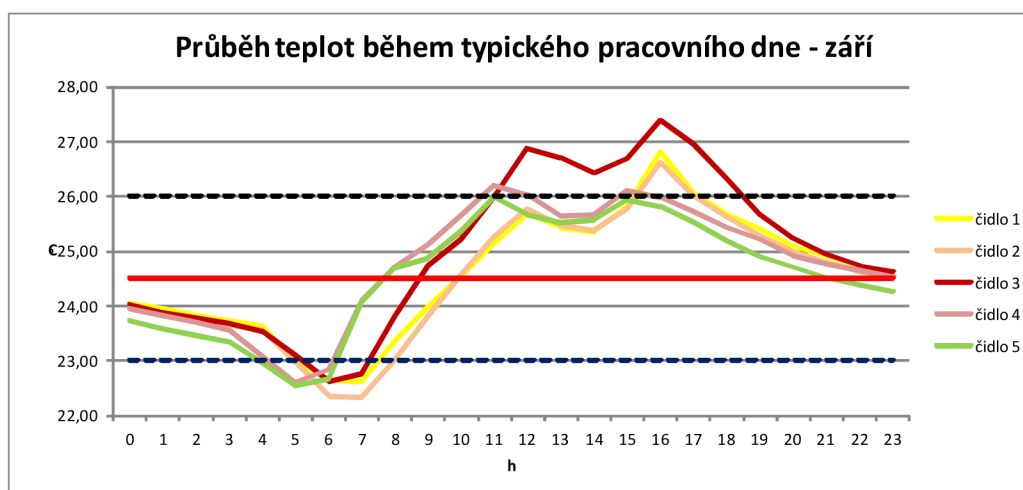
Úpravy se týkaly především korekce vnitřních tepelných zisků.

## 5.2. Experimentální řešení

### 5.2.1. Měření vnitřních parametrů v referenčních místnostech Pavilonu O

Bylo provedeno měření vnitřní teploty vzduchu v prostorech jídelny a to přístrojem Testo – Comet. Čidlo 3 vychází v posouzení velmi nepříznivé kvůli svému umístění těsně pod proskleným světlíkem. Měsíc září vychází ve srovnání lépe než srpen. Důvodem je uvedení klimatizačního zařízení do provozu. Z hlediska požadavku na pobytové prostory nevyhoví celý měsíc srpen a září kromě dvou dnů – 4. a 15. 9.

Obr. 5.6: Průběh vnitřních teplot – typický pracovní den září – pobytové prostory



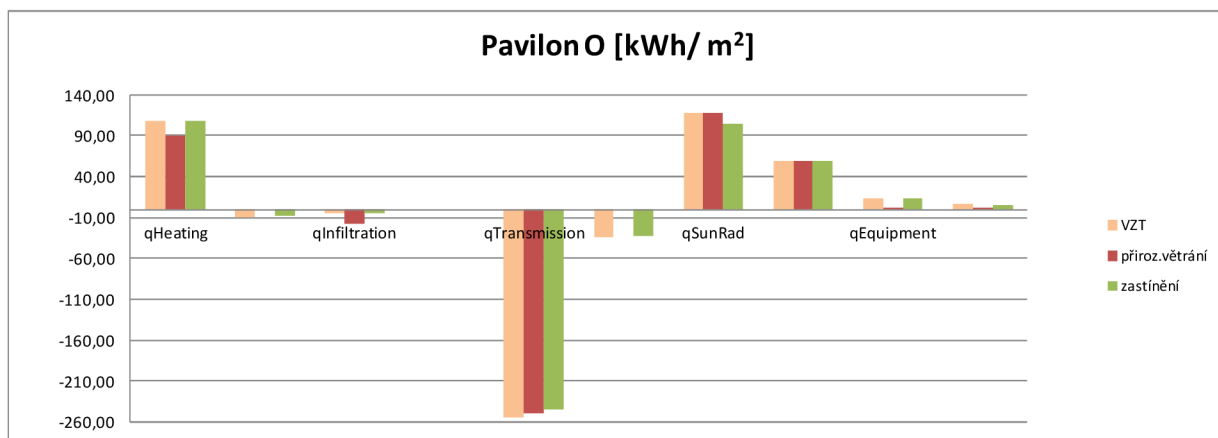
Čárkovaně jsou zobrazeny horní a dolní mez pro požadovanou vnitřní teplotu.

## 6. VÝSLEDKY DIZERTACE

### 6.1. Výsledky simulace provozu - BSim

Z výsledků grafů výsledků simulace jednotlivých variant je energeticky nejnáročnějším je systém klimatizační. Nejméně náročný je systém přirozeného větrání tj. infiltrace.

Obr. 6.1: Porovnání energetické náročnosti jednotlivých variant – celá budova



Předběžné závěry jsou:

- pro tento konkrétní typ budovy a typ provozu je z hlediska spotřebované energie nejvýhodnější systém přirozeného větrání
- energetické vyhodnocení v tomto případě nezohledňuje parametry vnitřního prostředí

Tab. 6.1: Spotřeba energie na jednotlivé varianty – celá budova

| Sum/Mean [kWh/m <sup>2</sup> a] | Celá budova |                |           | Legenda       |   |
|---------------------------------|-------------|----------------|-----------|---------------|---|
|                                 | VZT         | přiroz.větrání | zastínění |               |   |
| qHeating                        | 107,48      | 89,79          | 108,62    | qHeating      | energie pro vytápění ve virtuální zóně  |
| qCooling                        | -10,09      | 0,00           | -7,51     | qCooling      | energie pro chlazení ve virtuální zóně  |
| qInfiltration                   | -4,81       | -17,31         | -4,78     | qInfiltration | energie dodaná nebo odebraná infiltrací z okolí virtuální zóně  |
| qVenting                        | 0,00        | 0,00           | 0,00      | qVenting      | energie přenesená venkovními okny a jinými otvory   |
| qTransmission                   | -253,97     | -249,62        | -244,28   | qTransmission | energie přenesená (pozitivně/ negativně) skrze stavební konstrukce a výplně otvorů do virtuální zóny                                  |
| qVentilation                    | -33,44      | 0,00           | -32,39    | qVentilation  | energie přenesená (pozitivně/ negativně) skrze vzduch pomocí VZT potrubí do virtuální zóny včetně energie spotřebované v jednotlivých |
| qSunRad                         | 117,82      | 117,82         | 104,34    | qSunRad       | energie přenesená ze Slunce okennímu výplněmi   |
| qPeople                         | 58,44       | 58,43          | 58,44     | qPeople       | vnitřní tepelné zisky od osob   |
| qEquipment                      | 12,65       | 0,17           | 12,65     | qEquipment    | energie spotřebované ve vybavení  |
| qLighting                       | 5,92        | 0,72           | 4,91      | qLighting     | energie spotřebovaná pro umělé osvětlení  |

Zajímavé srovnání se nabízí při porovnání Varianty 1 – současný stav a Varianty 3 – současný stav TZB a vhodně zvolený režim zastínění výplní otvorů.

Vliv zastínění se projeví zejména u solárních zisků a následně ve výpočtu energie na vytápění, chlazení a osvětlení.

Při posuzování budov je nutné nezanedbat vliv zastínění a uvažovat s ním, jeho vliv na výsledky je nezanedbatelný.

## 6.2. Výsledky simulace Energie

Ze simulací provedených v programu Energie vyplývá, že při využití normových doporučených parametrů pro popis provozu a technického vybavení dochází oproti skutečně naměřeným hodnotám ke značným odchylkám, i více než 100% u celkové spotřeby energie.

Tab. 6.2: Přehled jednotlivých variant v programu Energie

| Měrná spotřeba energie Pavilonu 'O' - Energie 2013 |                 |                      |                   |          |          | Legenda           |  |
|--|-----------------|----------------------|-------------------|----------|----------|-------------------|--|
| [kWh/m <sup>2</sup> ]                              | Původní výpočet | Kalibrace na faktury | Přirozené větrání | Zdroj PK | Zdroj TČ |                   |  |
| Q <sub>f,H</sub>                                   | 251,83          | 87,86                | 18,49             | 97,74    | 86,99    | Q <sub>f,H</sub>  | spotřeba energie na vytápění               |
| Q <sub>f,C</sub>                                   | 7,75            | 4,88                 | 0,00              | 4,88     | 4,88     | Q <sub>f,C</sub>  | spotřeba energie na chlazení               |
| Q <sub>f,F</sub>                                   | 41,02           | 35,00                | 0,00              | 35,00    | 35,00    | Q <sub>f,F</sub>  | spotřeba energie na nucené větrání         |
| Q <sub>f,W</sub>                                   | 99,43           | 47,38                | 47,38             | 52,70    | 46,90    | Q <sub>f,W</sub>  | spotřeba energie na přípravu teplé vody    |
| Q <sub>f,L</sub>                                   | 16,56           | 42,65                | 42,65             | 42,65    | 42,65    | Q <sub>f,L</sub>  | spotřeba energie na osvětlení a spotřebiče |
| Q <sub>f,A</sub>                                   | 1,86            | 1,00                 | 0,08              | 1,00     | 1,00     | Q <sub>f,A</sub>  | pomocná energie                            |
| Q <sub>fuel</sub>                                  | 418,45          | 218,78               | 108,60            | 233,98   | 217,43   | Q <sub>fuel</sub> | celková dodaná energie                     |

Z porovnání jednotlivých variant simulace můžeme prohlásit:

Varianta 1 – přirozené větrání – vychází z hlediska spotřeby energie nejlépe. Není zde spotřeba energie na nucené větrání a chlazení.

Varianta 2 – plynová kotelna - v porovnání s ostatními variantami vychází ve spotřebě energie nejhůře. Je to způsobeno nižší účinností vlastního zdroje tepla oproti CZT a tepelnému čerpadlu. Dále se projevilo zvýšení spotřeby energie na ohřev teplé vody.

Varianta 3 – tepelné čerpadlo – tato simulace vychází srovnatelně se současným stavem. Spotřeba energie na vytápění je téměř shodná. Je nutné si uvědomit, že program u tohoto výpočtu nezohledňuje typ energonositele. V hodnotě spotřeby energie na vytápění je u tepelného čerpadla zahrnuta obnovitelná energie.

Z hlediska provozních nákladů by tato varianta vycházela lépe než současný stav.

### 6.3. Srovnání simulací

V tabulce 6.3 je provedeno porovnání odpovídajících si energetických toků ze simulací z programu BSim a Energie.

Tab. 6.3: Srovnání simulačních programů

| Celá budova                             |        |          |          |
|---|--------|----------|----------|
| [kWh/m <sup>2</sup> a]                  | Bsim   | Energie  |          |
|   |        | Vytápění | Chlazení |
| spotřeba energie na vytápění            | 107,48 | 87,87    | -        |
| spotřeba energie na chlazení            | 10,09  | -        | 4,88     |
| infiltrace                              | 4,81   | -        | -        |
| potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty | 253,97 | 133,28   | 225,62   |
| spotřeba energie na nucené větrání      | 33,44  | 35,00    | 35,00    |
| solární zisky                           | 117,82 | 74,57    | 32,81    |
| tepelné zisky od osob                   | 58,44  | 65,65    | 51,84    |
| spotřeba energie na spotřebiče          | 12,65  | 42,65    | 42,65    |
| spotřeba energie na osvětlení           | 5,92   |          |          |

Hodnota potřeby tepla na pokrytí tepelné ztráty si odpovídá v programu BSim a Energie pro letní období. Odchylka je cca 11%. Velmi odlišné jsou hodnoty pro solární zisky. Tento údaj je důležitý, protože jeho velikost ovlivňuje výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení.

Program BSim je uživatelsky náročnější na tvorbu modelu a vstupních parametrů. Umožňuje zadat komplexní provoz budovy včetně změn během roku. (prázdninový a víkendový útlum, provozní doby technických zařízení, spotřebičů a osvětlení, pobyt osob). Neobsahuje nastavbu pro přímé posouzení s našimi legislativními požadavky.

Program Energie uživatelsky příjemný. Neumožňuje přímé zadání jednotlivých spotřebičů, pouze jejich časový podíl provozu a průměrnou produkci tepla. Obsahuje nastavbu pro posouzení legislativních požadavků.

Výsledky si přibližně odpovídají kromě výpočtu solárních zisků a spotřebované energií na spotřebiče.



## 6.4. Porovnání s reálnou spotřebou

Celková spotřeba energie se u simulací a skutečné spotřeby shoduje. Odlišné je rozložení jednotlivých spotřeb energie.

Tab. 6.4: Srovnání spotřeb energie

| Celá budova                        |        |         |         |
|------------------------------------|--------|---------|---------|
| [kWh/m <sup>2</sup> a]             | Bsim   | Energie | Faktury |
| spotřeba energie na vytápění       | 107,48 | 87,87   | 79,30   |
| spotřeba energie na chlazení       | 10,09  | 4,88    | 89,46   |
| spotřeba energie na nucené větrání | 33,44  | 35,00   |         |
| spotřeba energie na spotřebiče     | 12,65  | 42,65   |         |
| spotřeba energie na osvětlení      | 5,92   |         |         |
| Celkem spotřebovaná energie        | 169,57 | 170,40  | 168,76  |

Pro správné vyhodnocení energetické náročnosti technických systémů a jejich certifikaci je nutné uvažovat s reálným provozem, nikoliv typickým dle normových požadavků.

Výstupy s normovými hodnotami vstupních parametrů bývají až dvojnásobné, zejména se to týká zadávání časového podílu provozu spotřebičů, pobytu osob a produkce tepla.

Díky měření vnitřních teplot je prokázáno, že při současném provozu klimatizačního zařízení, nedosahováno požadovaných parametrů pro pobytové prostory. Vzhledem k tomu, že zkoumaný objekt je typickým zástupcem tohoto provozu, dá se prohlásit, že z hlediska hygienických požadavků je objekt nevhodně provozován.

## 6.5. Shrnutí výsledků

Jak je vidět z předešlých srovnávacích grafů výsledků simulace jednotlivých klimatizačních a větracích systémů energeticky nejnáročnějším je systém klimatizační. Nejméně náročný je systém přirozeného větrání tj. infiltrace.

Závěry tedy jsou

- pro tento konkrétní typ budovy a styl provozu v něm, je energeticky nejvýhodnější systém přirozeného větrání

Posouzení se zakládá pouze na vyhodnocení velikosti spotřebované energie.

- energetická certifikace v tomto případě nezohledňuje parametry vnitřního prostředí

Nevyjadřuje se v ní, zda jsou splněny podmínky kladené na vnitřní mikroklima a zda během užívání nedochází k překračování stanovených limitů.

- referenční budova byla stanovena jako normová referenční budova

Tento bod se nově objevil v novelizaci zákona č. 406/2000 Sb. [24] s účinností od 1. 1. 2013. Bylo by tedy nutné zavést referenční profily užívání a jednotlivé klimatizační systémy nesrovnávat navzájem vůči sobě, ale s referenčními hodnotami klimatizačních a větracích systémů nastavených v legislativních požadavcích.

Hodnocení vnitřního prostředí jídelny bylo provedeno pomocí legislativních předpisů pro energetickou náročnost, požadavků na pracovní prostředí a pobytových prostor.

Díky měření vnitřních teplot je prokázáno, že při současném provozu klimatizačního zařízení, není dosahováno požadovaných parametrů pro pobytové prostory. Vzhledem k tomu, že zkoumaný objekt je typickým zástupcem tohoto provozu, lze prohlásit, že objekt je z hlediska hygienických požadavků nevhodně provozován.

Pro správné vyhodnocení energetické náročnosti technických systémů a jejich certifikaci je nutné uvažovat s reálným provozem, nikoliv typickým dle normových požadavků.

Provázání energetické náročnosti budovy a kvality vnitřního prostředí je nutné zohlednit už při návrhu budovy a jejího provozu.

V současné době neexistuje vhodný software, který by obsahoval všechny potřebné aplikace. Vhodná je kombinace více programů a měření.

## **7. APLIKACE DO PRAXE A MOŽNOST DALŠÍHO VÝZKUMU**

### **7.1. Aplikace do praxe**

Disertační práce má být s ohledem na snadnou aplikovatelnost uváděných řešení přínosem pro projektanty i realizační firmy. Pro technickou praxi vyplývá především možnost:

- využít výsledků simulace a vyhodnocení možných variantních řešení při návrhu ekonomicky optimálního systému větrání a klimatizace v budovách
- ověřování průběhu vnitřního mikroklima během celého roku a tím odhalení potencionálních problémů (např. přehřívání vnitřních prostor v období jara a podzimu)
- ověření splnění hygienických požadavků na prostory při změně režimu provozování technických zařízení (omezení doby provozu, snížení výkonu zařízení apod.)

### **7.2. Možnosti dalšího výzkumu**

Oblast energetické náročnosti budov v současné době díky zdražování cen energie nabývá na důležitosti a možnosti energetický úspór v rámci obálky budovy začínají být omezené.

Je tedy důležité pokračovat v oblasti technického zařízení budov a hledání možnosti úspor zde.

Jako další možnosti ve výzkumu:

- provedení energetické vyhodnocení systému klimatizace a větrání na dalších typech budov (obytné, administrativní)
- kalkulace finanční náročnosti jednotlivých systémů z hlediska provozních nákladů
- úprava hodnoty typického užívání budov (pro např. TNI 73 03 31)

## 8. REJSTŘÍK POJMŮ

|                   |  |
|-------------------|--|
| b                 | redukční činitel pro nevytápěné prostory (-)   |
| c                 | měrná tepelná kapacita (J/Kg K)  |
| $COP_{gen;C;c;i}$ | poměr mezi chladícím výkonem a příkonem zdroje chladu i (-)  |
| $COP_{gen;H;c;i}$ | poměr mezi tepelným výkonem a příkonem zdroje tepla na bázi tepelného čerpadla i poháněného elektrickou energií nebo plynem, (-). Systémy bez tepelného čerpadla mají koeficient $COP_{gen;H;c,i} = 1$ |
|                   | koeficient provozu zdroje tepla na bázi tepelného čerpadla (-), zahrnující vliv akumulčních zásobníků na účinnost celého systému   |
| $e_{vent}$        | měrná spotřeba elektřiny ventilátorů, (Ws/m <sup>3</sup> )   |
| $f_{c;vent}$      | váhový činitel regulace pohonu ventilátorů větr. systému,(-)   |
| $f_{vent}$        | časový podíl spuštěného větrání, (-)   |
|                   | opravný součinitel pro případ, že výměna vzduchu konstrukcí probíhá, jen pokud je budova užívána, (-)  |
| $f_{v,i}$         | teplotní redukční činitel, (-)   |
| $F_{gen;C;n;i}$   | měsíční podíl chladu dodaného do rozvodného systému dodané zdrojem chladu, (-); pro všechny zdroje v systému je $\sum_i F_{gen;C;n;i} = 1$   |
| $F_{gen;H;n;i}$   | měsíční podíl tepelné energie dodané do rozvodného systému s,(-); pro všechny zdroje i v systému je $\sum_i F_{gen;H;n;i} = 1$   |
| g                 | tíhové zrychlení (m/s <sup>2</sup> )   |
| h                 | vertikální převýšení os větracích otvorů (m)<br>výška (m)  |
| $H_{V,i}$         | měrný tepelný tok větráním konstrukcí k přilehlému prostoru(ům), prostředí nebo zóně(ám) s teplotou $\theta_{s,i}$ , (W/K)   |
| i                 | součinitel průvzdušnosti (m <sup>3</sup> /(s m Pa <sup>0,67</sup> ))   |
| l                 | délka (m)  |
| p                 | tlak (Pa)  |
| $P_{fans}$        | činný elektrický výkon ventilátorů, (kW <sub>e</sub> )   |
| Q                 | teplo (J)  |
| $Q_{Aux;C;n}$     | spotřeba pomocné energie na chlazení, (MJ/měsíc)   |
| $Q_{Aux;Fans;n}$  | spotřeba pomocné energie na mechanické větrání, (MJ/měsíc)   |
| $Q_{Aux;DHW;n}$   | spotřeba pomocné energie na ohřev teplé vody, (MJ/měsíc)   |
| $Q_{Aux;H;n}$     | spotřeba pomocné energie na vytápění, (MJ/měsíc)   |
| $Q_{dem;C}$       | roční potřeba energie budovy na chlazení, (MJ)   |
| $Q_{dem;H}$       | roční potřeba energie budovy na vytápění, (MJ)   |
| $Q_{distr;C;n}$   | chladicí energie dodaná do rozvodného systému s v měsíci, (MJ/měsíc)   |
| $Q_{distr;H;n}$   | tepelná energie dodaná do rozvodného systému s, (MJ/měsíc)   |

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| $Q_{\text{distr;Hum;n;s}}$          | energie dodaná do rozvodného systému v měsíci, (MJ/měsíc)  |
| $Q_{\text{fuel;Aux;n}}$             | dodaná pomocná energie v měsíci $n$ , (MJ/měsíc)   |
| $Q_{G,C}$                           | celkové tepelné zisky v chladícím režimu, (MJ)   |
| $Q_{G,H}$                           | celkové tepelné zisky v otopném období, (MJ)   |
| $Q_i$                               | součet vnitřních tepelných zisků za dané výpočtové období, (MJ)  |
| $Q_{L,C}$                           | celkový tepelný tok v chladícím režimu, (MJ)   |
| $Q_{L,H}$                           | celkový tepelný tok v otopném období, (MJ)   |
| $Q_S$                               | součet solárních tepelných zisků za dané výpočtové období, (MJ)  |
| $Q_T$                               | celkový tepelný tok prostupem tepla, (MJ)  |
| $Q_V$                               | celkový tepelný tok ventilací, (MJ)  |
| $t$                                 | trvání výpočtového období, (Ms)<br>teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )  |
| $V_{\text{ex}}$                     | množství odváděného vzduchu soustavou pro celou budovu, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  |
| $V_{\text{inf},i}$                  | množství vzduchu infiltrací obvodovým pláštěm, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )   |
| $V_{\text{mech,inf},i}$             | rozdíl mezi nuceně odváděným a přiváděným vzduchem z vytápěné místnosti, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )   |
| $V_{\text{min},i}$                  | minimální hygienické množství vzduchu, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )   |
| $V_{\text{su}}$                     | množství přiváděného vzduchu soustavou pro celou budovu, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )   |
| $V_{\text{su},i}$                   | množství přiváděného vzduchu do místnosti, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )   |
| $V_{V,AHU;n}$                       | jmenovitý průtok vzduchu klimatizační jednotkou v otopném nebo chladícím režimu v měsíci $n$ , ( $\text{m}^3/\text{s}$ )   |
| $V_{V,i}$                           | výměna vzduchu v klimatizovaném prostoru, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  |
| $w$                                 | rychlost (m/s)   |
| $\beta$                             | podíl délky časového úseku, kdy je v provozu větrací zařízení, a délky výpočtového období (-)  |
| $\Delta$                            | konečný rozdíl dvou hodnot   |
| $\eta_{\text{em};C;s}$              | účinnost sdílení chladu systému, (-)   |
| $\eta_{G,C}$                        | stupeň využití tepelných toků, (-)   |
| $\eta_{\text{gen};H;c;i}$           | účinnost výroby energie zdrojem, stanovená hodnota podle příslušné vyhlášky <sup>6</sup> ; (-); pokud je zdrojem energie tepelné čerpadlo, pak $\eta_{\text{gen};H} = 1$ |
| $\eta_{\text{gen};H;\text{ctrl};i}$ | účinnost regulace zdroje energie $i$ , (-); pokud je zdrojem energie tepelné čerpadlo, pak $\eta_{\text{gen};H;\text{ctrl}} = 1$   |
| $\eta_{\text{gen};Hum;i}$           | účinnost zdroje zvlhčování $i$ , (-)   |

<sup>6</sup> Například vyhláška č. 150/2001 Sb., kterou se stanoví minimální účinnost užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie, nařízení vlády č. 25/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na účinnost nových teplovodních kotlů spalujících kapalná nebo plyná paliva.

|                |  |
|----------------|--|
| $\eta_{G,H}$   | stupeň využití tepelných zisků, (-)  |
| $\theta_{i,z}$ | vnitřní výpočtová teplota v budově nebo v zóně budovy (°C)   |
| $\theta_{s,i}$ | výpočtová venkovní teplota přírodního vzduchu konstrukcí vstupujícího do budovy nebo do zóny budovy větráním nebo infiltrací, (°C) |
| $\lambda$      | součinitel tepelné vodivosti (W/(m K))   |
|                | součinitel tření (-)   |
| $\mu$          | průtokový součinitel (-)   |
| $\xi$          | souřadnice (m)   |
| $\rho$         | hustota vzduchu, (kg/m <sup>3</sup> )  |

Indexy označující:

|   |  |
|---|--|
| a | vzduch, akumulaci  |
| e | venkovní, vnější, ekvivalentní                                   |
| i | vnitřní  |
| o | hodnota vztažená na objem, základní hodnotu, okno; odsávaný plyn |

## 9. SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 2.1: Celkový tok energie v budově dle [1]
- Obr. 3.1: Podíl jednotlivých spotřeb v Pavilonu O
- Obr. 4.1: Pracovní prostor programu BSim
- Obr. 4.2: Pracovní prostor programu Energie
- Obr. 5.1: Model Pavilonu O pro zadávání do programu BSim
- Obr. 5.2: Model Pavilonu O pro zadávání do programu Energie
- Obr. 5.3: Karta Podlaha – skladby konstrukcí
- Obr. 5.4: Průběh teplot podle simulace v Bsim a naměřených hodnot
- Obr. 5.5: Průběh teplot podle simulace v Bsim a naměřených hodnot - kalibrace
- Obr. 5.6: Průběh vnitřních teplot – typický pracovní den září – obytné prostory
- Obr. 6.1: Porovnání energetické náročnosti jednotlivých variant – celá budova

## 10. SEZNAM TABULEK

- Tab. 10.1: Schéma výpočtu celkové roční dodané energie
- Tab. 3.1: Přehled spotřebované energie v Pavilonu O
- Tab. 4.1: Schéma výpočtu celkové roční dodané energie
- Tab. 5.1: Porovnání spotřeb energie
- Tab. 6.1: Spotřeba energie na jednotlivé varianty – celá budova
- Tab. 6.2: Přehled jednotlivých variant v programu Energie
- Tab. 6.3: Srovnání simulačních programů
- Tab. 6.4: Srovnání spotřeb energie

## 11. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Tzb-info.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-11-26]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [2] SketchUp. [online]. [cit. 2011-11-26]. Dostupné z: <http://sketchup.google.com/intl/cs/>
- [3] WITTCHEN, Kim B. WITTCHEN a Kjeld JOHNSEN. DANISH BUILDING RESEARCH INSTITUTE (SBI). BSim User's Guide, version 6.11.1.17. edited 2011. Hørsholm, 1999.
- [4] Česká Republika. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU, o energetické náročnosti budov. In: *L 153 (Úřední věstník Evropské unie)*. Strassburg, 2010.
- [5] Česká Republika. Nařízení vlády č. 523/2002 Sb.: ze dne 14. října 2002, kterým se mění nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. In: *523/2002*. 2002, 180.
- [6] Česká Republika. Prováděcí vyhláška č. 148/2007 Sb, o energetické náročnosti budov. In: *č. 53/2007 Sbírky zákonů na straně 1855*. 2007.
- [7] Česká Republika. Nařízení vlády č. 178/2001 Sb.: kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. In: *178/2001*. 2001, 068.
- [8] ČSN 730540. *Tepelná ochrana budova - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2011, 56 s. ČSN 73 0540-1, 1994: *Tepelná ochrana budov – část 1: Terminologie*
- [9] ČSN EN 832. *Tepelné chování budov - Výpočet potřeby energie na vytápění - Obytné budovy*. Praha: ČSNI, 2000.
- [10] ČSN 062010. *Výpočet teplených ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [11] ČSN EN 15217. *Energetická náročnost budov - Metody pro vyjádření energetické náročnosti a pro energetickou certifikaci budov*. Praha: Český normalizační institut, únor 2008, 32 s.
- [12] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [13] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 76 s.
- [14] DRAFT prEN ISO 13 790. *Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*. Brussels: CEN - European committee for standardization, 2005.
- [15] CHYSKÝ, Jaroslav. *Větrání a klimatizace*. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Česká Matica technická, 1993, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.
- [16] JOKL, Miloslav a Vladimír SKOKAN. *Vytápění, větrání a klimatizace pro stavební inženýry: určeno pro posl. fak. stavební*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965, 376 s.
- [17] JOKL, Miloslav a Vladimír SKOKAN. *Vytápění, větrání a klimatizace pro stavební inženýry: určeno pro posl. stavební fak*. 2. přeprac. vyd. Praha: NTL, 1969, 462 s.
- [18] JOKL, Miloslav. JOKL. *Teorie vnitřního prostředí budov*. 2. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 1991, 261 s. ISBN 80-010-0481-3.
- [19] RUBINOVÁ, Olga a Aleš RUBINA. *Klimatizace a větrání*. 1. vyd. Brno: ERA group, 2004, VI, 117 s. ISBN 80-86517-30-6.
- [20] HIRŠ, Jiří a Günter GEBAUER. *Vzduchotechnika v příkladech*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, VIII, 230 s. ISBN 80-7204-486-9.

## 12. AUTOROVO CV

### *Osobní údaje*

|                    |  |
|--------------------|--|
| Jméno a příjmení   | Petra Píšová   |
| Adresa             | Vrbátky 189, Svatobořice-Mistřín 696 04, Česká republika |
| Mobilní telefon:   | +420 776 023 909   |
| E-mail             | petrapisova@email.cz                                     |
| Státní příslušnost | Česká republika  |
| Datum narození     | 16. 6. 1982  |
| Pohlaví            | žena   |

### *Vzdělání*

|                  |  |
|------------------|--|
| 12/2008 – dosud  | Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Doktorský studijní program. Obor: Pozemní stavby.   |
| 9/2000 – 11/2005 | Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Studijní program: Stavební inženýrství. Studijní obor: Pozemní stavby. Dosažená kvalifikace: Inženýr (Ing.). Klasifikace vzdělávání ISCED 5A (M.Sc.) – vysokoškolské magisterské studium. |

### *Pracovní zkušenosti*

|                 |  |
|-----------------|--|
| 04/2008 – dosud | DEA Energetická agentura, s.r.o, Sladkého 13, 617 00 Brno. Odborný konzultant, odborné posudky, energetické audity, energetické průkazy. |
|-----------------|--|

### *Schopnosti, znalosti a dovednosti*

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Jazykové znalosti:                | anglický jazyk – úroveň dle CEFR B2<br>francouzský jazyk – úroveň dle CEFR A2<br>japonský jazyk – mezinárodní zkouška JLPT úroveň N5    |
| Počítačové znalosti a dovednosti: | Microsoft Windows, Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint). CAD programy - AutoCAD. Stavební fyzika (Svoboda). WDLS. BSim. Sketch Up |
| Řidičský průkaz:                  | skupiny B   |



***Publikace autora - vybrané (celý přehled uveden v disertační práci)***

- [21] PÍŠOVÁ, Petra. Metoda výpočtu tepelné ztráty větráním v dané místnosti. In: *Juniorstav 2007: 9. odborná konference doktorského studia = 9th professional Conference of Postgraduate Students : sborník anotací : 24.1.2007*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2007, s. 6. DOI: 978-80-214-3337-3.
- [22] PÍŠOVÁ, Petra a Jiří HIRŠ. Provozní mikroklima v koupelnách a kuchyních v bytových domech. In: *Zdravé domy 2006: sekce Prostředí a energie*. Brno: Vysoké učení technické, 2007, s. 6. DOI: ISBN 80-214-3146-6.
- [23] PÍŠOVÁ, Petra. Změna pohledu na metodiku posuzování energetické náročnosti budov. In: *Juniorstav 2006: 8. odborná konference doktorského studia = 8th professional Conference of Postgraduate Students*. Brno: Vysoké učení technické, 2006, s. 6. DOI: 80-214-3108-3.
- [24] PÍŠOVÁ, Petra. Simulace vlivu provozu v bytě na parametry vnitřního prostředí. In: *Juniorstav 2008: 10. odborná konference doktorského studia : sborník anotací : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební = 10th Professional Conference of Postgraduate Students : [collection of abstracts] : Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering : : 23.1.2008*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2008, s. 7. DOI: 978-80-86433-45-5.
- [25] PÍŠOVÁ, Petra. Změny ve výpočtu Průkazu energetické náročnosti budovy: Vliv změny vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb. In: *TZB-ifo* [online]. 2013. vyd. Praha, 2013 [cit. 2013-11-18]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/10568-zmeny-ve-vypoctu-prukazu-energeticke-narocnosti-budovy>

## **13. ABSTRACT**

This thesis deals with energy certification of systems of ventilation and air-conditioning in buildings. It provides options to evaluation technical systems of ventilation in one chosen type of building.

In the introductory part of this thesis the attention is focus on short description each systems of ventilation and air-conditioning. There are mention basic physical parameters and mechanisms of systems. Also there are actual conditions in legislative for design and evaluation of energy performance of building.

The remaining part of the thesis deals with the analysis of the results obtained in the course of doctoral study. There are presented the data from the measurements, calculations of the simulations in computer applications and the conclusions drawn from the results obtained.

Finally options are listed, which are enables to improve the current solution details. It offers a view of the future of these elements, their possible use in other parts of the building practice and the possibilities of uses such as standards for energy certification.