

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

TEPELNÁ ZÁTĚŽ KANCELÁŘSKÝCH MÍSTNOSTÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

## **Souhrn**

Tématem diplomové práce je tepelná zátěž kancelářských místností. Hlavním cílem je posouzení použitelnosti normy ČSN 73 0548. K posouzení byla použita metodika BESTEST. Dále byl vytvořen modelový případ BESTEST v simulačním programu IDA a byla provedena simulace za daných podmínek. Výsledky výpočtu z normy ČSN 73 0548 a ze simulací byly porovnány s výsledky poskytnutými metodikou BESTEST.

## **Summary**

The topic of this thesis is Cooling load of office rooms. The main goal is assessing the viability of ČSN 73 0548 norm. To assess its viability, BESTEST method was used. Next the test module of BESTEST was created in the simulation program IDA and simulated throughout required condition. The results of ČSN 73 0548 norm and simulation IDA were compared with the result of BESTEST method.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Tepelná zátěž kancelářských místností“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Vladimíra Zmrhala, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze \_\_.\_\_.\_\_\_\_

.....  
Nguyen Dac Hai

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Vladimírovi Zmrhalovi, Ph.D., za odborné vedení, za pomoc, trpělivost a rady při zpracování této práce.

**Obsah**

<b>1. Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>2. Tepelná zátěž</b> .....	<b>11</b>
<b>3. ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů</b> .....	<b>13</b>
3.1. Společná ustanovení .....	13
3.2. Parametry venkovního prostředí .....	14
3.3. Geometrie slunečního záření .....	15
3.4. Intenzita slunečního ozáření .....	19
3.5. Tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla .....	21
3.6. Tepelné zisky z vnějšího prostředí .....	26
3.7. Tepelné zisky stěnami .....	29
<b>4. Modelový případ BESTEST</b> .....	<b>31</b>
4.1. Zkušební modul .....	33
4.1.1. Rozměry a dispozice .....	33
4.1.2. Tepelně-technické vlastnosti konstrukcí .....	36
4.2. Změny pro aplikaci metodiky BESTEST .....	39
<b>5. Simulační program IDA</b> .....	<b>45</b>
5.1. Zkušební modul dle BESTEST .....	45
5.2. Nastavení vstupních parametrů.....	47
5.3. Spuštění simulace.....	51
<b>6. Vyhodnocení výsledků</b> .....	<b>52</b>
6.1. Výpočet podle ČSN 73 0548 .....	52
6.2. Simulační program IDA.....	54
6.3. Výsledky BESTEST .....	57
6.4. Celkové porovnání.....	59

<b>7. Závěr.....</b>	<b>61</b>
<b>8. Seznam použité literatury.....</b>	<b>63</b>
<b>9. Přílohy .....</b>	<b>64</b>
<b>10. Seznam příloh na CD .....</b>	<b>65</b>

# Soupis použitého označení

Označení	Název	Jednotka
$a$	sluneční azimut	[°]
$c$	tepelná kapacita	[J/kgK]
$c_0$	korekce na čistotu atmosféry	[–]
$c_1$	součinitel současnosti svítidel	[–]
$c_2$	zbytkový součinitel	[–]
$c_3$	průměrné zatížení stroje	[–]
$h$	výška slunce	[°]
$i_1$	počet lidí	[–]
$n$	pořadí dne v roce	[–]
$p$	tlak	[Pa]
$s$	tloušťka vrstev	[m]
$s$	stínící součinitel	[–]
$t$	teplota vzduchu	[°C]
$t_g$	výsledná teplota	[°C]
$t_o$	operativní teplota	[°C]
$t_r$	střední radiační teplota	[°C]
$w$	rychlost proudění vzduchu	[m/s]
$z$	součinitel znečištění atmosféry	[–]
$A$	amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu	[K]
$H$	sluneční časový úhel	[°]
$H$	nadmořská výška	[m]

$\dot{I}$	intenzita sluneční radiace	[W/m <sup>2</sup> ]
$P$	příkon elektrického zařízení	[W]
$Q$	produkce tepla	[W]
$S$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$T$	propustnost	[–]
$T$	intenzita turbulence	[–]
$U$	souč. prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> K]



# Soupis indexů

0	sluneční konstanta
1	od lidí
d	difúzní
d	děti
dif	difúzní
dS	difúzní na danou plochu
e	vnější
e	elektrické zařízení
et	etalon
i	vnitřní
iS	vnitřní sousední místnosti
m	muži
m	elektromotor
o	okna
ok	okny konvekci
or	okny radiací
pr	prostupem ze sousední místnosti
sv	od osvětlení
ž	žena
C	celkový
D	přímý
DS	přímý na danou plochu
OS	osluněný
V	ventilátor

## 1. Úvod

Lidé tráví většinu svého času uvnitř budov, jejichž mikroklima vnitřního prostředí má na člověka značný vliv jak fyzický, tak i psychický. Z tohoto důvodu je v dnešní době kladen značný nárok na optimální stav vnitřního prostředí. To platí jak pro obytné, tak i pro kancelářské prostory. Množství a zástavbové plochy těchto objektů stále stoupá a vzniká velké množství samostatných komplexů určených jen pro administrativní účely.

V důsledku vývoje tepelně-technických vlastností stavebních materiálů a informačních technologií, došlo v posledních letech k výrazné změně podílu tepelných zisků a tepelných ztrát objektů v průběhu roku. Značné množství administrativních prostor vyžaduje celoročně odvod tepelné zátěže. Jako příklad lze uvést informační centra a serverovny, kde vnitřní tepelné zisky od technologií a zařízení převyšují tepelné ztráty objektu.

Vhodně navržené klimatizační zařízení pro odvod tepelné zátěže bývá nezbytnou součástí takovýchto objektů. Každé chladicí zařízení nebo systém představuje nezanedbatelnou část investičních i provozních nákladů. Požadavek investorů zpravidla bývá minimalizovat tyto náklady, a přitom dodržet požadovanou kvalitu vnitřního prostředí. Z toho důvodu jsou kladeny vysoké nároky na přesnost návrhu.

Základem návrhu chladicího zařízení je výpočet tepelné zátěže. V České republice se stále využívá norma ČSN 73 0548: Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů [1] z roku 1985. Norma je poměrně zastaralá a v mnoha ohledech zanedbává důležité aspekty. Cílem práce je porovnat výsledky dosažené pomocí této normy se simulačním energetickým testem budov BESTEST (Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method) a následná úvaha o použitelnosti normy ČSN 73 0548. Do porovnávání jsou dále přidány výsledky ze simulačního programu IDA, kde byly zkoumané místnosti vymodelovány, zadány okrajové podmínky a klimatická data (DRYCOLD.TMY) odpovídající metodice BESTEST.

## 2. Tepelná zátěž

Jak již bylo zmíněno, k návrhu klimatizačního zařízení je potřeba výpočet tepelné zátěže, který závisí na parametrech vnitřního prostředí, vnitřních zdrojích tepla, vlastnosti budovy a parametrech vnějšího prostředí [2].

Hlavními parametry vnitřního prostředí je teplota vzduchu  $t$  [°C] a relativní vlhkost vzduchu  $\varphi$  [-]. Avšak pro detailnější hodnocení tepelného a vlhkostního stavu prostředí jsou nutné další parametry, konkrétně:

- Střední radiační teplota  $t_r$  [°C],
- Rychlost proudění vzduchu  $w$  [m/s],
- Intenzita turbulence  $T$  [-],
- Výsledná teplota  $t_g$  [°C],
- Operativní teplota  $t_o$  [°C].

Mezi vnitřní zdroje tepla patří stroje umístěné v uvažované místnosti, osvětlení a osoby v závislosti na jejich činnosti. Ve všech případech je vhodné znát skutečnou produkci tepla, tzn. uvažovat průměrné příkony (nikoliv jmenovité) a opravné součinitelé (současnosti, zbytkový) [2].

Nezanedbatelným faktorem pro stanovení tepelné zátěže jsou parametry budovy, které zahrnují orientaci budovy ke světovým stranám, stínění okolními budovami, prostorové řešení budovy, a hlavně konstrukci transparentních ploch, včetně tepelně-technických vlastností těchto konstrukcí.

Tepelnou zátěž ovlivňují značně venkovní klimatické podmínky, které jsou charakterizovány těmito parametry:

- Teplota venkovního vzduchu  $t_e$  [°C],
- Relativní vlhkost  $\varphi$  [-], popř. entalpie venkovního vzduchu  $h_e$  [J/kg],
- Intenzita přímé a difúzní sluneční radiace  $\dot{I}$  [W/m<sup>2</sup>],
- Rychlost větru  $w$  [m/s],
- Směr větru [2].

Ve většině případů je podíl tepelných zisků radiací, procházejících průsvitnými konstrukcemi, vnitřních tepelných zisků přístrojů a technologie převyšován nad ostatními zdroji tepla. Tepelná zátěž je množství tepla uvolňovaná do místnosti jak z vnějšího prostředí, tak z vnitřních zdrojů tepla. Tuto část tepla je k udržení požadovaných podmínek vnitřního prostředí potřeba odvést.

### 3. ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů

K tomu, aby bylo možné výsledky výpočtu dle normy ČSN a simulací porovnávat, musejí být vstupní okrajové podmínky totožné. Snahou bylo tuto podmínku dodržet v každé části výpočtu. Avšak podmínku nebylo možné jí zcela splnit, kvůli značným rozdílům obou metod. V následujících podkapitolách budou popsány postupy výpočtu podle normy ČSN 73 0548 a specifikovány modifikace podle vstupních dat BESTESTu.

#### 3.1. Společná ustanovení

Podle normy ČSN 73 0548 se výpočet provádí vždy pro 21. den příslušného měsíce v hodině, kdy lze očekávat největší tepelné zisky. Obvykle tímto měsícem bývá červenec. V odůvodněných případech, které jsou dané orientací nebo provozem budovy, je lze uvažovat i jiný měsíc [1].

Pro výpočet jsou uvažovány tyto součinitele přestupu tepla:

součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny:

$$\alpha_e = 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K},$$

součinitel přestupu tepla na vnitřní straně stěny:

$$\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}.$$

Podle normy ČSN 73 0548 se záporné hodnoty teplených zisků menší než 100 W nemusí uvažovat.

### 3.2. Parametry venkovního prostředí

Při stanovení tepelné zátěže dle normy ČSN 73 0458 byl řešen jen jeden předpokládaný „nejhorší“ den v roce. Tímto dnem je slunný den 21. července.

#### Teplota venkovního vzduchu

Norma ČSN 73 0548 určuje teplotu venkovního vzduchu za předpokladu sinusového průběhu venkovní teploty, která se určí dle vztahu [1]:

$$t_e = t_{e,max} - A[1 - \sin(15\tau - 135)], \quad (1)$$

kde

$t_e$	teplota venkovního vzduchu v čase $\tau$	[°C],
$t_{e,max}$	maximální teplota v příslušném dni	[°C],
$A$	amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu	[K],
$\tau$	sluneční čas	[h].

Norma udává nejvyšší hodnotu venkovní teploty  $t_{e,max} = 30$  °C. Ta se může během dne v odůvodněných případech měnit. K dispozici jsou také doporučeného hodnoty  $t_{e,max}$  s amplitudou  $A = 7$  K.

### 3.3. Geometrie slunečního záření

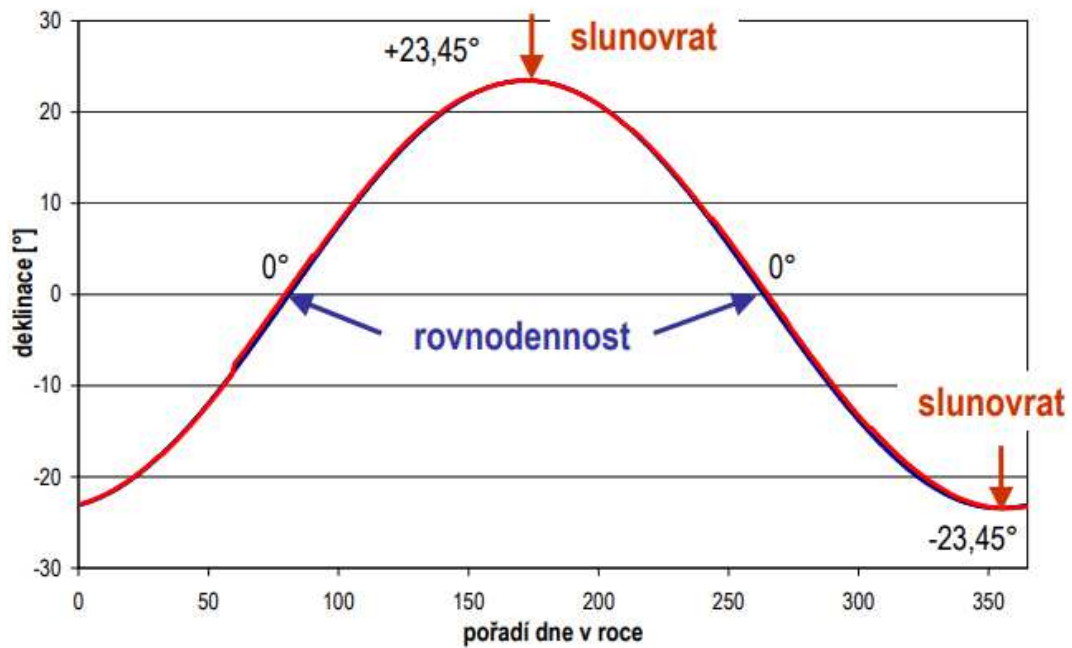
Prvním parametrem geometrie slunečního záření je **sluneční deklinace  $\delta$** . Sluneční deklinace odpovídá úhlu mezi spojnici středů Země a Slunce s rovinou zemského rovníku. Zjednodušeně je to zeměpisná šířka, kde je v daný den v pravé poledne Slunce kolmo nad obzorem. Sluneční deklinace byla určena dle vztahu [5]:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[ 360 \cdot \left( \frac{n+284}{365} \right) \right], \quad (2)$$

kde

$\delta$  sluneční deklinace [°],

$n$  pořadí dne v roce [–].



Obr. 3-1 Sluneční deklinace  $\delta$  [5]

Dalším parametrem je **výška slunce nad obzorem  $h$** . Výška slunce nad obzorem představuje úhel, který svírá spojnice normála plochy a Slunce s vodorovnou rovinou, viz obr. 3-2.

$$\sin h = 0,766 \cdot \sin \delta - 0,643 \cdot \cos \delta \cdot \cos(15\tau), \quad (3)$$

kde

$h$  výška slunce nad obzorem  $[\circ]$ ,

$\delta$  sluneční deklinace  $[\circ]$ ,

$\tau$  sluneční čas  $[\text{h}]$ .

**Sluneční časový úhel  $H$**  je dán jako úhel zdánlivého posunu Slunce, vlivem rotace Země, nad místními poledníky. Otočení o  $360^\circ$  za 24 hodin odpovídá  $15^\circ$  za hodinu. Sluneční časový úhel je dán vztahem [6]:

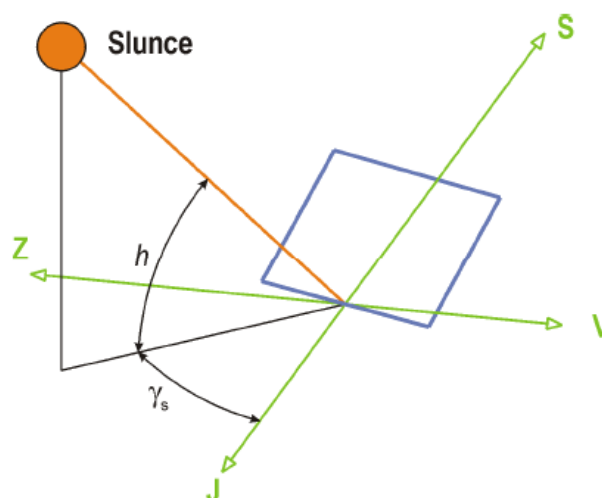
$$H = 15^\circ \cdot (\tau - 12), \quad (4)$$

kde

$H$  sluneční časový úhel  $[\circ]$ ,

$\tau$  sluneční čas  $[\text{h}]$ .

Konvencí dopoledne odpovídají záporné hodnoty a odpoledne kladné hodnoty.



Obr. 3-2 Výška slunce  $h$  [5]



**Sluneční azimut  $a$**  (na obr. 3-2 označen jako  $\gamma_s$ ) představuje úhel mezi průmětem spojnice plochy a Slunce s místním poledníkem. Běžně se měří od jihu, východu pak odpovídají záporné hodnoty a západu kladné hodnoty [5]. Sluneční azimut  $a$  je určen vztahem:

$$\sin a = \frac{\sin(15\tau) \cdot \cos \delta}{\cos h}, \quad (5)$$

kde

$a$	sluneční azimut	[°],
$\tau$	sluneční čas	[h],
$\delta$	sluneční deklinace	[°],
$h$	výška slunce	[°].

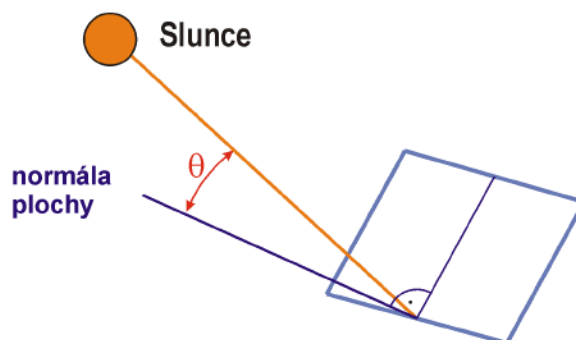
Hodnoty  $\sin a$  byly opatřeny podmínkami zohledňujícími kvadrant úhlu, k zajištění správného výsledku slunečního azimutu  $a$ .

Poslední parametrem geometrie slunečního záření je **úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsku  $\theta$**  (viz obr. 3-3). Je dán vztahem [5]:

$$\cos \theta = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \cos(a - \gamma), \quad (6)$$

kde

$\theta$	úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsku	[°],
$h$	výška slunce	[°],
$\alpha$	sklon plochy	[°],
$a$	sluneční azimut	[°],
$\gamma$	azimutový úhel normály stěny	[°].

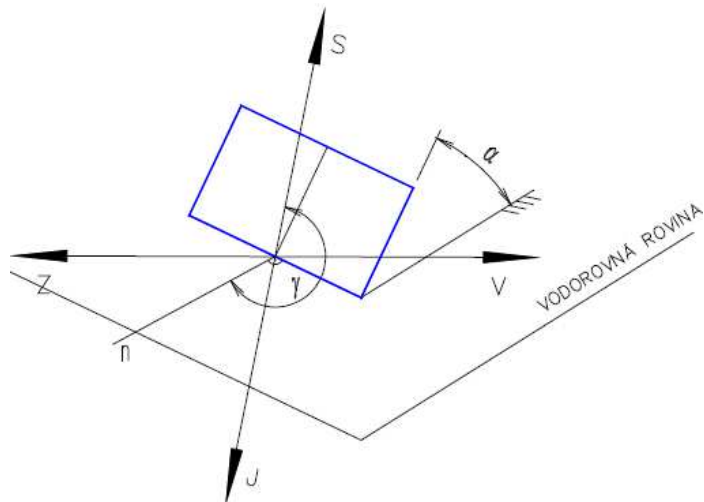


Obr. 3-3 úhel normála osluněné povrchu – směr paprsku  $\theta$  [5]

**Azimutový úhel normály stěny  $\gamma$**  je měřen od severu po směru hodinových ručiček [7]. Tento úhel je znázorněn na obr. 3-4 a nabývá v závislosti na orientaci plochy hodnot uvedených v tab. 3-1.

**Tab. 3-1 Azimutový úhel normály stěny – hodnoty [7]**

Světová str.	$\gamma$ [°]
S	0
SV	45
V	90
JV	135
J	180
JZ	225
Z	270
SZ	315



**Obr. 3-4 Azimutový úhel normály stěny [7]**

### 3.4. Intenzita slunečního ozáření

Pravděpodobně nejdůležitějším parametrem určujícím solární stav je intenzita slunečního ozáření. Intenzita slunečního ozáření udává zářivý výkon dopadající na jednotku plochy. Z tohoto tvrzení vyplývá jednotka intenzity slunečního ozáření -  $W/m^2$ . Dělí se na 2 druhy:

- Přímá sluneční intenzita – přímé zářením slunce, je směrová
- Nepřímá/difúzní sluneční intenzita – vznik rozptylem a odrazem přímé sluneční radiace, je všesměrová

Podle normy ČSN 73 0548 je **intenzita přímé sluneční radiace** obecně dána vztahem:

$$\dot{I}_D = \dot{I}_0 \cdot \exp \left[ -0,1 \cdot z \cdot \left( \frac{16-H}{16+H} \cdot \frac{1}{\sin h} \right)^{0,8} \right], \quad (7)$$

kde

$\dot{I}_D$	intenzita přímé sluneční radiace	$[W/m^2]$ ,
$\dot{I}_0$	sluneční konstanta, $\dot{I}_0 = 1350 W/m^2$	$[W/m^2]$ ,
$H$	nadmořská výška	$[km]$ ,
$z$	součinitel znečištění atmosféry	$[-]$ ,
$h$	výška slunce	$[^\circ]$ .

Součinitel znečištění atmosféry  $z$  udává, kolikrát musí být čistá atmosféra hmotnější než znečištěná, aby měla stejnou propustnost sluneční radiace. Norma uvádí hodnoty součinitelů znečištění atmosféry  $z$  pro jednotlivé měsíce od března do října. Ty nabývají hodnot od 3 do 5, přičemž nejhorších podmínek dosahují v měsíci června a červenci. Naopak nejlepší hodnoty vykazují pro březnu a říjnu.

Pro **intenzitu difúzní sluneční radiace** platí vztah:

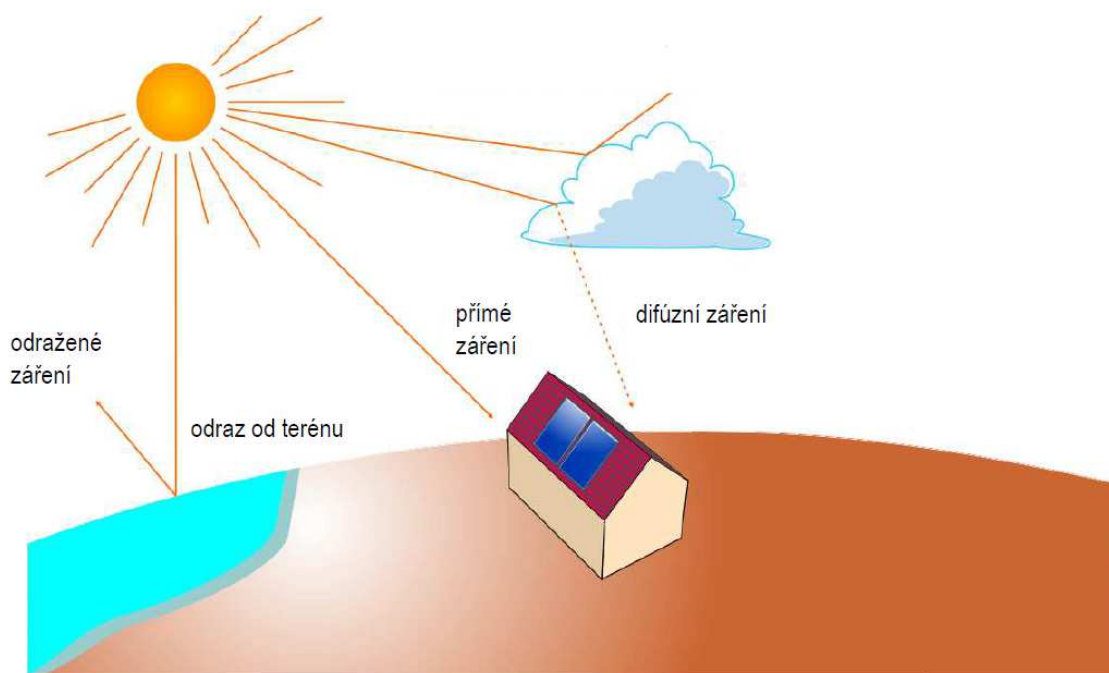
$$i_d = \left[ i_0 - i_D - (1080 - 1,4 \cdot i_D) \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \cdot \frac{\sin h}{3}, \quad (8)$$

kde

$i_d$	intenzita difúzní sluneční radiace	[W/m <sup>2</sup> ],
$i_D$	intenzita přímé sluneční radiace	[W/m <sup>2</sup> ],
$\alpha$	sklon plochy	[°],
$h$	výška slunce	[°].

Intenzita celkové sluneční radiace  $i_c$  je daná součtem přímé a difúzní složky, tedy:

$$i_c = i_{DS} + i_{dS} \quad [\text{W/m}^2] \quad (9)$$



Obr. 3-5 Intenzity sluneční radiace [5]

### 3.5. Tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla

Jako vnitřní zdroje tepla se považují takové zdroje, které mají výrazný vliv na vnitřní prostředí. Mohou vést k požadavkům na klimatizační zařízení, a to i v případech, kdy dosahují tepelné zisky z vnějšího prostředí nulových hodnot. Vnitřní zdroje tepla mohou být obecně rozděleny na [1]:

- produkci tepla od lidí,
- produkci tepla od svítidel,
- produkci tepla od zařízení (popř. technologie),
- produkci tepla prostupem tepla ze sousední místnosti,
- produkce tepla ve ventilátoru, ohřátím ve vzduchovodech a jiné.

#### Lidé

Produkce tepla od lidí je závislá na tělesné aktivitě, teplotě vzduchu a zahrnuje pouze citelné teplo. Jako základní hodnotu se uvádí 62 W pro muže při mírně aktivní práci u stolu a při teplotě vzduchu 20 °C. Při stejné aktivitě, ale jiné teplotě vzduchu, se produkce citelného tepla vypočte pomocí vztahu [1]:

$$\dot{Q}_1 = i_1 \cdot 6,2 \cdot (36 - t_i), \quad (10)$$

kde

$\dot{Q}_1$	produkce tepla od lidí	[W],
$i_1$	počet lidí	[-],
$t_i$	teplota vnitřního vzduchu	[°C].

V příloze normy ČSN 73 0548 (tab. 6) se uvádí produkce tepla od lidí  $\dot{Q}_1$  v závislosti na činnosti člověka, místě činnosti a teplotě vzduchu. V této tabulce jsou uvedeny i produkce vlhkosti od lidí.

Počet lidí  $i_1$  se dále v různorodé skupině upraví s ohledem na pohlaví a dospělost, kde produkce citelného tepla od žen odpovídá 85 % produkce mužů a u dětí 75 %. Přepočet počtu lidí  $i_1$  je dán vztahem:

$$i_1 = 0,85 \cdot i_z + 0,75 \cdot i_d + i_m, \quad (11)$$

kde

$i_z$	počet žen	[–],
$i_d$	počet mužů	[–],
$i_m$	počet dětí	[–].

### Osvětlení

Dalšími vnitřními zdroji tepla jsou svítidla. S jejich produkovaným teplem se uvažuje, jsou-li v provozu i v době špiček tepelných zisků a kde není denní světlo dostačující. S umělým osvětlením se uvažuje u místností hlubších než 5 m od oken. Používají se přednostně hodnoty intenzit osvětlení požadované projektantem. Nejsou-li k dispozici, doporučené hodnoty intenzit osvětlení a jejich odpovídající produkce tepla jsou uvedeny v příloze normy (tab. 7) [1].

Počítá se s přeměnou celého elektrického příkonu svítidla v teplo, které se sáláním a konvekcí šíří do osvětleného prostoru. Skutečná tepelná zátěž není dána pouze příkonem svítidel. Závisí také na jejich využití během dne a podílu odvedeného tepla od svítidla. Poměrnou část tepla, která se projeví jako tepelný zisk, představuje zbytkový součinitel  $c_2$ . Zbytkový součinitel  $c_2$  je dán umístěním a konstrukcí svítidla, dále je ovlivněn systémem větrání a klimatizace místnosti. Druhým opravným součinitelem je součinitel současnosti svítidel  $c_1$ , který charakterizuje využití vlastního uvažovaného prostoru a podíl dostačujícího denního osvětlení [9].

Celková produkce tepla od osvětlení je dán vztahem [1]:

$$\dot{Q}_{sv} = \dot{P} \cdot c_1 \cdot c_2, \quad (12)$$

kde

$\dot{Q}_{sv}$  produkce tepla od svítidel [W],

$\dot{P}$  celkový příkon svítidel [W],

$c_1$  součinitel současnosti svítidel [–],

$c_2$  zbytkový součinitel [–].

### Stroje a zařízení

Dalším vnitřním zdrojem tepla jsou elektrická zařízení a technologie. Norma ČSN 73 0548 uvádí individuální postup výpočtu produkce tepla od elektromotorů. Avšak daleko významnější jsou elektrická zařízení, kterou jsou v dnešní době všudypřítomná. Konkrétně v kancelářích do této skupiny spadají stolní počítače (resp. notebooky), monitory, tiskárny apod. Berou se v potaz jen zařízení, které mají trvalý příkon nad 100 W [1]. Mimo součinitele současnosti  $c_1$ , je rozhodující volba součinitele  $c_3$ . Celkový příkon přístrojů korigován o součinitel  $c_3$ , který charakterizuje průměrné zatížení stroje. Pro produkci tepla od elektrických zařízení platí [1]:

$$\dot{Q}_e = \sum \dot{P} \cdot c_1 \cdot c_3, \quad (13)$$

kde

$\dot{Q}_e$  produkce tepla od elektrických zařízení [W],

$\sum \dot{P}$  celkový příkon elektrických zařízení [W],

$c_1$  součinitel současnosti svítidel [–],

$c_3$  průměrné zatížení stroje [–].

### Prostup tepla vnitřními stěnami

**Tepelné zisky prostupem ze sousedních místností** nastávají jen v případě rozdílných teplot. V praxi bývá vnitřní prostředí okolních prostor udržováno na stejných parametrech, z důvodu použití centrální klimatizace. Produkce tepla prostupem ze sousední místnosti je dána jako [1]:

$$\dot{Q}_{pr} = U \cdot S \cdot (t_{iS} - t_i), \quad (14)$$

kde

$\dot{Q}_{pr}$	produkce tepla prostupem ze sousední místnosti	[W],
$U$	součinitel prostupu tepla stěny	[W /m <sup>2</sup> K ],
$S$	plocha sousedící stěny	[m <sup>2</sup> ],
$t_{iS}, t_i$	vnitřní teplota sousední a uvažované místnosti	[°C].

### Ventilátor

Průchodem ventilátoru se vzduch ohřívá. Produkce tepla ventilátorem je závislé na umístění elektromotoru v proudu vzduchu. Je-li ventilátor s elektromotorem umístěn v proudu vzduchu, celý příkon elektromotoru se přemění na teplo. Platí:

$$\dot{Q}_V = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta_v \cdot \eta_m}, \quad (15)$$

kde

$\dot{Q}_V$	produkce tepla ve ventilátoru	[W],
$\dot{V}$	objemový průtok vzduchu	[m <sup>3</sup> /s],
$\Delta p$	dopravní tlak ventilátoru	[Pa],
$\eta_v, \eta_m$	účinnosti ventilátoru a elektromotoru	[–].



V případě umístění elektromotoru mimo proud vzduchu, se uvažuje jen příkon ventilátoru.

$$\dot{Q}_V = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta_V}, \quad (16)$$

Příčemž ohřátí vzduchu při průchodu ventilátorem je dáno vztahem:

$$\Delta t = \frac{\Delta p}{1200 \cdot \eta_V} \cdot (1 - \eta_V). \quad (17)$$

Je-li vzduchovod umístěn v prostoru o jiné teplotě než je teplota vzduchu v potrubí, dochází ke změně teploty uvnitř potrubí.

$$\Delta t = \frac{U \cdot S \cdot \Delta t_m}{1200 \cdot w \cdot A}, \quad (18)$$

kde

$U$	součinitel prostupu tepla vzduchovodu	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ ,
$S$	povrch vzduchovodu, kterým prochází teplo	$[\text{m}^2]$ ,
$\Delta t_m$	střední rozdíl teplot mezi vzduchem v potrubí a okolním	$[\text{K}]$ ,
$w$	rychlost proudění vzduchu	$[\text{m}/\text{s}]$ ,
$A$	průřez vzduchovodu	$[\text{m}^2]$ .

### 3.6. Tepelné zisky z vnějšího prostředí

Hlavním podílem tepelných zátěží jsou tepelné zisky z vnějšího prostředí. Ty jsou způsobené sluneční radiací působící na obálku budovy. Rozdělují se na tepelné zisky okny a stěnami.

**Tepelné zisky okny** se skládají ze dvou složek, z prostupu tepla konvekcí a z prostupu tepla sluneční radiací. Z názvu je zřejmé, že k **tepelným ziskům konvekcí okny**  $\dot{Q}_{ok}$  dochází prostupem. Výpočet se provádí podle vztahu [1]:

$$\dot{Q}_{ok} = U_o \cdot S_o \cdot (t_e - t_i), \quad (19)$$

kde

$U_o$	součinitel prostupu tepla okny	[W /m <sup>2</sup> K ],
$S_o$	plocha okna včetně rámu	[m <sup>2</sup> ],
$t_e - t_i$	rozdíl vnější a vnitřní teploty	[K].

Druhou složkou tepelných zátěží okny jsou tepelné zisky radiací. Je nejprve nutné určit, jaká část sluneční radiace prošla uvažovanými okny nebo zasklením. **Intenzita sluneční radiace procházející skutečným zasklením**  $I_o$ , je dána vztahem:

$$\dot{I}_o = I_{DS} \cdot T_D + I_{dS} \cdot T_d, \quad (20)$$

kde

$I_{DS}$	intenzita přímé sluneční radiace na danou plochu	[W /m <sup>2</sup> ],
$T_D$	propustnost přímé sluneční radiace	[–],
$I_{dS}$	intenzita difúzní sluneční radiace na danou plochu	[W /m <sup>2</sup> ],
$T_d$	difúzní sluneční radiace	[–].

$$T_d = 0,85$$

$\dot{I}_{o,dif} = I_{dS} \cdot T_d$  odpovídá difúzní složce celkové intenzity sluneční radiace.

Intenzity sluneční radiace  $I_{DS}$  a  $I_{dS}$  jsou dány vztahy (7) a (8) v kapitole 3.4. Intenzity sluneční radiace berou v potaz také pozici vůči slunci a sklon konkrétních ploch. Norma uvádí pro propustnost přímé sluneční radiace pro standardní zasklení  $T_{D,et}$  vztah:

$$T_{D,et} = 0,87 - 1,47 \left( \frac{\theta}{100} \right)^5, \quad (21)$$

kde

$\theta$  úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků  $[\circ]$ .

Tepelné zisky sluneční radiací okny  $\dot{Q}_{or}$  jsou dány vztahem [1]:

$$\dot{Q}_{or} = [S_{os} \cdot \dot{I}_o \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot \dot{I}_{o,dif}] \cdot s, \quad (22)$$

kde

$S_{os}$  osluněný povrch okna  $[\text{m}^2]$ ,

$S_o$  plocha okna včetně rámu  $[\text{m}^2]$ ,

$c_o$  korekce na čistotu atmosféry  $[-]$ ,

$c_o = 0,85$  pro velkoměstskou oblast

$\dot{I}_{o,dif}$  intenzita difúzní sluneční radiace procházející skutečným zasklením  $[\text{W} / \text{m}^2]$ ,

$s$  stínící součinitel  $[-]$ .

### Akumulace tepla

Je-li brána v potaz akumulace tepla do hmotných stěn místnosti, můžou nastat slabé výkyvy teplot vzduchu. Toto kolísání teplot může způsobit značnou odchylku tepelných zisků okny radiací. Zavádí se tak snížení tepelných zisků okny od oslunění určené vztahem [1]:

$$\Delta\dot{Q} = 0,05 \cdot M \cdot \Delta t, \quad (23)$$

kde

$M$	hmotnost stěn pro akumulaci tepla	[kg],
$\Delta t$	maximální přípouštěné překročení požadované teploty v klimatizovaném prostoru	[K].

Jako hmotnost stěn pro akumulaci  $M$  se uvažuje:

- poloviční tloušťka vnitřních stěn, podlahy a stropu
- je-li tloušťka stěny větší než 0,16 m, pak nejvýše 0,08 m tloušťky stěny
- je-li na podlaze koberec, pak jen 1/4 hmotnosti podlahy
- hmotnosti zařízení v místnosti se neberou v potaz

Hodnoty maximálních tepelných denních zisků okny  $\dot{Q}_{or,max}$  ponížené o  $\Delta\dot{Q}$  a průměrných zisků v době provozu  $\dot{Q}_{or,m}$  jsou porovnány. Jako výsledný tepelný zisk okny radiací daného dne se uvažuje vyšší hodnota. Průměrné tepelné zisky  $\dot{Q}_{or,m}$  v práci odpovídají průměrům za desetihodinový provoz klimatizačního zařízení (od 7:00 do 17:00).

### 3.7. Tepelné zisky stěnami

U místností s prosklenými plochami má prostup tepla stěnou téměř zanedbatelný význam. Vliv se projevuje zejména u místností s lehkými stěnami, u rozlehlých přízemních objektů (průmyslové haly), u místností, kde strop tvoří zároveň střechem a podobně. U osluněných ploch se zvyšuje povrchová teplota, v těchto případech je tepelný tok [7]:

$$\alpha_e(t_e - t_s) + \varepsilon \cdot \dot{I} = \alpha_e(t_r - t_s), \quad (24)$$

kde

$\alpha_e$  součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny [W/m<sup>2</sup>K],

$$\alpha_e = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$t_s$  povrchová teplota stěny [°C],

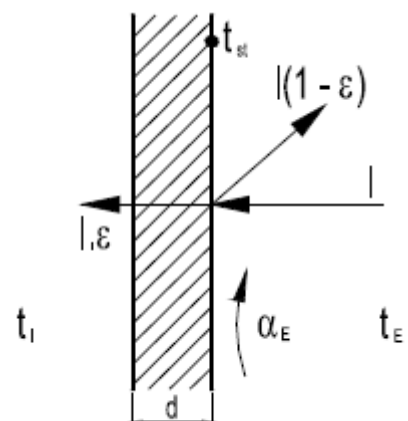
$t_r$  rovnocenná sluneční teplota venkovního vzduchu [°C],

$\varepsilon$  součinitel poměrné tepelné pohltivosti [–],  
pro sluneční radiaci;  $\varepsilon = 0,6$

$\dot{I}$  intenzita sluneční radiace dopadající na stěnu [W/m<sup>2</sup>].

Ze vztahu (24) platí pro rovnocennou sluneční teplotu venkovního vzduchu:

$$t_r = t_e + \frac{\varepsilon \cdot \dot{I}}{\alpha_e}.$$



Obr. 3-6 Tepelný tok stěnou [7]

Norma ČSN 73 0548 rozděluje výpočet tepelných zisků stěnami na 3 kategorie:

- lehké stěny – malá tepelná kapacita → fázové posunutí teplotních kmitů zanedbatelné, tloušťka stěn  $d \leq 80$  mm
- středně těžké stěny – je třeba zohlednit fázové posunutí teplotních kmitů, tloušťka stěn  $80 < d < 450$  mm
- těžké stěny – velká tepelná kapacita → lze zanedbat kolísání teplot na vnitřním povrchu stěny, tloušťka stěn  $d \geq 450$  mm

Dle tloušťky je zadaná obvodová stěna zařazena do kategorie středně těžkých stěn.

**Tepelné zisky středně těžkou stěnou  $\dot{Q}_s$**  jsou dány vztahem [7]:

$$\dot{Q}_s = U \cdot S \cdot [(t_{rm} - t_i) + m(t_{r\psi} - t_{rm})], \quad (25)$$

kde

$t_{rm}$  průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin [°C],

$t_{r\psi}$  rovnocenná sluneční teplota v době o  $\psi$  hodin dřívější [°C],

$m$  součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou [–],

$\psi$  fázové posunutí teplotních kmitů [–].

Výpočet součinitele zmenšení teplotního kolísání  $m$  a fázové posunutí teplotních kmitů  $\psi$  se určí podle následujících vzorců:

$$\psi = 32d - 0,5, \quad (26)$$

$$m = \frac{1+7,6d}{2500^d}, \quad (27)$$

kde

$d$  tloušťka stěny [m].

## 4. Modelový případ BESTEST

Projekt Building Energy Simulation Test, zkráceně BESTEST, byl založen skupinou expertů specializovaných na vyhodnocování modelů a rozvoje Mezinárodní Energetické Agentury (IEA). Tato skupina je složena z expertů ze Solar heating and Cooling (SHC) programu, Task 12 Subtask B, a z Energy Conservation in Buildings and Community Systems (BCS) programu, Annex 21 Subtask C.

V projektu BESTEST byla vyvinuta metoda pro systematické vyhodnocování energetických simulačních programů celé budovy a diagnostika zdrojů předpokládaných odchylek. Výsledky metody byly porovnány s řadou referenčních programů dostupných v USA a Evropě, které měly reprezentovat dosud nejlepší výpočetní schopnosti. Tyto programy zahrnovaly BLAST, DOE2, ESP, SERIRES, S3PAS, TASE a TRNSYS. Později byly přidány programy CLIM2000 a DEROB. Metoda se skládá ze série specifických případů budov, stupňujících se z velice jednoduchých až po relativně reálné. Výstupní hodnoty, jako jsou roční tepelné zátěže/ztráty, roční teplotní maxima a minima, roční špičky a další hodinová data, jsou porovnány. Dále ve spojení s diagnostikou jsou určeny algoritmy zodpovědné za předpokládané odchylky. Čím jsou případy reálnější, ačkoliv geometricky jednoduché, tím nastává větší nárok na programy, jak si poradí s větším množstvím proměnných, například s hmotami akumulace, přímými tepelnými zisky okny, okenním stíněním, vnitřními zisky, infiltrací a podobně. Výsledky metody odhalily velké množství nesrovnalostí ve vybraných programech. Odchylky byly následně pomocí diagnostiky opraveny, jednalo se především o chyby, nesprávné algoritmy a chyby vstupních dat. Výhodou programu BESTEST je vyšetření širokého rozsahu parametrických vztahů na základě různých typů výstupů, čímž se minimalizují šance úniku chyb. Výsledkem BESTESTu bylo zvýšení kvality a přesnosti všech vybraných simulačních programů. Kontrola energetického simulačního programu budov s BESTEST trvá 2 až 5 dní, přičemž vývoj těchto programů zabral i několik let. BESTEST poskytuje tedy velmi efektivní způsob vyhodnocování [10].

Po více než třech letech práce na projektu se experti jednohlasně shodli na tom, že by každý energetický simulační program měl projít prozkoumáním pomocí BESTEST. Kompletní zpráva projektu BESTEST (seznam použité literatury - [10]) se skládá ze tří částí. První částí zprávy je uživatelská příručka, kde jsou poskytnuty instrukce k použití metody BESTEST. Druhá část popisuje vývoj metody, testování v reálných podmínkách a vznik dat pro metodu. Poslední třetí část prezentuje dosažené výsledky vybraných referenčních programů tabulkách a grafickém provedení.

Ke zpracování této práce byl především použit výňatek kompletní zprávy – Report 101 (seznam použité literatury - [3]). V reportu je podrobně popsán zkoumaný modul, viz kapitola 4 .1. Dále jsou zadány profily provozu modulu, tím méně systém větrání, vnitřní tepelné zisky a teplotní podmínky pro udržení mikroklimatu. Modul byl rozdělen na 6 různých případů k vyhodnocení programů k energetické analýze budov. Zúčastněnými programy jsou BLAST, ESP, SERI-RES, S3PAS TASE a TRNSYS. Uvedené programy použily nejpodobnější možnou úroveň při výpočtu. Závěrem Reportu 101 je prezentace a porovnání výsledků dosažených šesti výše uvedenými programy.

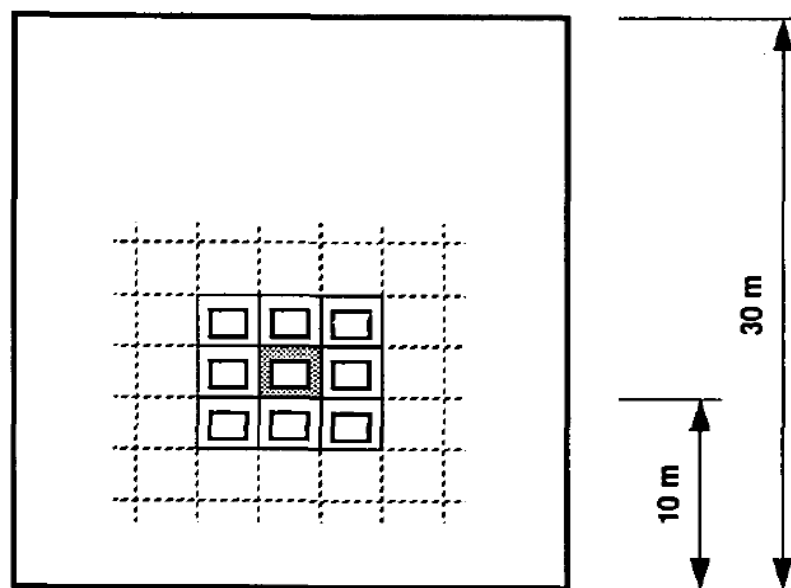
Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, tato práce se bude zabývat jen případy (case) 1a a 2a. Jsou to případy s orientací Sever-Jih a Západ-Východ, bez stínění okolními budovami s vytápěnou chodbou. Varianty se stíněním byly vynechány kvůli míře komplikovanosti sluneční geometrie.



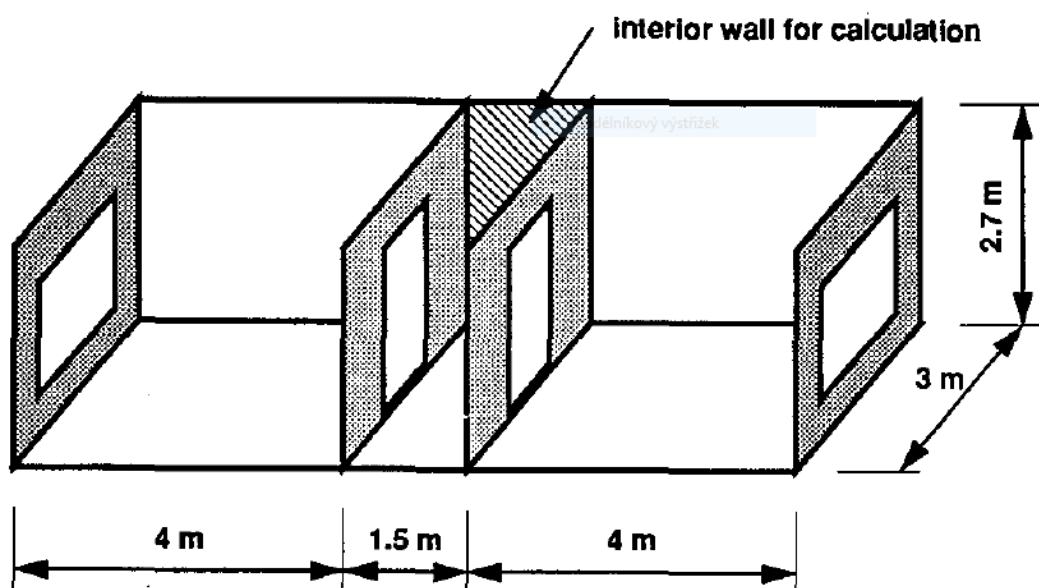
## 4.1. Zkušební modul

### 4.1.1. Rozměry a dispozice

Zkušebním modulem jsou 2 totožné místnosti propojené chodbou. Modul je umístěn uprostřed kancelářské budovy tak, aby byl obklopen identickými moduly po všech stranách, viz obr. 4-1. Dispozice a rozměry místností jsou uvedeny na obr. 4-2. Chodby jsou s místnostmi odděleny vnitřní zdí s dveřmi, umístění a rozměry dveří jsou zadány dle obr. 4-3. Ve skutečnosti chodba propojuje celé patro, ale pro zjednodušení výpočtu se uvažuje jen oddělenou část chodby ohraničenou pomyslnou vnitřní zdí.

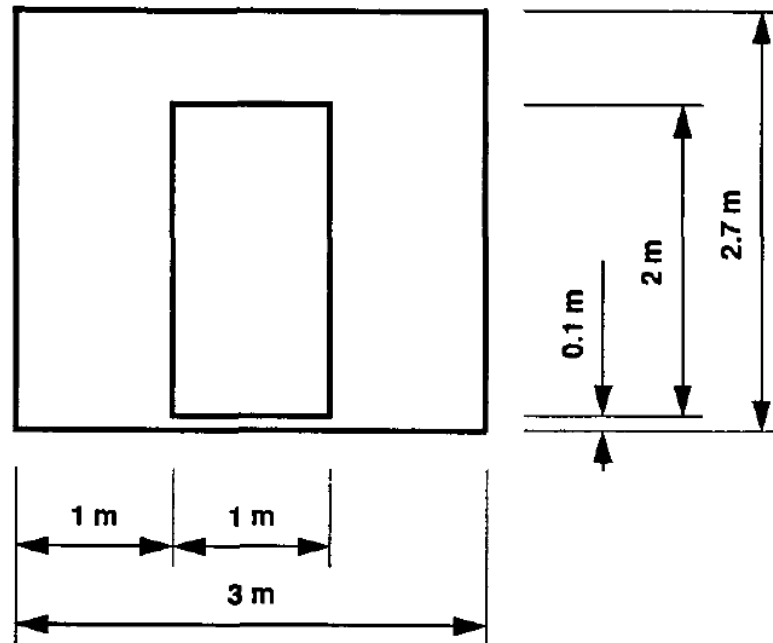


Obr. 4-1 Umístění modulu v objektu [3]

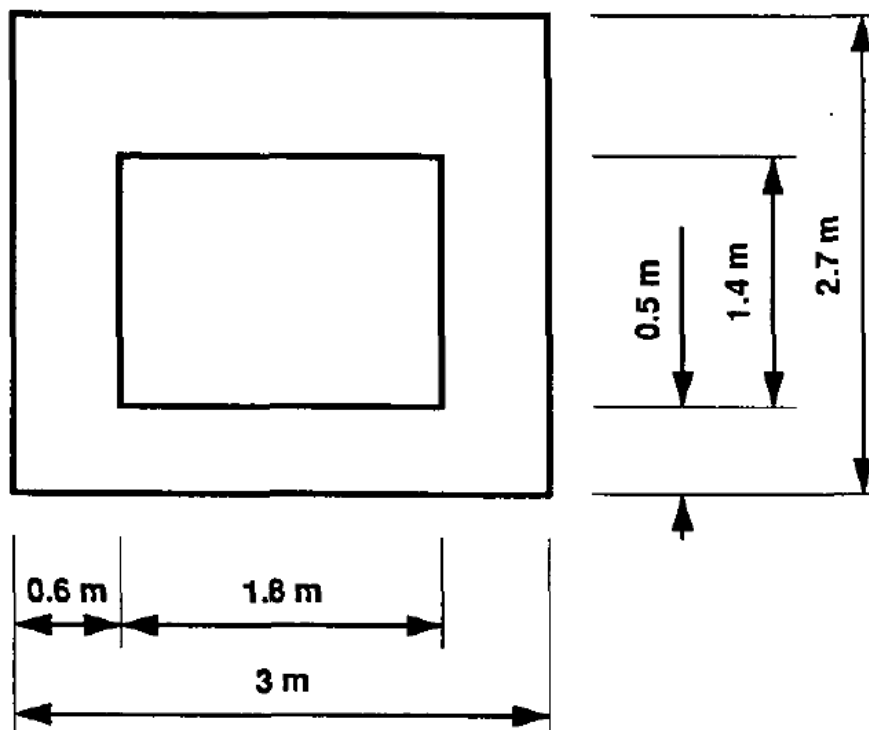


Obr. 4-2 Dispozice modulu [3]

V obou místnostech se na obvodové zdi nachází okno s dvojitými zasklením o ploše (1,8 x 1,4) m<sup>2</sup>. Umístění okna je znázorněno na obr. 4-4. Okna se uvažují bez rámu a stínění obvodovými zdi je zanedbáno.

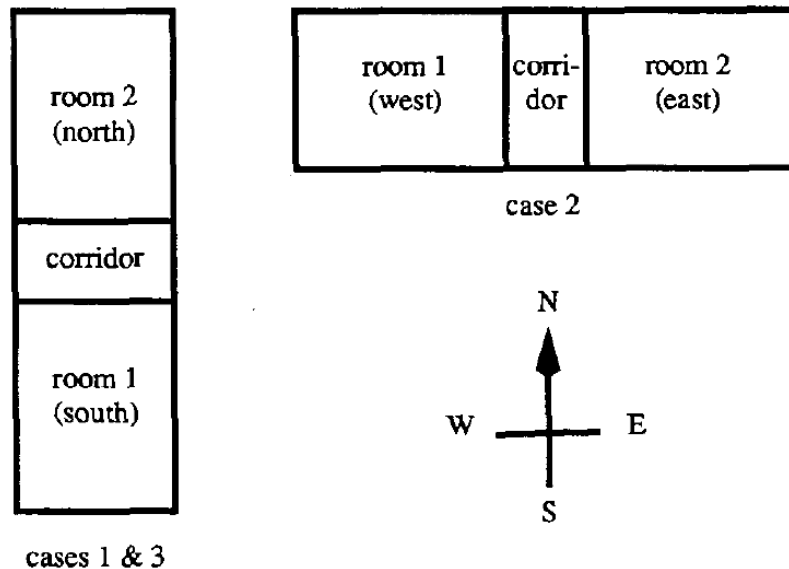


Obr. 4-3 Dispozice vnitřní zdi a dveří [3]



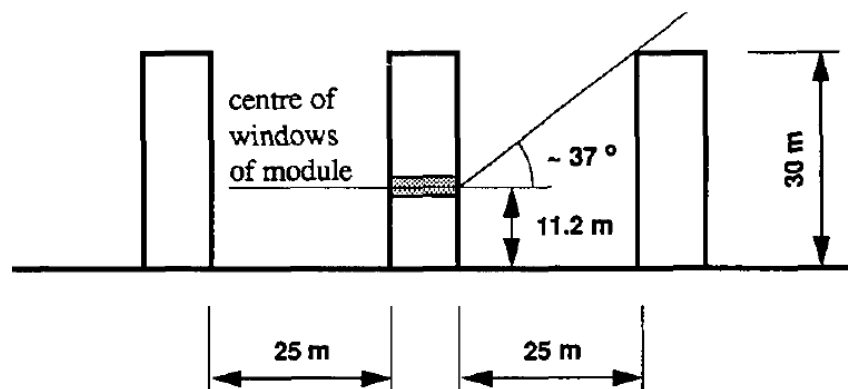
Obr. 4-4 Dispozice okna na obvodové zdi [3]

V případě 1 (Case 1) je modul orientován Sever-Jih a v případě 2 je modul otočen o  $90^\circ$ , tedy orientován Východ-Západ, viz obr. 4-5. BESTEST také uvádí výsledky pro "case 3", kde je, obdobně jako u "case 1", orientace Sever-Jih. Rozdíl spočívá v tom, že u případů 1 a 2 je chodba vytápěná, v případě 3 nikoliv. Ve této práci nejsou zahrnuty výsledky případu 3.



Obr. 4-5 Orientace řešených případů [3]

BESTEST výše uvedené případy (3) dále dělí na 2 druhy prostředí – *a* & *b*. Situace *a* uvažuje nestíněné, rovinné prostředí. Zatímco v situaci *b* je budova umístěná mezi 2 další identické budovy s délkou 40 m a střed okna se nachází 11,2 m nad zemí, viz obr. 4-6. V důsledku složitosti sluneční geometrie k výpočtu osluněné části okna, se v této práci situace *b* neřeší.



Obr. 4-6 Situace *b* [3]

#### 4.1.2. Tepelně-technické vlastnosti konstrukcí

Tepelně-technické vlastnosti konstrukcí jsou uvedeny v následující tab. 4-1. Vrstvy jsou uspořádány z vnitřního prostředí do vnějšího prostředí. Všechny vnitřní zdi jsou symetrické a považují se za lehkou konstrukci. Hodnoty vlastností pro vzduchovou mezeru nebyly v BESTESTu uvedeny a byly doplněny o parametry vzduchu při 20 °C a tlaku 100 kPa [4].

Tab. 4-1 Tepelně-technické vlastnosti konstrukcí

	Materiál vrstev	Tloušťka vrstev	Souč. tepelné vodivosti	Hustota	Tepelná kapacita	Souč. prostupu tepla
		$s$	$\lambda$	$\rho$	$c$	$U$
		[m]	[W/m · K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg · K]	[W/m <sup>2</sup> · K]
Podlaha	beton	0,16	1,13	1400	1000	1,569
	koberec	0,004	0,3	1600	1380	
Strop	koberec	0,004	0,3	1600	1380	0,669
	beton	0,16	1,13	1400	1000	
Vnější zdi	cihla	0,102	0,95	1920	920	1,678
	tepelná izolace	0,061	0,04	10	1400	
	beton	0,1	0,51	1400	1000	
Vnitřní zdi	sádrokarton	0,01	0,16	950	840	2,553
	vzd. mezera	0,05	0,025	1,19	1010	
	Sádrokarton	0,01	0,16	950	840	
Dveře	dřevotříska	0,012	0,13	600	1380	2,374
	vzd. mezera	0,02	0,025	1,19	1010	
	dřevotříska	0,012	0,13	600	1380	

Jak již bylo v předchozí podkapitole zmíněno, okna jsou z dvojitého skla a předpokládají se bez rámu. Stínění obvodovými konstrukcemi se zanedbává. Tepelně-technické a optické vlastnosti jsou uvedeny v následující tab. 4-2. Hodnota součinitele prostupu tepla je zadaná.

**Tab. 4-2 Tepelné a optické vlastnosti okna**

	Materiál vrstev	Tloušťka vrstev	Souč. prostupu tepla	Index lomu
		$s$	$U$	$n$
		[m]	[W/m <sup>2</sup> · K]	[-]
Okno	sklo	3,175	3	1,526
	vzd. mezera	13		
	sklo	3,175		

Důležitým parametrem zasklení je tepelná propustnost. Udává podíl slunečního záření, který projde z venkovního do vnitřního prostředí. Celková propustnost skutečného zasklení je závislá na úhlu dopadu paprsku. Na základě hodnot propustnosti z tab. 4-3 (dané v BESTEST) byl vytvořen graf 4-1, ze kterého vychází polynom 6. řádu. Tento polynom (26) bude dále využit k výpočtu jednotlivých celkových propustností v závislosti na úhlu dopadu slunečního záření.

**Tab. 4-3 Celková propustnost zasklení  
v závislosti na úhel dopadu**

Úhel dopadu $\Theta$	Celková propustnost ( $\alpha_i + T_D$ )
[°]	[-]
0	0,787
10	0,786
20	0,785
30	0,780
40	0,767
50	0,737
60	0,666
70	0,518
80	0,266
90	0,000

Polynom 6. řádu pro propustnost zasklení:

$$y = 0,000000000032x^6 - 0,000000007583x^5 + 0,000000635238x^4 - \quad (26)$$

$$- 0,000024668233x^3 + 0,000424422183x^2 -$$

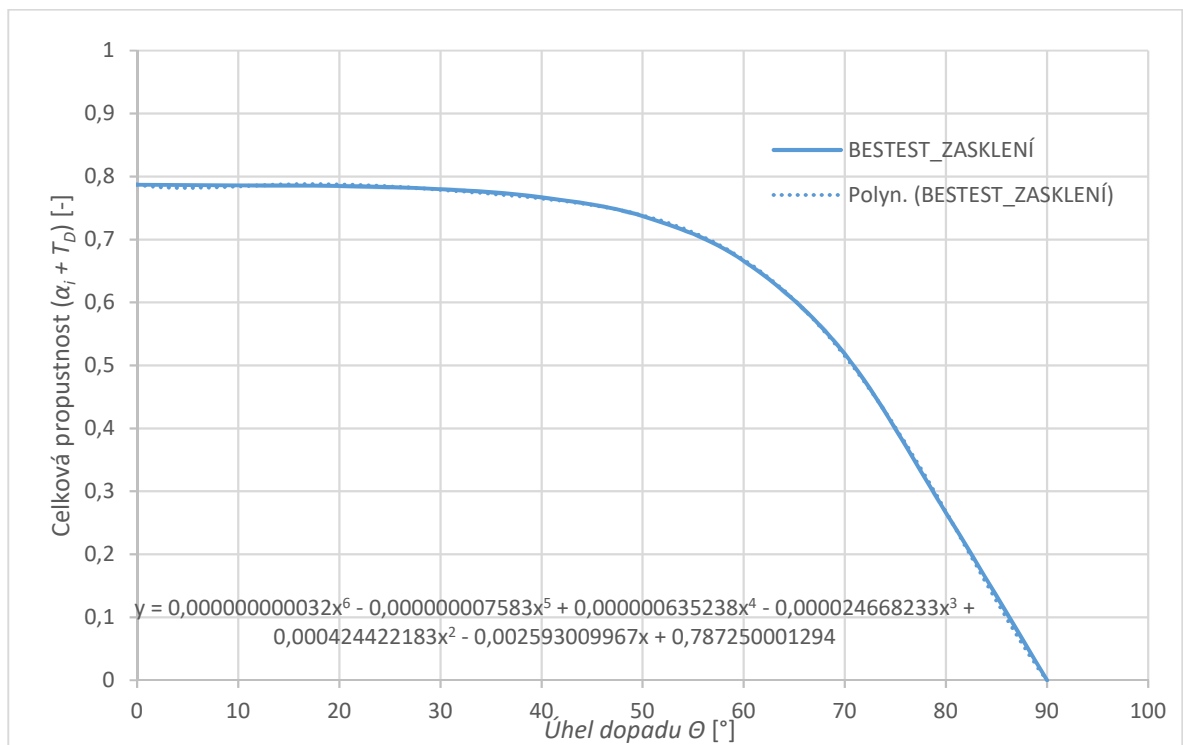
$$- 0,002593009967x + 0,787250001294,$$

kde

y představuje hodnotu celkové propustnosti ( $\alpha_i + T_D$ ),

x představuje úhel dopadu ve stupních  $\theta$  [°].

Graf 4-1 Celková propustnost zasklení v závislosti na úhlu dopadu



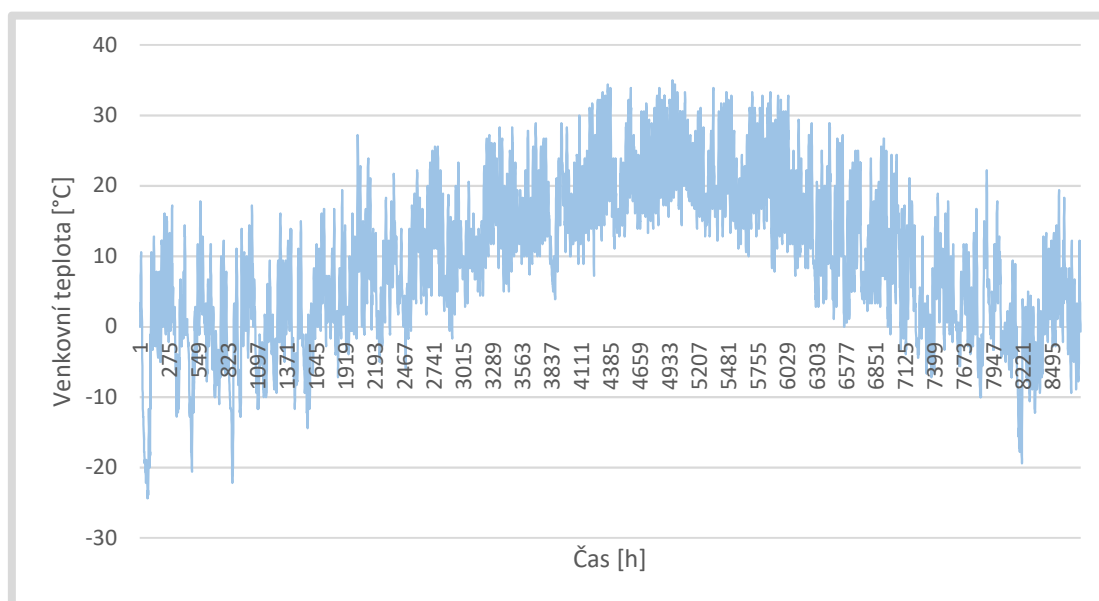
## 4.2. Změny pro aplikaci metodiky BESTEST

V této kapitole budou popsány provedené zásahy a změny postupu výpočtu normy ČSN 73 0548, aby bylo vyhověno vstupním okrajovým podmínkám metodiky BESTEST. Zatímco norma ČSN 73 0548 vyhodnocuje tepelnou zátěž klimatizovaného prostoru podle jediného dne, 21. července, metodika BESTEST zkoumá průběh tepelných zátěží hodinově po celý rok. Veškeré výpočty uvedené v kapitole 3, byly proto rozšířeny na hodinové výpočty pro celý rok. Jelikož jsou vstupní klimatická data celoroční, což zahrnuje i přechodné a zimní období, zanedbání tepelných zisků menších 100 W byla ignorována.

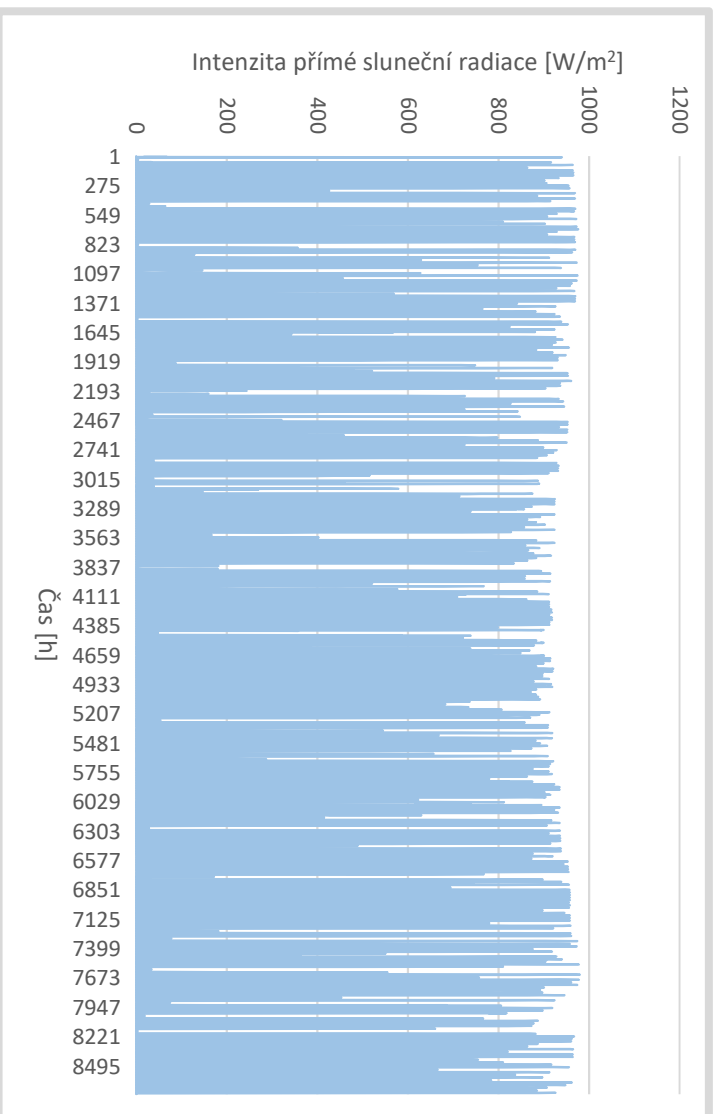
### Parametry vnějšího prostředí

Metodika BESTEST využívá speciální soubor klimatických dat s názvem DRYCOLD.TMY. Tyto data byly naměřeny ve městě Denver, Colorado, USA. Jedná se o soubor hodinových klimatických dat, přičemž každý měsíc odpovídá nejtypičtějšímu měsíci v rozmezí roku 1959 až 1975 (např. leden z roku 1959, únor z roku 1975 atd.). Kromě základních dat jako jsou teplota venkovního vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, intenzita přímé sluneční radiace na normálu a intenzita difúzní radiace na horizont, obsahuje DRYCOLD.TMY mimo jiné i teplotu rosného bodu, barometrický tlak, směr větru, viditelnost, předpokládané úhrny srážek atd. Níže je zobrazen průběhy hlavních veličin klimatického souboru DRYCOLD.TMY.

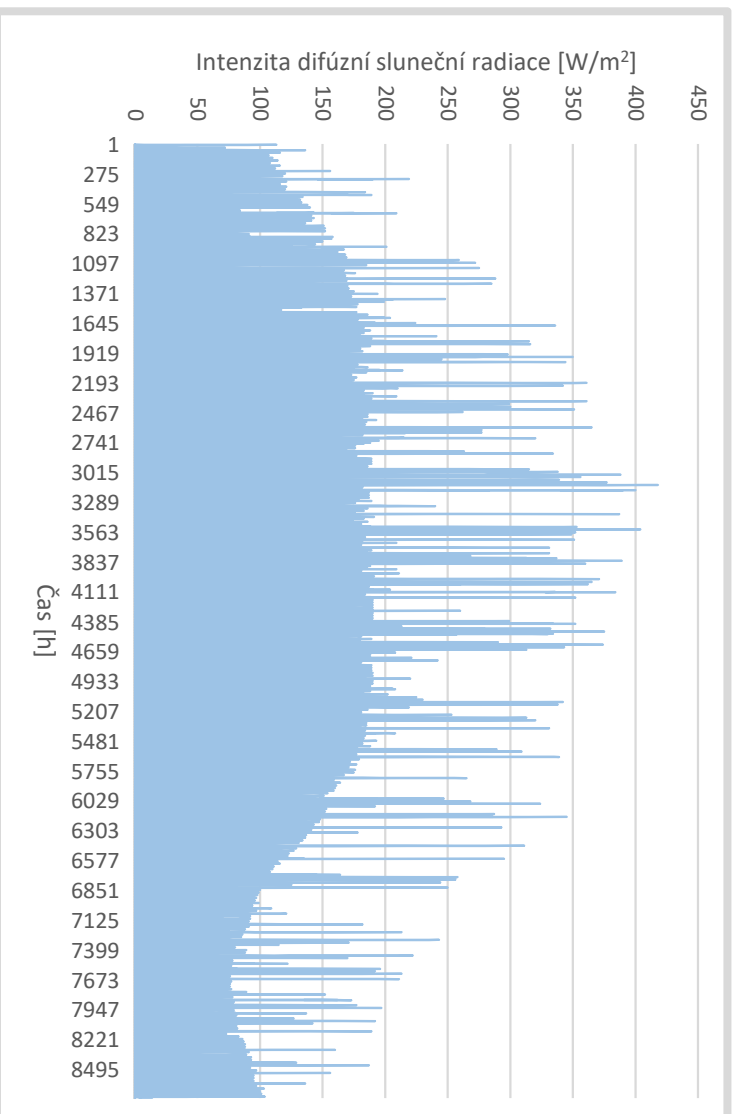
Graf 4-2 Průběh teploty venkovního vzduchu DRYCOLD



Graf 4-3 Průběh intenzita přímé sluneční radiace DRYCOLD



Graf 4-4 Průběh intenzita difúzní sluneční radiace DRYCOLD





Z těchto poznatků vyplývá, že vztahy pro výpočet venkovní teploty (1), intenzity přímé sluneční radiace (7) a intenzity difúzní sluneční radiace (8) nebudou použity.

**Sluneční deklinace  $\delta$**  byla určena pro každý den v průběhu roku. Na rozdíl normy, kde byla určena pouze pro 21. den v daném měsíci.

Norma ČSN 73 0548 uvádí vztah pro výpočet **výšky slunce nad obzorem  $h$**  (3), která platí pro 50° severní zeměpisné šířky. Klimatické údaje DRYCOLD.TMY byly naměřeny v městě Denver, Colorado, USA, kterému odpovídá 39,8° severní zeměpisné šířky. Vztah pro výpočet výšky slunce byl tak zaměněn na univerzální, který je dán vztahem [6], přičemž se berou v potaz jen hodnoty  $h$  větší než 0:

$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos H, \quad (27)$$

kde

$h$	výška slunce nad obzorem	[°],
$\phi$	zeměpisná šířka	[°],
$\delta$	sluneční deklinace	[°],
$H$	sluneční časový úhel	[°].

Soubor klimatických dat DRYCOLD.TMY poskytuje údaje intenzity přímé sluneční radiace v rovině kolmé na směr slunečních paprsků  $\dot{I}_D$  (graf 4-3) a intenzity difúzní sluneční radiace na horizont  $\dot{I}_d$  (graf 4-4). Je potřeba tyto intenzity sluneční radiace přepočítat na intenzity dopadající na plochu s úhlem dopadu  $\theta$  a sklonem  $\alpha$ . Pro **intenzity sluneční radiace** pro danou plochu platí vztahy [5]:

$$\dot{I}_{DS} = \dot{I}_D \cdot \cos \theta, \quad (10)$$

$$\dot{I}_{dS} = \dot{I}_d \cdot \left( \frac{1 + \cos \alpha}{2} \right), \quad (11)$$

kde

$\dot{I}_{DS}$	intenzita přímé sluneční na danou plochu	[W/m <sup>2</sup> ],
$\dot{I}_{dS}$	intenzita difúzní sluneční na danou plochu	[W/m <sup>2</sup> ],
$\theta$	úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsku	[°],
$\alpha$	sklon stěny	[°].

### Vnitřní zisky

V modelovém případě BESTEST není uvažována přítomnost osob a změny teploty vzduchu vlivem ohřátí ve ventilátoru nebo ve vzduchovodu. Místnosti obklopující uvažovaný modul mají stejné podmínky mikroklimatu, a proto mezi nimi nedochází k žádnému toku energie mezi nimi. Vztahy v podkapitole 3.5 nebudou zapotřebí. Vnitřní tepelné zisky jsou dány jako časově plánové 500 W zátěže, viz tab. 4-4.

Tab. 4-4 Tepelná zátěž modulu [3]

Časový interval	Místnost 1	Místnost 2	Chodba
[h]	[W]	[W]	[W]
8:00 – 16:00	500	500	0
16:00 – 8:00	0	0	0

Z toho - 50 % tepelné zátěže je konvekcí do vzduchu a 50 % dlouhovlnnou radiací, která rovnoměrně dopadá na všechny vnitřní povrchy. Jak lze z tab. 4-4 vidět, tepelná zátěž odpovídá pracovní době a představuje produkci tepla od zařízení.

Dalším zdrojem tepelných zisků modulu je systém větrání čerstvým venkovním vzduchem bez cirkulačního vzduchu. Nedochází k žádným infiltracím do ostatních prostor, místnosti s chodbou mají vždy stejnou hodnotu výměny vzduchu. Tento systém větrání je také dán časovým plánem a zcela mechanicky bez regulace. Tepelné ztráty nebo zisky jsou závislé na teplotách interiéru a exteriéru. Časový plán větrání je znázorněn v tab. 3-6. Pro hustotu vzduchu ve 1610 m n.m. (Denver) byla použita hodnota 0,987 kg/m<sup>3</sup>. Norma ČSN 73 0548 nezahrnuje tepelné zisky větráním do celkové tepelné zátěže.

Tab. 4-5 Větrání modulu [3]

Časový interval	Místnost 1	Místnost 2	Chodba
[h]	[1/h]	[1/h]	[1/h]
7:00 – 17:00	3,0	3,0	3,0
17:00 – 7:00	0,5	0,5	0,5

### Tepelné zisky z vnějšího prostředí

Zásadní rozdíl metod spočívá v zadání propustnosti sluneční radiace průsvitných povrchů. Norma ČSN 73 0548 uvádí pro výpočet propustnosti přímé sluneční radiace pro standardní zasklení vztah (21). Kdežto BESTEST udává **celkovou propustnost sluneční radiace** skutečného zasklení  $(\alpha_i + T_D)$  a  $(\alpha_i + T_d)$ , které zahrnují i součinitelé sekundární konvekce na vnitřní straně  $\alpha_i$ . V literatuře se můžeme potýkat s anglickou zkratkou *SHGC*, která značí solar hear gain coefficient. Průběh celkové propustnosti přímé sluneční radiace skutečného zasklení  $(\alpha_i + T_D)$  v závislosti na úhlu dopadu  $\theta$  je uvedena v tab. 4-3 a graficky zpracováno na grafu 4-1. Hodnoty  $(\alpha_i + T_D)$  jsou určeny podle polynomu 6. řádu (26), který vychází z výše zmíněného grafu.

Vztahy (21) a tak i (20) se tak upraví takto:

**Celková intenzita sluneční radiace procházející skutečným zasklením  $\dot{I}_o$ :**

$$\dot{I}_o = I_{DS} \cdot (\alpha_i + T_D) + I_{dS} \cdot (\alpha_i + T_d), \quad (28)$$

kde

$I_{DS}$  intenzita přímé sluneční radiace na danou plochu [W /m<sup>2</sup> ],

$(\alpha_i + T_D)$  celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace [–],

$I_{dS}$  intenzita difúzní sluneční radiace na danou plochu [W /m<sup>2</sup> ],

$(\alpha_i + T_d)$  celková poměrná propustnost difuzní sluneční radiace [–].

**Celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace pro etalon zasklení  $(\alpha_i + T_D)_{et}$ :**

$$(\alpha_i + T_D)_{et} = 0,87 - 1,47 \left( \frac{\theta}{100} \right)^5. \quad (29)$$

**Celková propustnost difuzní sluneční radiace skutečného zasklení** ( $\alpha_i + T_d$ ) byla určena jako poměr propustnosti skutečného zasklení a etalonu při  $\theta = 0^\circ$ . Tento poměr byl následně vynásoben propustností difuzní sluneční radiace etalonu  $T_{d,et}$ , tedy:

$$(\alpha_i + T_d) = \frac{\tau_{skut,0^\circ}}{\tau_{et,0^\circ}} \cdot T_{d,et}, \quad (30)$$

kde

$\tau_{skut,0^\circ}$  skutečná propustnost sluneční radiace při  $\theta = 0^\circ$  [–],

$$\tau_{skut,0^\circ} = 0,787$$

$\tau_{et,0^\circ}$  propustnost sluneční radiace etalonu při  $\theta = 0^\circ$  [–],

$$\tau_{et,0^\circ} = 0,87$$

$T_{d,et}$  celková propustnost difuzní sluneční radiace etalonu [–].

$$T_{d,et} = 0,85$$

Dosažením hodnot do vztahu (30) vychází  $(\alpha_i + T_d) = 0,769$ .

Stínící součinitel  $s$  vyjadřuje poměr sluneční radiace procházející sledovaným oknem a standardním oknem (etalonem). Při výpočtu byla uvažována hodnota **stínícího součinitele**  $s = 1$ , neboť byly použity intenzity sluneční radiace  $\dot{I}_o$  a  $\dot{I}_{o,dif}$  skutečného zasklení a v celkové propustnosti (SHGC)  $T_D$  a  $T_d$  jsou zahrnuty i součinitelé sekundární konvekce na vnitřní straně  $\alpha_i$ .

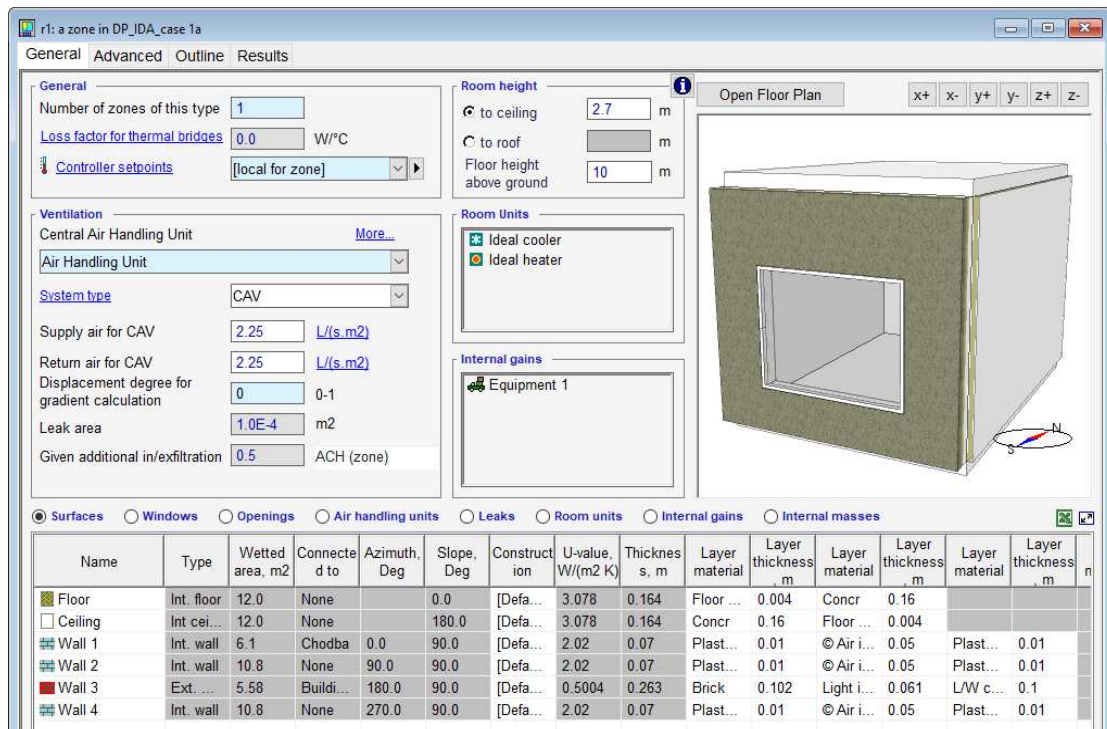
## 5. Simulační program IDA

V současné době je mnohdy vyžadována přesná analýza a průběh sledovaných veličin v určitém časovém úseku. V těchto případech je vhodné použití specializovaných výpočetních programů a v lepším případě sofistikovaných simulací. Poskytující precizní výstupní hodnoty, avšak tyto metody s sebou přinášejí také určité nevýhody. Snad nejvýznamnější nevýhodou těchto metod je finanční náročnost zpracování projektu, která se odráží od rozsahu a složitosti zadání a míry přesnosti zpracování. Dále je nutné dodat co nejpřesnější vstupní parametry. V našem oboru se jedná především o tepelně-technické vlastnosti konstrukcí, klimatické podmínky, vnitřního prostředí a jeho požadavky a tak dále. Na druhou stranu precizní výsledky jsou klíčem k návrhu ideálního systému řešeného problému. Předchází se tak předimenzování a následně přebytečným investičním nákladům. Přehledné grafické výstupy rovněž napomáhají k optimalizaci provozu a tím ke snížení provozních nákladů celého systému. Zásadní je rozhodnutí míry přesnosti s ohledem na budoucí úspory investičních či provozních nákladů.

### 5.1. Zkušební modul dle BESTEST

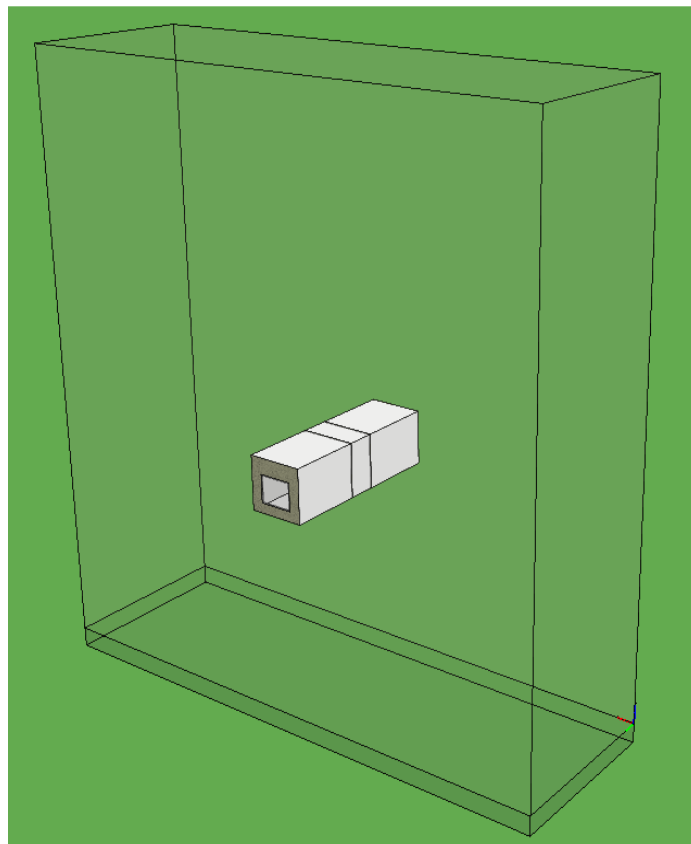
K simulaci zkušebního modulu byl použit simulační program IDA ICE (Indoor Climate and Energy). Jedná se o dynamický vícezónový simulační program pro předpověď vnitřního prostředí jednotlivých zón, poskytuje také přehled spotřeby energie pro celou budovu.

Prvním krokem bylo třeba namodelování zkušebního modulu BESTEST do programu IDA. Rozměry a dispozice modulu jsou popsány v kapitole 4.1. Následně byly zadány tepelně-technické vlastnosti všech konstrukcí (podle tab. 4-1) a parametry zasklení popsané v kapitole 4.1.2. Dispozice modulu v objektu je zobrazena na obr. 5-2. V následujícím obr. 5-1 je uvedeno na ukázkou pracovní prostředí pro místnost 1 případu 1a.



Name	Type	Wetted area, m2	Connecte d to	Azimuth, Deg	Slope, Deg	Construct ion	U-value, W/(m2 K)	Thicknes s, m	Layer material	Layer thickness, m	Layer material	Layer thickness, m	Layer material	Layer thickness, m	Layer material	Layer thickness, m
Floor	Int. floor	12.0	None		0.0	[Defa...	3.078	0.164	Floor ...	0.004	Concr	0.16				
Ceiling	Int. cei...	12.0	None		180.0	[Defa...	3.078	0.164	Concr	0.16	Floor...	0.004				
Wall 1	Int. wall	6.1	Chodba	0.0	90.0	[Defa...	2.02	0.07	Plast...	0.01	© Air i...	0.05	Plast...	0.01		
Wall 2	Int. wall	10.8	None	90.0	90.0	[Defa...	2.02	0.07	Plast...	0.01	© Air i...	0.05	Plast...	0.01		
Wall 3	Ext. ....	5.58	Buildi...	180.0	90.0	[Defa...	0.5004	0.263	Brick	0.102	Light i...	0.061	L/W c...	0.1		
Wall 4	Int. wall	10.8	None	270.0	90.0	[Defa...	2.02	0.07	Plast...	0.01	© Air i...	0.05	Plast...	0.01		

Obr. 5-1 Pracovní prostředí IDA – místnost 1 případu 1a



Obr. 5-2 Zkušební modul v objektu

## 5.2. Nastavení vstupních parametrů

V dalším kroku byly nastaveny vstupní podmínky podle požadavku BESTEST:

Obecné údaje:

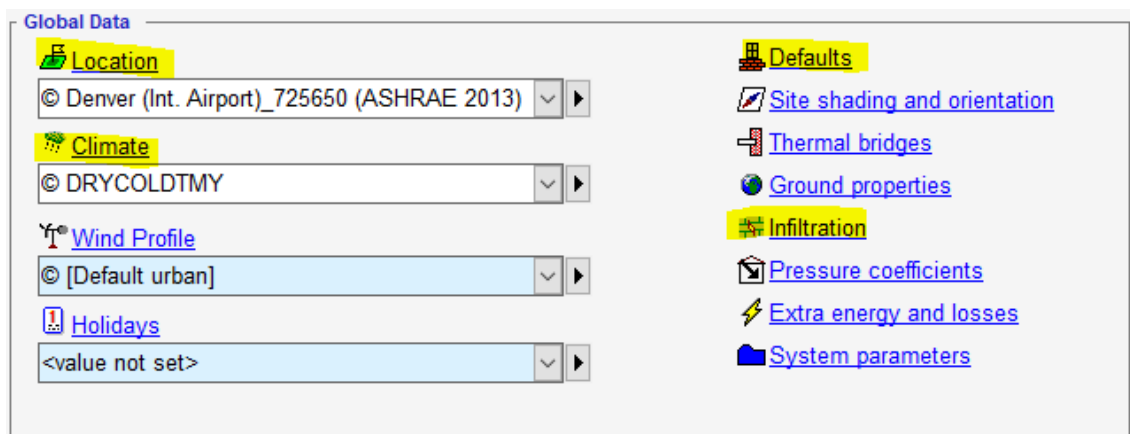
- Lokalita – Denver, USA, konkrétně z databáze Denver (Int. Airport)\_725650 (ASHRAE 2013),
- Klimatická data – DRYCOLD.TMY.

Výchozí údaje (Defaults):

- výchozí tepelně-technické parametry pro konstrukce (kap. 4.1),
- vytápění, chlazení a příprava TV na elektrické zařízení
- $COP$  a  $EER = 1 \rightarrow$  chladicí výkon = tepelná zátěž

Infiltrace:

- Jednotka infiltrace (Infiltration unit) – ACH (building), tzn. Air Changes per Hour neboli výměna vzduchu [1/h]
- Pevně daná infiltrace (Fixed infiltration) = 0,5 ACH (building) – důvod dále v práci



Obr. 5-3 Obecné nastavení modelu

Nastavení pro jednotlivé místnosti (viz Obr. 4-2)

- Ideální chladič – výkon 1 MW, PI regulátor
- Ideální ohřivač – výkon 1MW, PI regulátor
- Vnitřní zisky – 500 W denně od 8 do 16 hodin, podíl dlouhovlnné radiace = 0,5
- Nastavení mezních teplot (Controller setpoints) – pro spuštění chlazení/vytápění (viz Tab. 4-2)
- Větrání – Air Handling Unit, CAV, množství přiváděného vzduchu pro místnosti i chodbu 2,25 l/s·m<sup>2</sup>, rozbor níže

Z tab. 5-1 lze vyčíst, že během doby provozu (7-17 h) je maximální teplota 25 °C a minimální teplota 20 °C. Mimo pracovní dobu není chladič systém v provozu, jen udržuje minimální teplotu 18 °C. Na chodbě není k dispozici chlazení, jen vytápění na stejné podmínky jako v obou místnostech.

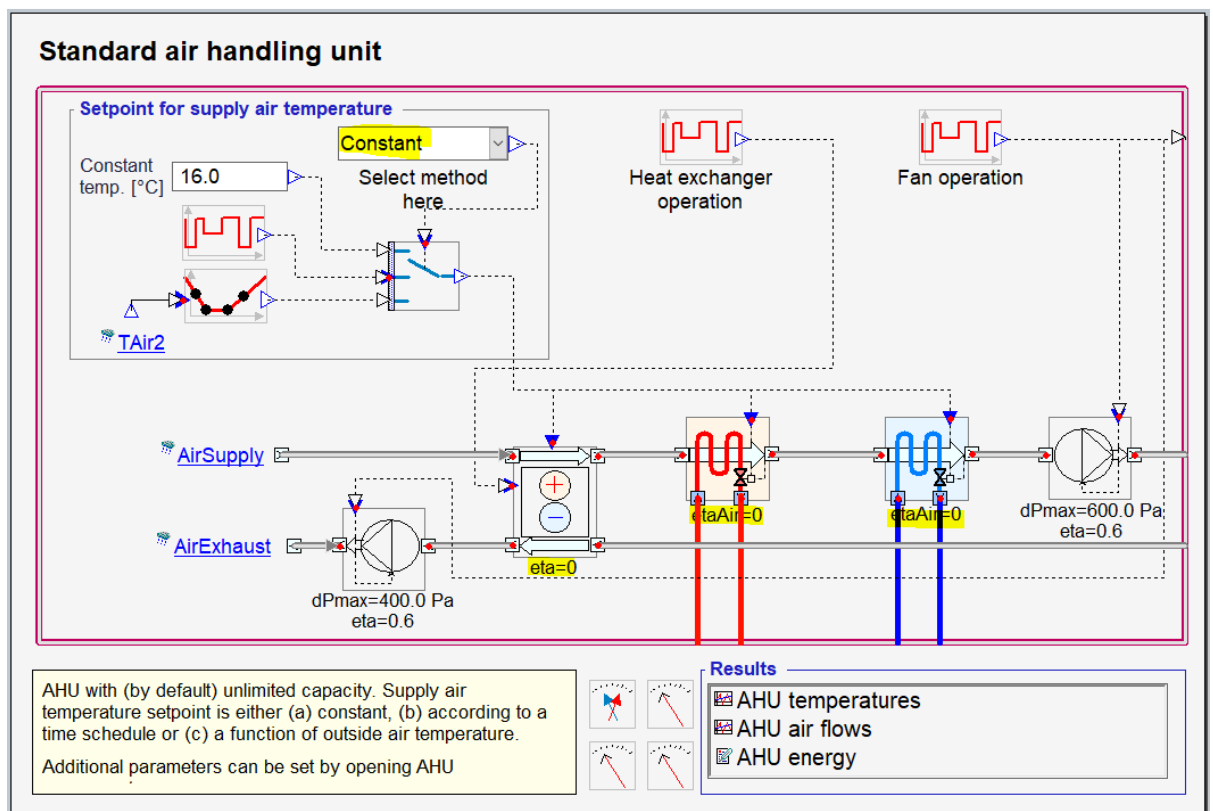
**Tab. 5-1 Mezní teplota [7]**

Časový interval	Místnosti 1 a 2		Chodba
	vytápění	chlazení	vytápění
[h]	[°C]	[°C]	[°C]
7:00 - 17:00	20	25	20
17:00 - 7:00	18	100	18

Komplikace se vyskytly u nastavení požadovaného větrání (viz Tab. 4-5). Větrání modulu pracuje s časovým plánem s útlumy. Simulační program IDA nabízí řadu přednastavených větracích systémů, ale žádná z nich nepodporuje časově řízené větrání s proměnlivým průtokem. Řešením bylo nastavení útlumu jako trvalou půl násobnou infiltraci (0,5 1/h) a poté upravení přednastaveného větracího systému (Standard air Handling unit). Větrací systém se skládá ze zpětného získávání tepla, ohřivače, chladiče a ventilátorů, které jsou spouštěny podle požadavku regulátoru (Fan operation). Možnosti regulace ZZT, ohřivače a chladiče jsou na konstantní přívodní teplotu, podle venkovní teploty a podle časového plánu. Řízení těchto komponent bylo nastaveno



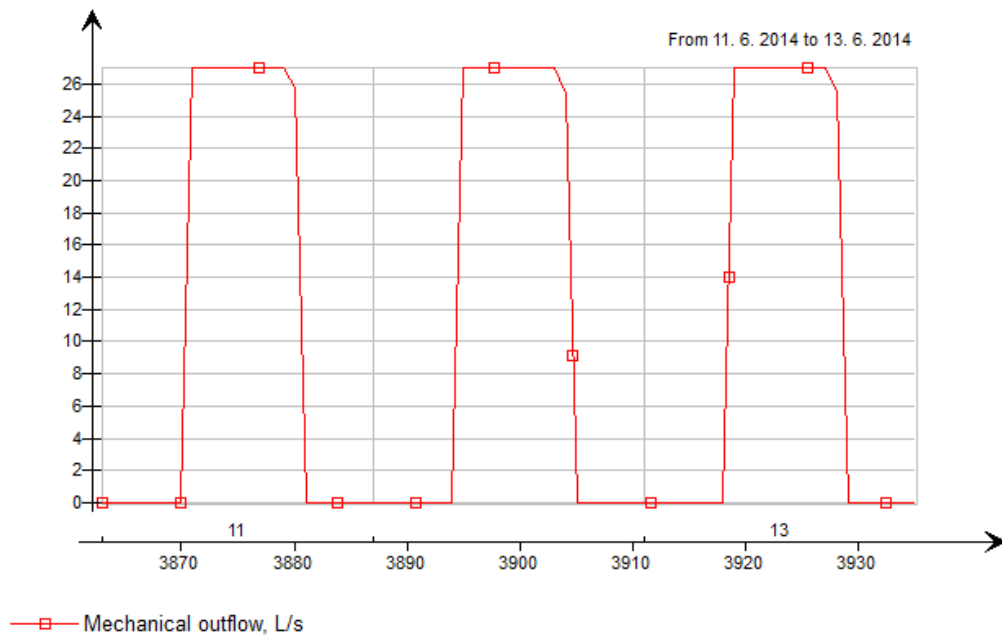
na konstantní teplotu a účinnosti ZZT, ohřívače a chladiče rovné nule. Chod ventilátorů byl nastaven podle časového plánu – 7 až 17 hodiny spuštěno, jinak vypnuto. Těmito nastavením bylo dosaženo požadovaného větrání podle časového plánu. Schéma větracího systému je zobrazeno na Obr. 5-4.



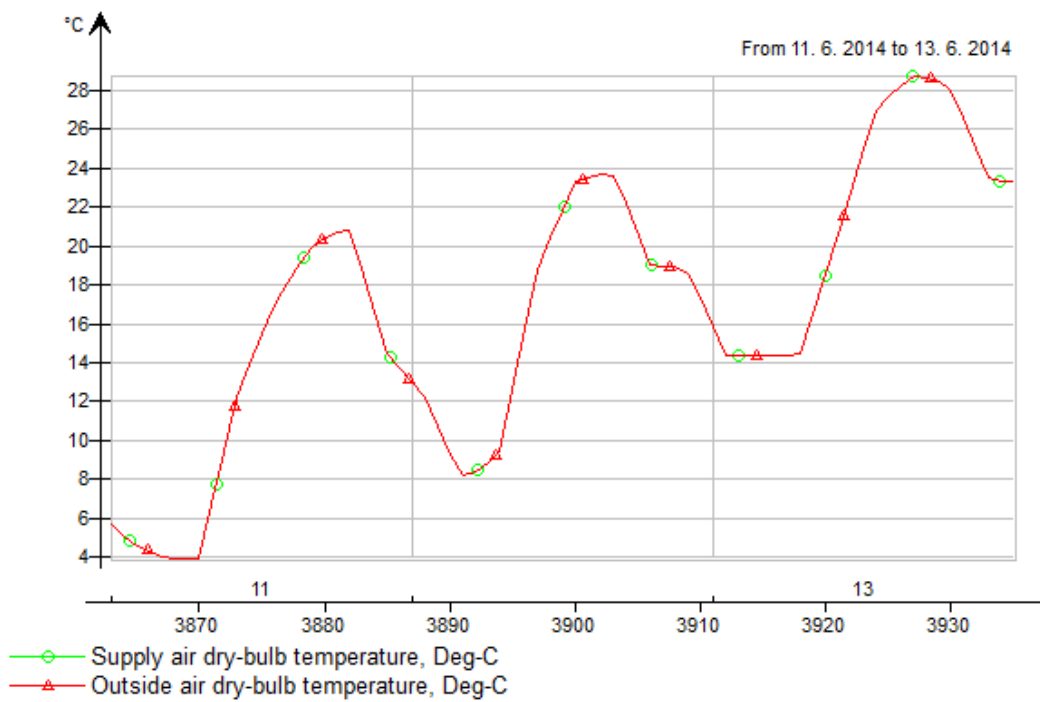
Obr. 5-4 Upravený větrací systém

Potřebné množství vzduchu dodávané větracím systémem bylo nutné dopočítat a zadat v nastavení místností – Supply Air for CAV v  $l/s \cdot m^2$ , což označuje litr za sekundu na metr čtvereční podlahové plochy. Shodou náhod vychází pro místnosti i chodbu požadované množství  $2,25 l/s \cdot m^2$ .

Pro kontrolu byla provedena simulace pro krátký časový úsek (3 dny), průběh odpovídá požadavku větrání, viz Obr 5-5. Hodnoty průtoků jsou uvedeny v  $l/s$ . Hodnota  $27 l/s$  odpovídá trojnásobné intenzitě větrání v místnosti 1 nebo 2, která činí  $97,2 m^3/h$ . Průběh teplot přiváděného vzduchu a venkovního vzduchu je znázorněn na Obr. 5-6. Opět lze pozorovat, že průběhy jsou identické.



Obr. 5-5 Průběh průtoku větracího vzduchu



Obr. 5-6 Průběh teplot venkovního a přiváděného vzduchu

V nastavení ventilátoru bylo navíc nastaveno ohřev vzduchu ve ventilátoru (TRISE) rovné 0.

### 5.3. Spuštění simulace

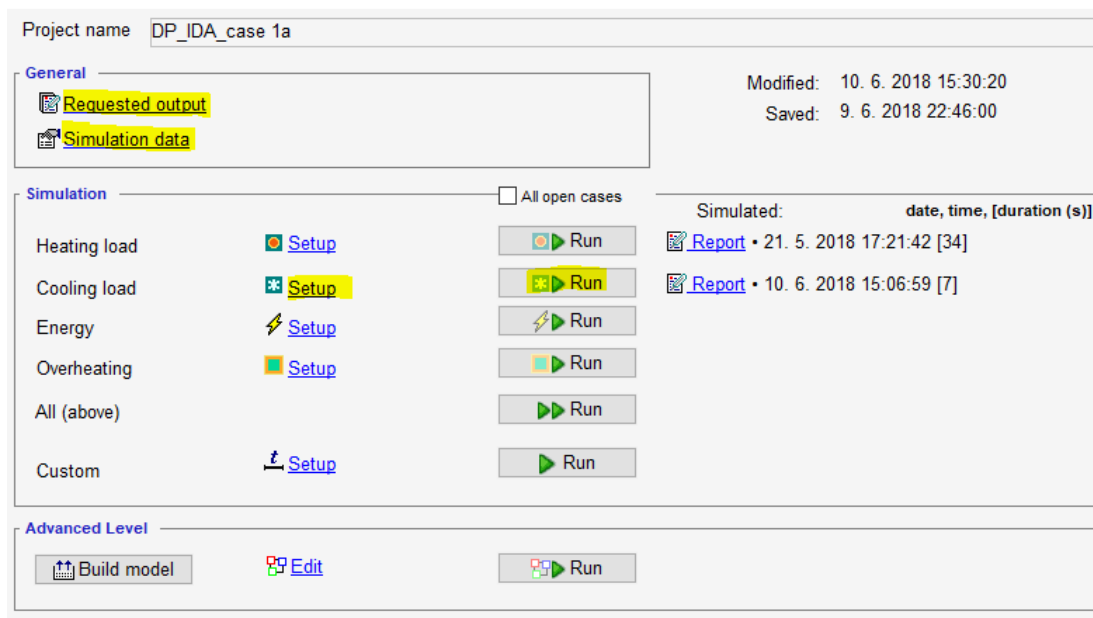
Před samotným spuštěním simulace bylo vhodné navolit požadované výstupní parametry. Simulační program IDA umožňuje řadu zajímavých výstupů, avšak k účelu této práce nepodstatných. Byly vybrány jen základní parametry jako jsou teploty a průtok dodávané větrací jednotkou, hlavní teploty místností, množství energie na provoz ohříváče či chladiče a tak dále. Dále byly nastaveny následující parametry:

Simulační data (Simulation data):

- dynamický rozběh soustavy na 14 dní,
- časový krok – 1 hodina.

Tepelná zátěž – nastavení (Cooling load – setup):

- Proměnná (Variable) – maximální odvedené teplo (max heat removed),
- Podíl vnitřních zisků (Percentage of internal gains) – 100 %,
- Použití klimatických dat (Design period using Climate file) – DRYCOLD.TMY,
- Časový úsek – libovolný rok, dávat pozor na přestupní roky.



Obr. 4-6 Nastavení simulace

Po spuštění tlačítkem „Run“ se soustava rozkmitá po dobu nastavených 14 dní a až po uplynutí této doby dochází k samotné simulaci a zaznamenání výsledků. Výstupy ze simulací budou podrobně rozebrány v následující kapitole.

## 6. Vyhodnocení výsledků

V následující kapitole budou prezentovány výsledky z výpočtu tepelné zátěže podle normy ČSN 73 0548 a ze simulačního programu IDA. Poté budou porovnány s výsledky referenčních programů použitých v BESTEST. Pro postup výpočtu podle normy ČSN 73 0548 byly uvažovány 3 konfigurace – bez akumulace, s akumulací při maximální přípustné překročení požadované teploty  $\Delta t = 1 \text{ K}$  a při  $\Delta t = 2 \text{ K}$ .

**Tab 6-1 Orientace oken místností**

	1a	2a
Místnost 1	Jih	Západ
Místnost 2	Sever	Východ

### 6.1. Výpočet podle ČSN 73 0548

Níže v tab. 6-2 až 6-5 jsou uvedeny dosažené výsledky dle postupu normy ČSN 73 0548 s upravenými vstupními hodnotami, viz kap. 4.2. Celková tepelná zátěž ( $Q_{\text{celk}}$ ) je daná součtem tepelných zisků okny konvekcí ( $Q_{\text{OK}}$ ), okny radiací ( $Q_{\text{OR}}$ ), stěnou konvekcí ( $Q_{\text{SK}}$ ), větráním ( $Q_{\text{VET}}$ ) a vnitřními zdroji tepla ( $Q_{\text{VZ}}$ ). Z tabulek lze vyčíst, že největší podíl na celkové tepelné zátěži má tepelný zisk radiací okny, a to cca 58 % až 74 %. Následován vnitřními tepelnými zisky – přibližně 23 % až 32 %. Záporné hodnoty odpovídají tepelným ztrátám.

**Tab. 6-2 Tepelná zátěž – místnost 1 případ 1a**

	$Q_{\text{OK}}$ [W]	$Q_{\text{OR}}$ [W]	$Q_{\text{SK}}$ [W]	$Q_{\text{VET}}$ [W]	$Q_{\text{VZ}}$ [W]	<b><math>Q_{\text{celk}}</math></b> [W]
Bez akumulace	5	1374	-2	16	500	<b>1893</b>
Akumulace $\Delta t=1 \text{ K}$	-13	1352	0	-5	500	<b>1834</b>
Akumulace $\Delta t=2 \text{ K}$	-13	1255	0	-5	500	<b>1737</b>

**Tab. 6-3 Tepelná zátěž – místnost 2 případ 1a**

	$Q_{\text{OK}}$ [W]	$Q_{\text{OR}}$ [W]	$Q_{\text{SK}}$ [W]	$Q_{\text{VET}}$ [W]	$Q_{\text{VZ}}$ [W]	<b><math>Q_{\text{celk}}</math></b> [W]
Bez akumulace	-5	1237	35	-2	500	<b>1766</b>
Akumulace $\Delta t=1 \text{ K}$	-5	1140	35	-2	500	<b>1668</b>
Akumulace $\Delta t=2 \text{ K}$	-5	1043	35	-2	500	<b>1571</b>

Tab. 6-4 Tepelná zátěž – místnost 1 případ 2a

	Q <sub>OK</sub> [W]	Q <sub>OR</sub> [W]	Q <sub>SK</sub> [W]	Q <sub>VET</sub> [W]	Q <sub>VZ</sub> [W]	Q <sub>celk</sub> [W]
Bez akumulace	71	1273	111	253	500	<b>2208</b>
Akumulace $\Delta t=1$ K	71	1176	111	28	500	<b>1885</b>
Akumulace $\Delta t=2$ K	71	1078	111	28	500	<b>1788</b>

Tab. 6-5 Tepelná zátěž – místnost 2 případ 2a

	Q <sub>OK</sub> [W]	Q <sub>OR</sub> [W]	Q <sub>SK</sub> [W]	Q <sub>VET</sub> [W]	Q <sub>VZ</sub> [W]	Q <sub>celk</sub> [W]
Bez akumulace	0	1530	97	0	500	<b>2127</b>
Akumulace $\Delta t=1$ K	76	0	102	30	500	<b>2030</b>
Akumulace $\Delta t=2$ K	0	1336	97	0	500	<b>1933</b>

V tab. 6-6 jsou zobrazeny datum a čas maximálních tepelné zátěže místností uvažované případy a konfigurace. Celkový výpis měsíčních extrémů je náplní příloh P1 a P2.

Tab 6-6 Datum a čas maximálních hodnot tepelné zátěže

			Bez akumulace	Akumulace $\Delta t = 1$ K	Akumulace $\Delta t = 2$ K
Případ 1a	Místnost 1	Měsíc	<b>Říjen</b>	<b>Říjen</b>	<b>Říjen</b>
		Datum	16	17	17
		Čas	13 h	12 h	12 h
	Místnost 2	Měsíc	<b>Červenec</b>	<b>Červenec</b>	<b>Červenec</b>
		Datum	11	11	11
		Čas	13 h	13 h	13 h
Případ 2a	Místnost 1	Měsíc	<b>Červenec</b>	<b>Červenec</b>	<b>Červenec</b>
		Datum	26	26	26
		Čas	16 h	16 h	16 h
	Místnost 2	Měsíc	<b>Červenec</b>	<b>Červenec</b>	<b>Červenec</b>
		Datum	10	10	10
		Čas	8 h	8 h	8 h

Známostou nepřesností výpočtu normy dle ČSN 73 0548 je výrazné zjednodušení vlivu akumulace místnosti. Z tab. 6-2 až 6-5 je možné zpozorovat pokles celkových hodnot tepelné zátěže s rostoucí hodnotou  $\Delta t$ . Tímto nedostatkem dochází k přebytečnému předimenzování zdrojů chladu, a tak i k zvýšení investičních nákladů.

## 6.2. Simulační program IDA

Po nastavení požadovaných parametrů, které byly popsány v kapitole 5, byla simulace spuštěna po dobu jednoho celého roku. Na obr. 6-1 jsou zobrazeny základní výstupní data tepelných zátěží.

Zone Cooling Loads		case 1a						
Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat removed*, W	Time	Room unit cool, W	Dry vent cool**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
r1	1	12.0	1336.0	17 Oct 15:10	1393.0	1388.0	25.0	26.0
Chodba	1	4.5	272.8	01 Oct 07:19	0.0	520.6	20.0	10.9
r2	1	12.0	744.3	02 Jul 11:06	986.5	1388.0	25.0	25.8

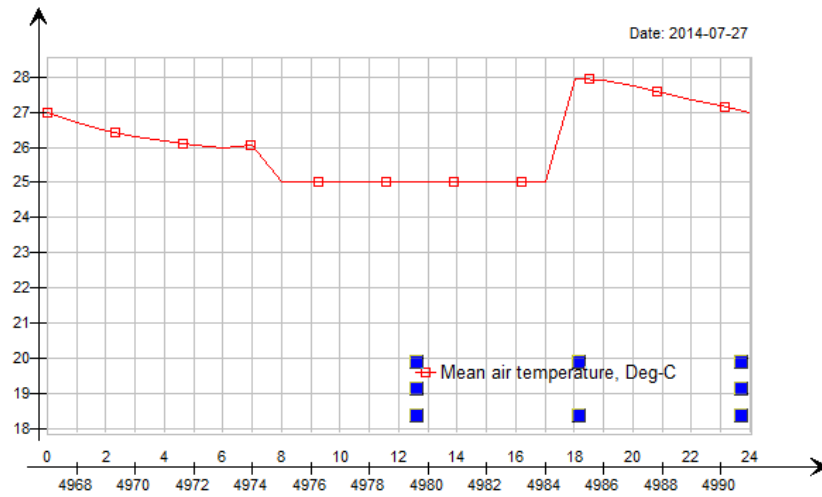
Zone Cooling Loads		case 2a						
Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat removed*, W	Time	Room unit cool, W	Dry vent cool**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
r2	1	12.0	1470.0	02 Jul 10:40	1606.0	1388.0	25.0	26.0
Chodba	1	4.5	276.4	01 Oct 07:19	0.0	520.7	21.9	10.8
r1	1	12.0	1254.0	02 Jul 07:20	1445.0	1388.0	25.3	26.8

Obr. 6-1 Tepelná zátěž místností – IDA

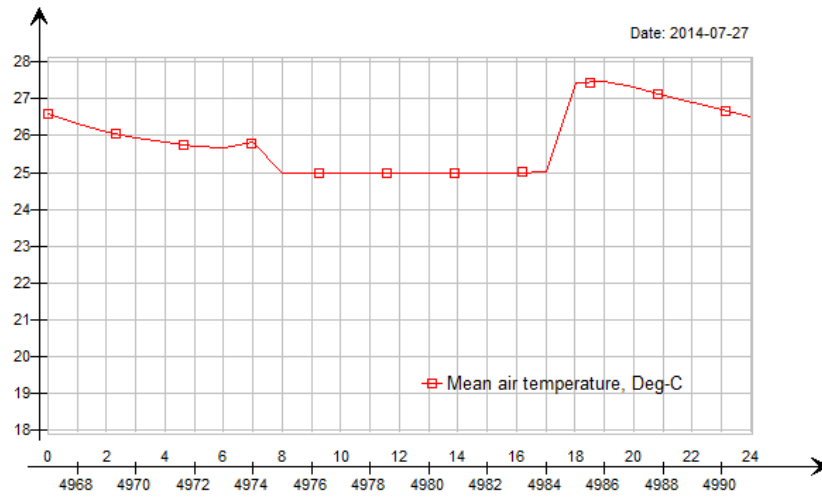
V porovnání s výsledky výpočtu dle normy jsou výsledné tepelné zátěže (Heat removed) značně vyšší. Rozdíly těchto hodnot dosahují průměrně cca 36 %, v nejhorším případě (místnost 2 – 1a) až necelých 58 %. Datумы extrémů jsou shodné u první místnosti případu 1a, v ostatních případech dochází k mírné neshodě.

Na obr. 6-2 až 6.4 jsou znázorněny průběhy teplot vzduchu v obou místnostech a na chodbě ve stejný den. Zde je možné ověření zadaného požadavku teplot vnitřního vzduchu, kde je během pracovní doby požadovaná maximální teplota 25 °C a mimo pracovní dobu je klimatizační systém mimo provoz. Na chodbě platí podmínka vytápění, poklesne-li teplota pod 20 °C (resp. 18 °C mimo pracovní dobu), viz tab. 5-1.

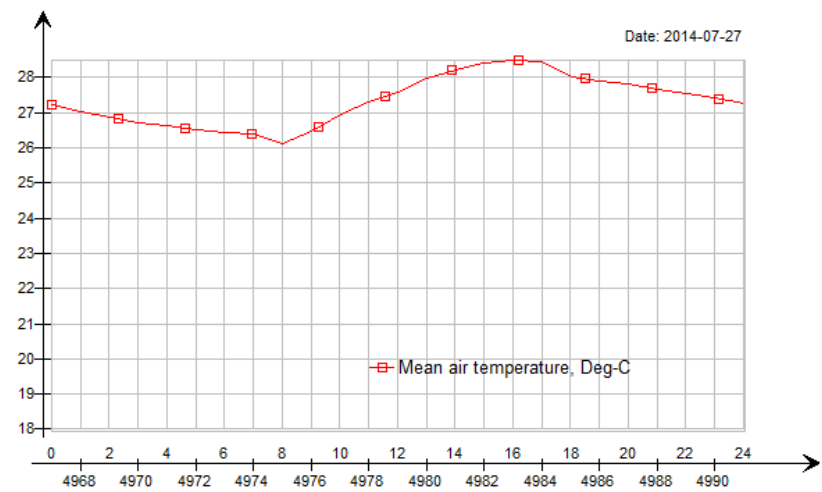
Na obr. 6-5 je znázorněn průběh výkonu ideálního chladiče pro celý modul při provozu v srpnu. A níže, na obr. 6-6 je zobrazena tepelná zátěž pro místnost 1 případ 1a, kde lze zaznamenat špičku tepelné zátěže místnosti v roce.



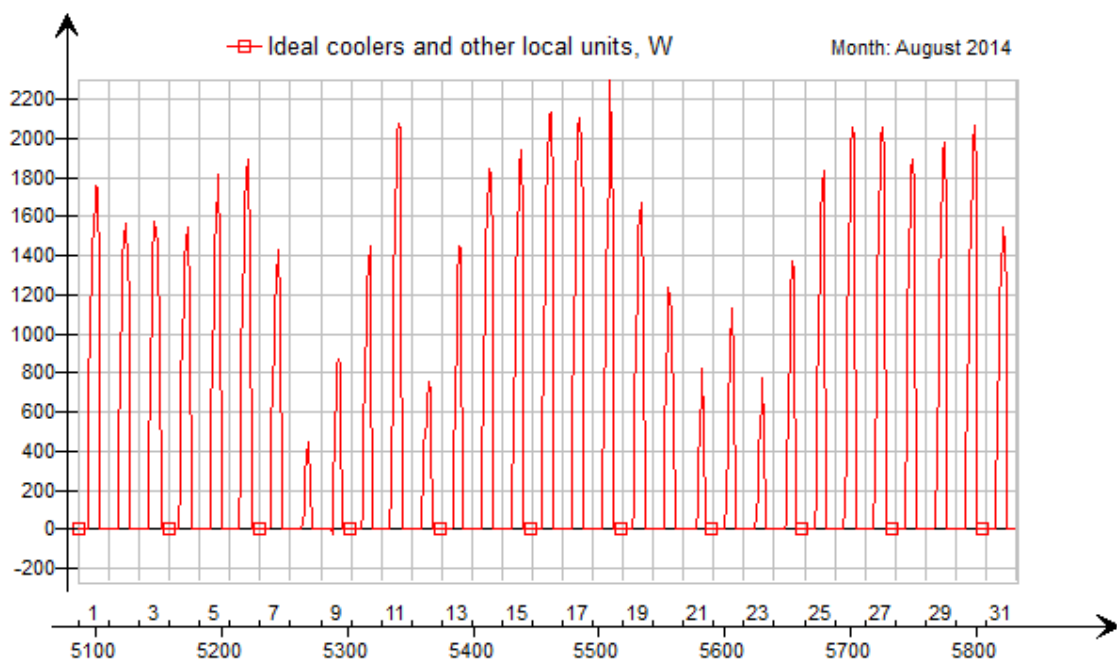
Obr. 6-2 Průběh teploty vzduchu místnosti 1



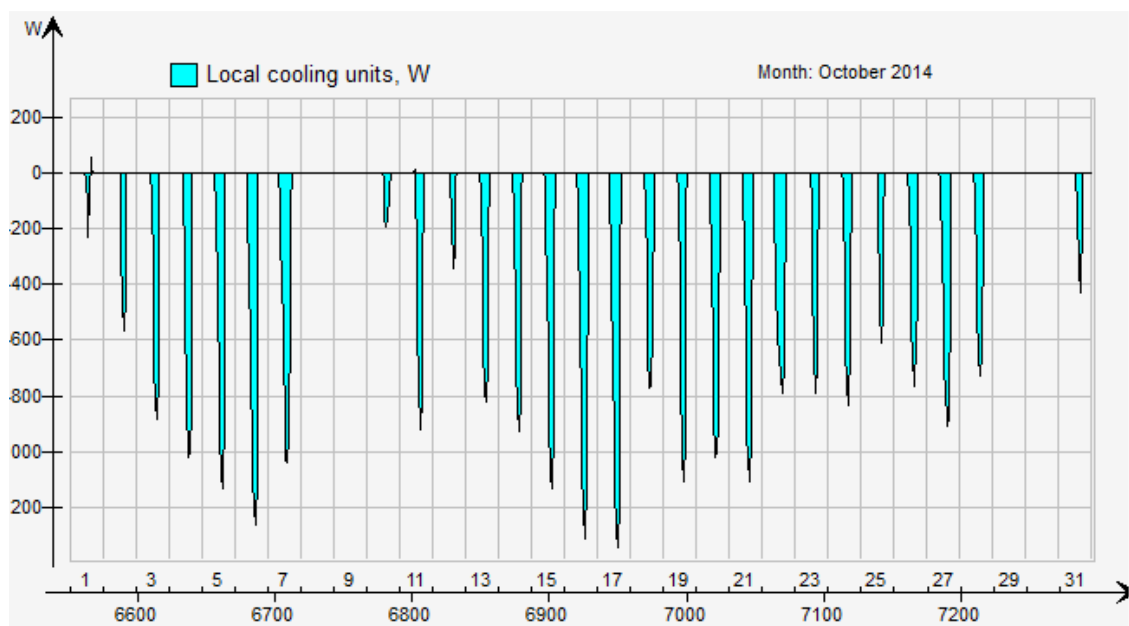
Obr. 6-3 Průběh teploty vzduchu místnosti 2



Obr. 6-4 Průběh teploty vzduchu na chodbě



Obr. 6-5 Průběh výkonu ideálního chladiče v srpnu



Obr. 6-6 Průběh tepelné zátěže místnosti 1 – 1a



### 6.3. Výsledky BESTEST

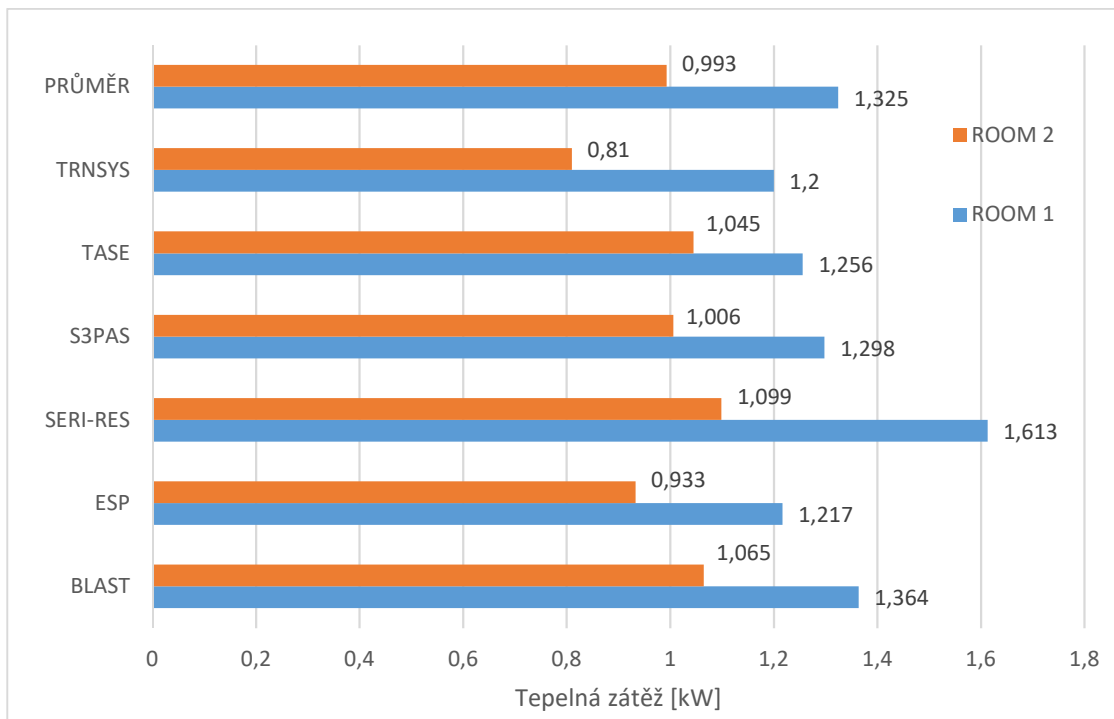
Níže v této podkapitole budou prezentovány výsledky tepelných zátěží poskytnuté vybranými referenčními programy. Výsledky programů BLAST, S3PAS a TASE vykazují odchylku méně než 10 % od průměrných hodnot všech použitých programů. Největší rozdíl, až 50 %, je zaznamenáno mezi SERI-RES a TASE pro místnost směřující na východ. Níže jsou uvedeny dosažené výsledky referenčních programů metodiky BESTEST a jejich grafické zpracování.

**Tab. 6-7 Tepelná zátěž uvedená ve [kW] – BESTEST [3]**

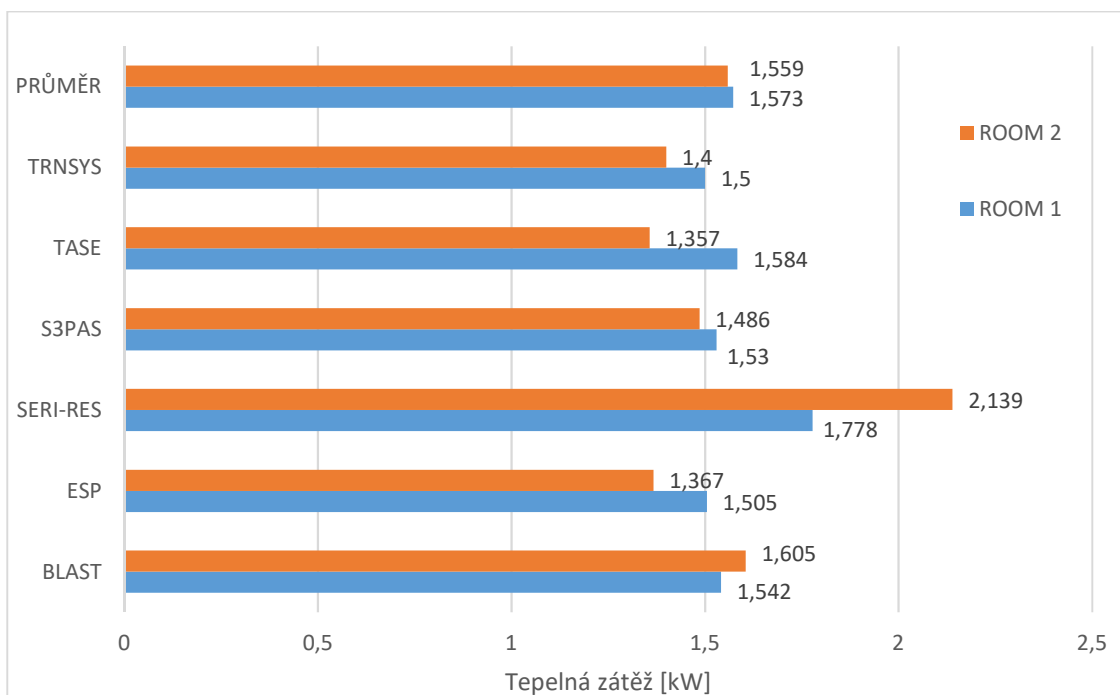
	1a		2a	
	ROOM 1	ROOM 2	ROOM 1	ROOM 2
BLAST	1,364	1,065	1,542	1,605
ESP	1,217	0,933	1,505	1,367
SERI-RES	1,613	1,099	1,778	2,139
S3PAS	1,298	1,006	1,530	1,486
TASE	1,256	1,045	1,584	1,357
TRNSYS	1,200	0,810	1,500	1,400
PRŮMĚR	1,325	0,993	1,573	1,559

**Tab. 6-8 Odchylka od průměru – BESTEST**

	1a		2a	
	ROOM 1	ROOM 2	ROOM 1	ROOM 2
BLAST	2,97 %	7,25 %	-1,98 %	2,95 %
ESP	-8,13 %	-6,04 %	-4,33 %	-12,32 %
SERI-RES	21,77 %	10,67 %	13,02 %	37,20 %
S3PAS	-2,01 %	1,31 %	-2,74 %	-4,68 %
TASE	-5,18 %	5,24 %	0,69 %	-12,96 %
TRNSYS	-9,41 %	-18,43 %	-4,65 %	-10,20 %



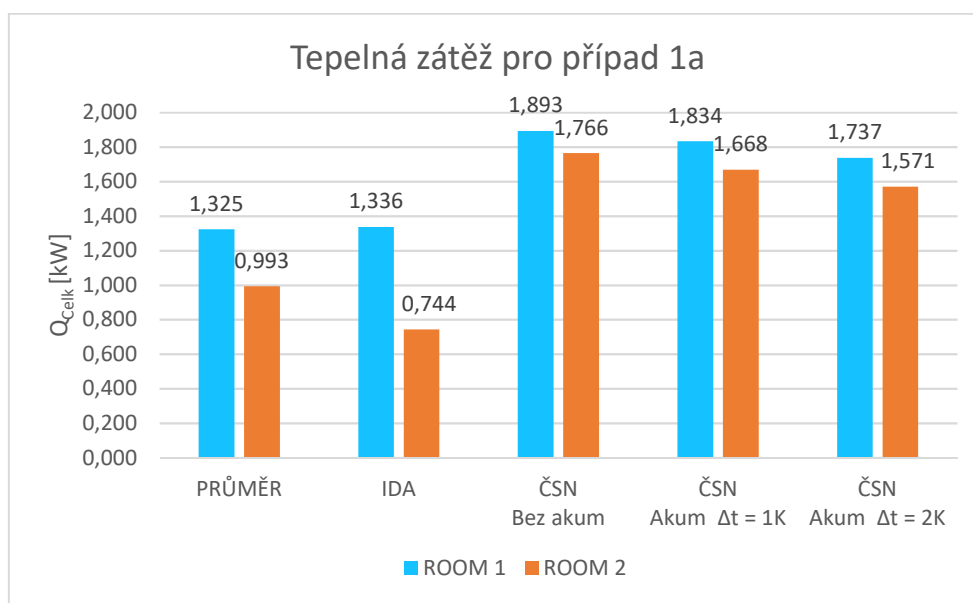
Obr. 6-7 Výsledky BESTEST pro případ 1a



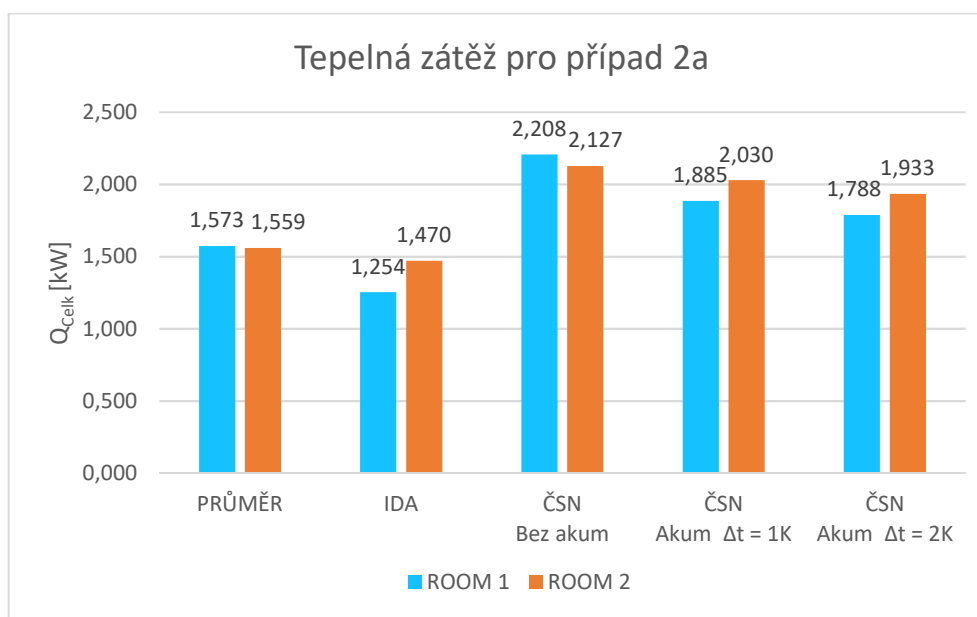
Obr. 6-8 Výsledky BESTEST pro případ 2a

## 6.4. Celkové porovnání

Srovnáme-li dosažené výsledky všech metod, je zřejmý poměrně malý rozdíl mezi průměrnými hodnotami referenčních programů a výstupy simulačního programu IDA, tento rozdíl se pohybuje mezi -25 % až +1 %. Značně výraznější odchylky vykazuje metoda výpočtu podle normy ČSN 73 0548, kde výsledky převyšují průměrným hodnotami až o 78 % (průměrně o 40 %). Grafické zpracování hodnot je uvedeno níže na Obr. 6-9 a 6-10.



Obr. 6-9 – Srovnání výsledků tepelné zátěže pro případ 1a



Obr. 6-10 – Srovnání výsledků tepelné zátěže pro případ 2a

Tab. 6-9 Odchylka od průměru BESTEST

	1a		2a	
	ROOM 1	ROOM 2	ROOM 1	ROOM 2
IDA	-1 %	25 %	20 %	6 %
Bez akumulace	-43 %	-78 %	-40 %	-36 %
Akumulace $\Delta t = 1$ K	-38 %	-68 %	-20 %	-30 %
Akumulace $\Delta t = 2$ K	-31 %	-58 %	-14 %	-24 %

Tento výrazný rozdíl je způsoben akumulací. Norma ČSN 73 0548 značně zjednodušuje proces akumulace nejen sluneční radiací, a to navíc pouze na vnitřních površích ve formě sníženého tepelného zisku sluneční radiací akumulované do stavební konstrukce vyvolané překročením požadované teploty vzduchu  $\Delta t$  [11]. Akumulace tepla na vnějších stěnách je zcela nezanedbána. Nebere v potaz distribuci sluneční radiace na stěny. Neuvažuje se následné sdílení tepla od ohřátých konstrukcí konvekci do místnosti a jiné komplexnější jevy. Z těchto poznatků lze konstatovat, že přesnost výpočtu tepelných ztrát podle normy ČSN 73 0548 je nižší v porovnání s ostatními metodami.

## 7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo porovnat metody výpočtu tepelných zátěží pro kancelářské prostory a posouzení použitelnosti normy ČSN 73 0548 v porovnání s metodou dle simulačního programu IDA. K posouzení přesnosti normy je aplikována metodika BESTEST s použitím zkušebního modulu, viz kapitola 3.2.

Zmíněná norma se v ČR používá k výpočtu tepelných zátěží od roku 1985 a má své nedostatky, hlavně v oblasti řešení vlivu akumulace tepla. Prvním krokem byla úprava výpočtu normy tak, aby byla schopná zpracovat vstupní data dané metodou BESTEST. Této problematice se věnuje podkapitola 4.2. Byly vytvořeny 2 excelové soubory, každý se zabýval jedním případem (1a & 2a), viz příloha na CD. Excelové soubory byly vypracovány tak, aby všechny výpočty byly provedeny automaticky při změně zdrojových dat. Výpočet byl proveden pro 3 konfigurace dle zohlednění akumulace. V první konfiguraci se jednalo o výpočet bez uvážení akumulace, v dalších dvou – s uvažováním akumulace pro maximální přípouštěné překročení požadované teploty  $\Delta t = 1 \text{ K}$  a  $\Delta t = 2 \text{ K}$ . Výsledné hodnoty tepelných zátěží jsou uvedeny v tabulkách 6-2 až 6-5, kde jsou dále rozdělené na jednotlivé složky tepelných zisků. Největší podíl celkových tepelných zátěží mají tepelnými zisky radiací okny, a to zhruba 58 % až 74 %. Následovány vnitřními tepelnými zisky – přibližně 23 % až 32 %. Dále jsou v tab. 6-6 uvedeny datumy a časy extrémů v průběhu roku.

Druhá uvažovaná metoda výpočtu tepelné zátěže je metoda výpočtu tepelné zátěže pomocí simulačního programu IDA. V první fázi bylo nutné namodelovat zkušební modul, viz kapitola 4.1. V dalším kroku bylo zapotřebí nastavit výchozí parametry pro simulaci. Jednalo se především o nastavení lokality simulace, klimatických podmínek měření (DRYCOLD.TMY), ideálních chladičů a ohřivačů a tak podobně. Komplikace nastaly u nastavení proměnné výměny vzduchu v místnostech, které byly navíc časově dané (tab. 4-5). Tento problém byl vyřešen kombinací infiltrace a přednastaveného větracího systému (AHU), viz kapitola 5.2. Výsledky ze simulačního programu IDA jsou uvedeny v kapitole 6.2. Shrnutí simulace případů 1a & 2a jsou k dispozici v příloze P6 a P7.

Výsledky dosažené výpočtem podle normy ČSN 73 0548 a ze simulací IDA byly porovnány s průměrnými hodnotami, které udává BESTEST. Tyto průměrné hodnoty vycházejí z výsledků šesti referenčních programů, viz tab. 6-7. Grafické zpracování hodnot je prezentováno na obr. 6-9 a 6-10. Odchytky výsledků dle normy od průměrných hodnot jsou markantní, převyšují průměrně o 40 %, v extrémních případech až o 78 %, viz tab. 6-9. Norma ČSN 73 0548 zjednodušuje proces akumulace sluneční radiace, a to pouze na vnitřních površích ve formě sníženého tepelného zisku sluneční radiací, akumulované do stavební konstrukce, vyvolané překročením požadované teploty vzduchu  $\Delta t$  [11]. Akumulace tepla na vnějších stěnách je zcela zanedbáno. Nebere v potaz distribuci sluneční radiace na stěny. Neuvažuje se následné sdílení tepla od ohřátých konstrukcí konvekci do místnosti a jiné komplexnější jevy. Lze konstatovat, že přesnost výpočtu dle normy je nižší než například u simulačního programu IDA, kde se rozdíl pohybuje mezi -25 % až +1 %. Takto vysoký přesah hodnot tepelných zátěží normy ČSN 73 0548 má za následek značné předimenzování zdroje chladu a tím zvýšení investičních nákladů. Mimoto se předimenzováním snižuje využitelnost zdroje, který nevyužije svůj maximální navržený výkon.

V dnešní době je dbán velký důraz na přesnost návrhu a s ním související minimalizace finančních nákladů. Je poměrně nepřijatelné pracovat s odchylkou až 40 %. Na trhu se nyní vyskytuje celá řada výpočetních programů, které umožňují daleko přesnější a spolehlivější výsledky. Na druhou stranu zpracování takového projektu není levnou záležitostí. Je třeba nalézt kompromis mezi přesností a cenou za zpracování. K realizaci rozsáhlých projektů se nedoporučuje použití výpočtu tepelných zátěží podle normy ČSN 73 0548. Výpočet tepelné zátěže dle normy ČSN 73 0548 lze použít například u orientačního výpočtu nebo u malých jednoduchých prostorů, kde odchylky nejsou tak výrazné a rozdíly investičních nákladů jsou přijatelné.

Normu ČSN 73 0548 je třeba upravit a zaktualizovat ke zvýšení přesnosti a konkurenceschopnosti s ostatními dostupnými metodami. Touto problematikou se zabývá část disertační práce pana Ing. Dušky s názvem „Akumulace tepla ve výpočtu tepelné zátěže“ [11]. Ve své práci uvádí postupy a metody ke zvýšení použitelnosti normy ČSN 73 0548.

## 8. Seznam použité literatury

- [1] ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. 1985
- [2] FDRKAL, F., ZMRHAL, V. *Větrání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-800-1051-818.
- [3] HAAPALA, T., KALEMA, T., KATAJA, S. *Energy Analysis Test for Commercial Buildings (Commercial Benchmarks)*. Tampere University of Technology. 1995.
- [4] Fyzikální hodnoty pro suchý vzduch při tlaku 100 kPa [online]. [cit. 2018-05-30]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/38-fyzikalni-hodnoty-pro-suchy-vzduch-pri-tlaku-100-kpa>
- [5] MATUŠKA, T. *Prezentace – Sluneční energie* [online]. [cit. 2018-05-30]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2018/04/AZE2-predpoklady\\_znalosti.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2018/04/AZE2-predpoklady_znalosti.pdf)
- [6] [MARK S. OWEN, EDITOR, [Mark S. Owen, editor, a Heather E. Kennedy associate editor]. HEATHER E. KENNEDY, ASSOCIATE EDITOR]. *2009 ASHRAE handbook: fundamentals*. SI ed. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, 2009. ISBN 19-337-4255-0.
- [7] ZMRHA, V. *Popis výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostor podle ČSN* [online]. [cit. 2018-05-30]. Dostupné z: [http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavl/Projekt3/Podklady/01\\_Vypocet%20tepelne%20zateze.pdf](http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavl/Projekt3/Podklady/01_Vypocet%20tepelne%20zateze.pdf)
- [8] RUBINOVÁ, O. *Úvod do předmětu Základní pojmy Faktory ovlivňující kvalitu vnitřního prostoru Působení Slunce na budovu* [online]. [cit. 2018-6-7]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/prednasky/tp01.pdf>
- [9] LAIN, M. *Tepelná zátěž od umělého osvětlení* [online]. [cit. 2018-6-7]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/4276-tepelna-zatez-od-umeleho-osvetleni>
- [10] JUDKOFF, R., NEYMARK, J. *Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method*. NREL, Golden (CO), 1995
- [11] DUŠKA, M. *AKUMULACE TEPLA VE VÝPOČTU TEPELNÉ ZÁTĚŽE KLIMATIZOVANÝCH PROSTORŮ* [online]. Praha, 2010 [cit. 2018-06-17]. Dostupné z: <http://www.janhensen.nl/team/past/Duska.pdf>. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí.

## 9. Seznam příloh

[P1]	Výpočet/výpis	Tepelná zátěž dle ČSN 73 0548 – případ 1a
[P2]	Výpočet/výpis	Tepelná zátěž dle ČSN 73 0548 – případ 2a
[P3]	Graf	Rozdělení tepelné zátěže dle ČSN 73 0548 – případ 1a
[P4]	Graf	Rozdělení tepelné zátěže dle ČSN 73 0548 – případ 2a
[P5]	Obrázek	Náhled výpočtových Excelů
[P6]	Obrázek	IDA Report – případ 1a
[P7]	Obrázek	IDA Report – případ 2a

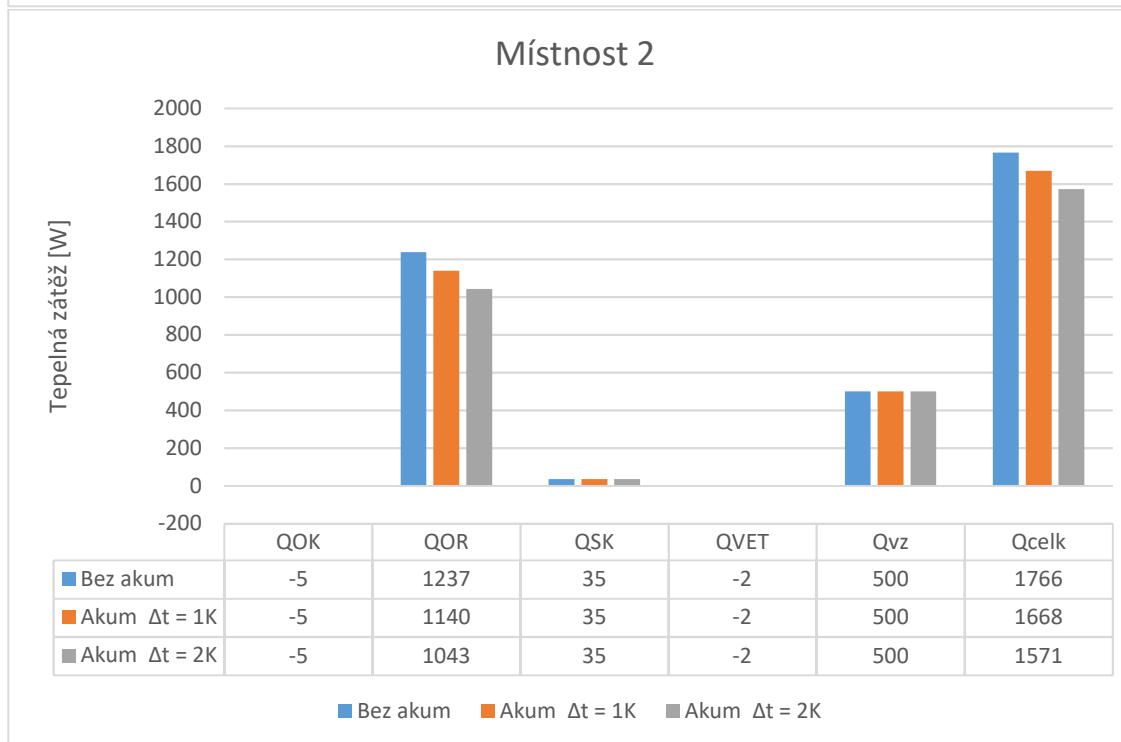
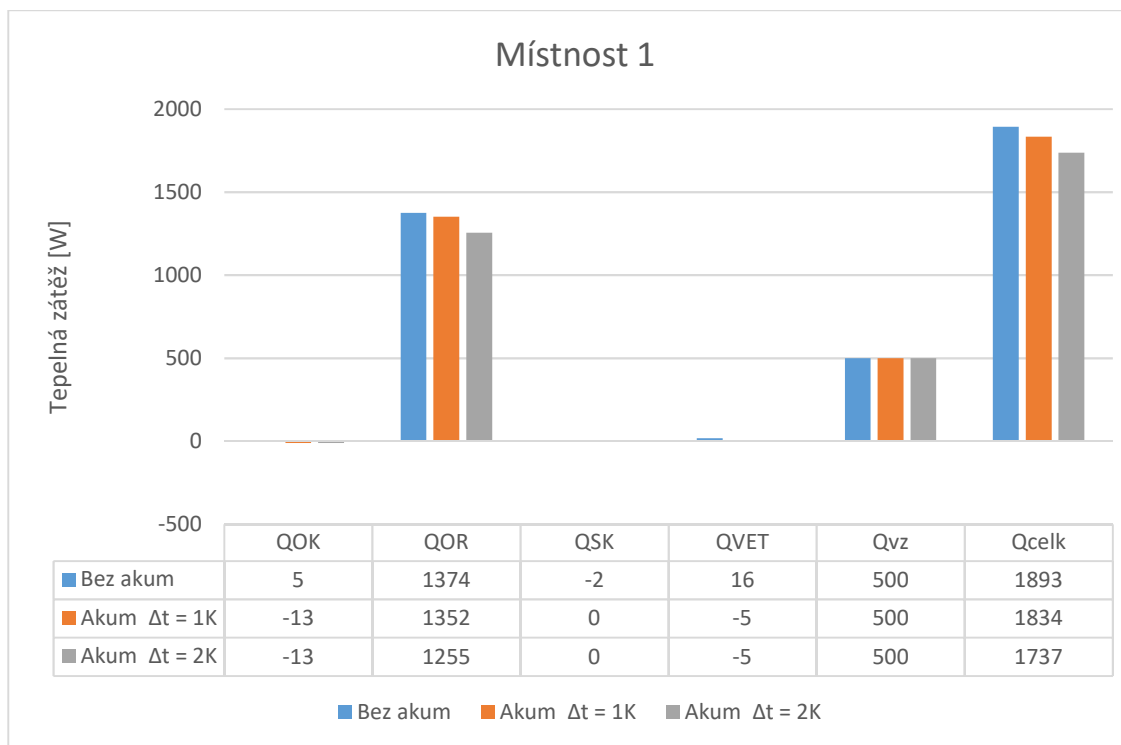


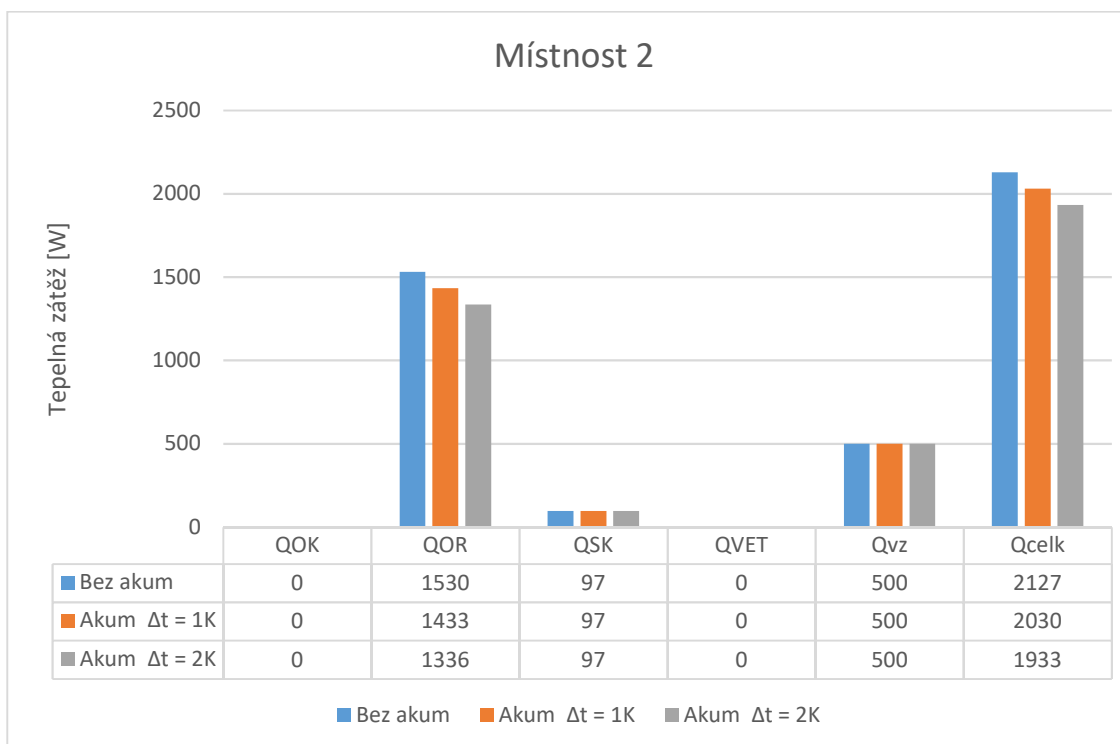
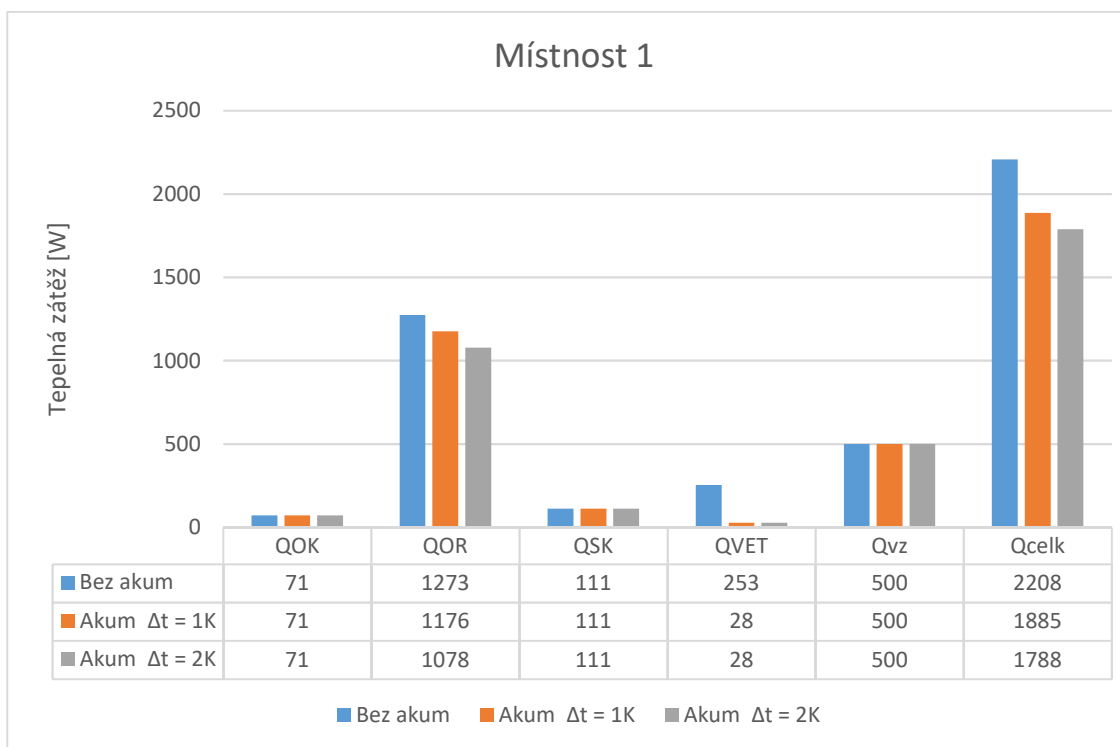
## 10. Seznam příloh na CD

<b>Označení</b>	<b>Typ</b>	<b>Název</b>
[P1]	Excel	TEP ZÁTĚŽ_1a
[P2]	Excel	TEP ZÁTĚŽ_2a
[P3]	IDA	DP_IDA_case 1a
[P4]	IDA	DP_IDA_case 2a
[P5]	Excel	Vyhodnocení výsledků
[P6]	Excel	DRYCOLD.TMY

		Case 1a							
	Room 1				Room 2				
	Orientace	180°		Jih	Orientace	0°		Sever	
	Měsíc	Datum	Čas	Q max	Měsíc	Datum	Čas	Q max	
<b>Bez akumulace</b>	Leden	25	12 h	1628	Leden	27	14 h	781	
	Únor	24	12 h	1605	Únor	23	13 h	1047	
	Březen	27	11 h	1712	Březen	25	12 h	1392	
	Duben	6	11 h	1456	Duben	19	11 h	1582	
	Květen	28	13 h	1409	Květen	28	12 h	1737	
	Červen	23	14 h	1535	Červen	21	12 h	1699	
	Červenec	2	14 h	1757	Červenec	11	13 h	1766	
	Srpen	26	12 h	1836	Srpen	2	13 h	1694	
	Září	25	13 h	1832	Září	15	12 h	1519	
	Říjen	16	13 h	1893	Říjen	1	12 h	1152	
	Listopad	25	12 h	1780	Listopad	7	12 h	944	
	Prosinec	23	12 h	1668	Prosinec	19	12 h	712	
<b>Akumulace <math>\Delta t = 1</math> K</b>	Leden	25	11 h	1831	Leden	27	14 h	684	
	Únor	24	11 h	1754	Únor	23	13 h	950	
	Březen	13	11 h	1761	Březen	25	12 h	1295	
	Duben	6	11 h	1531	Duben	19	11 h	1485	
	Květen	28	12 h	1494	Květen	28	12 h	1640	
	Červen	21	12 h	1448	Červen	21	12 h	1602	
	Červenec	11	13 h	1531	Červenec	11	13 h	1668	
	Srpen	26	11 h	1597	Srpen	2	13 h	1597	
	Září	28	12 h	1737	Září	15	12 h	1421	
	Říjen	17	12 h	1834	Říjen	1	12 h	1055	
	Listopad	25	12 h	1802	Listopad	7	12 h	846	
	Prosinec	23	12 h	1770	Prosinec	19	12 h	615	
<b>Akumulace <math>\Delta t = 2</math> K</b>	Leden	25	11 h	1734	Leden	27	14 h	587	
	Únor	24	11 h	1657	Únor	23	13 h	852	
	Březen	13	11 h	1663	Březen	25	12 h	1198	
	Duben	6	11 h	1434	Duben	19	11 h	1387	
	Květen	28	12 h	1454	Květen	28	12 h	1542	
	Červen	6	14 h	1400	Červen	21	12 h	1505	
	Červenec	11	13 h	1434	Červenec	11	13 h	1571	
	Srpen	26	11 h	1499	Srpen	2	13 h	1499	
	Září	28	12 h	1640	Září	15	12 h	1324	
	Říjen	17	12 h	1737	Říjen	1	12 h	958	
	Listopad	25	12 h	1705	Listopad	7	12 h	749	
	Prosinec	23	12 h	1673	Prosinec	19	12 h	517	

		Case 2a								
	Room 1				Room 2					
	Orientace	270°		Jih	Orientace	90°		Sever		
	Měsíc	Datum	Čas	Q max	Měsíc	Datum	Čas	Q max		
<b>Bez akumulace</b>	Leden	24	15	h	1047	Leden	24	9	h	1344
	Únor	24	16	h	1197	Únor	24	9	h	1600
	Březen	26	16	h	1822	Březen	31	8	h	1916
	Duben	26	16	h	1813	Duben	26	8	h	1968
	Květen	31	16	h	1989	Květen	21	8	h	1989
	Červen	30	16	h	2139	Červen	30	8	h	2093
	<b>Červenec</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>h</b>	<b>2208</b>	<b>Červenec</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>h</b>	<b>2127</b>
	Srpen	26	16	h	2129	Srpen	11	8	h	2050
	Září	2	16	h	2086	Září	1	8	h	1928
	Říjen	16	16	h	1743	Říjen	6	9	h	1599
	Listopad	25	15	h	1217	Listopad	30	9	h	1182
	Prosinec	23	15	h	1034	Prosinec	24	9	h	1018
<b>Akumulace <math>\Delta t = 1</math> K</b>	Leden	24	16	h	1157	Leden	24	9	h	1247
	Únor	24	16	h	1349	Únor	24	9	h	1503
	Březen	26	16	h	1679	Březen	31	8	h	1818
	Duben	26	16	h	1716	Duben	26	8	h	1871
	Květen	31	16	h	1825	Květen	21	8	h	1892
	Červen	30	16	h	1865	Červen	30	8	h	1996
	<b>Červenec</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>h</b>	<b>1885</b>	<b>Červenec</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>h</b>	<b>2030</b>
	Srpen	26	16	h	1850	Srpen	11	8	h	1953
	Září	2	16	h	1790	Září	1	8	h	1831
	Říjen	5	16	h	1631	Říjen	6	9	h	1502
	Listopad	9	16	h	1234	Listopad	30	9	h	1085
	Prosinec	23	15	h	1071	Prosinec	24	9	h	920
<b>Akumulace <math>\Delta t = 2</math> K</b>	Leden	24	16	h	1060	Leden	24	9	h	1149
	Únor	24	16	h	1252	Únor	24	9	h	1406
	Březen	26	16	h	1582	Březen	31	8	h	1721
	Duben	26	16	h	1619	Duben	26	8	h	1774
	Květen	31	16	h	1728	Květen	21	8	h	1795
	Červen	30	16	h	1768	Červen	30	8	h	1899
	<b>Červenec</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>h</b>	<b>1788</b>	<b>Červenec</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>h</b>	<b>1933</b>
	Srpen	26	16	h	1753	Srpen	11	8	h	1856
	Září	2	16	h	1693	Září	1	8	h	1734
	Říjen	5	16	h	1534	Říjen	6	9	h	1404
	Listopad	9	16	h	1137	Listopad	30	9	h	988
	Prosinec	23	15	h	974	Prosinec	24	9	h	823






Náhled výpočtových Excelů

Výpočet tepelné zátěže podle ČSN 73 0548																															
Měsíc:		M		1		Zeměpisná šířka		39,8		[°]		Teplota v místnosti t <sub>i</sub>		25		[°C]		celk. Plocha okna		2,52		Hm. Stěn k aku		1943,97		Kg					
Orientace:		J		180		Nadmořská výška		1,609		[km]		Celková prop. dif. Radiac		0,77		[W/m²]		Osluněný povrch		Sos		Δt=		K		TL Stěny		0,26			
Sklon α		90		0,85		Sluneční konstanta		1354		[W/m²]		Objem místnosti V		32,4		[m³]		Uok		3		W/m²K		K		tl. Posunutí		8 h			
Korekce na čistotu atm.		0,85		0,85								Hustota vzduchu ρ		1,2		[kg/m³]						ΔQ=		97,20		W		tl. Kolísání		0,38 -	
Světlová strana		S		SV		V		JV		JZ		Z		SZ												prosp. teplo		1,68		W/m²K	
χ °		0		45		90		135		180		225		270		315										plocha stěny		5,58		m²	
M	DM	τ	t <sub>e</sub>	a	h	δ	θ	I <sub>D</sub>	I <sub>DS</sub>	I <sub>DS</sub>	I <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>diff</sub>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	S <sub>os</sub>	Q <sub>OK</sub>	Q <sub>OR</sub>	t <sub>r</sub>	t <sub>rW</sub>	Q <sub>S</sub>	Q <sub>Vět</sub>	Q <sub>OR,aku</sub>	Q <sub>SK</sub>	t	z	t <sub>rm</sub>	Q <sub>ORmax</sub>	Q <sub>ORm</sub>	
[h]	[h]	[h]	[°C]	[h]	[h]	[h]	[h]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[h]	[W/m²]	[W/m²]	[m]	[m]	[m²]	[MJ]	[MJ]	[°C]	[°C]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[h]	[h]	[h]	[MJ]	[MJ]	
1	1	1	0	41,55	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	0	0	-189	0	0,0	7,6	-126	-12	0	-327	17	3	11,7	1573	799,9	
1	1	2	0	65,48	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	0	0	-189	0	0,0	5,6	-127	-12	0	-328	18	3	11,7	1573	799,9	
1	1	3	0	79,87	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	0	0	-189	0	0,0	2,8	-128	-12	0	-329	19	3	11,7	1573	799,9	
1	1	4	0	89,59	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	0	0	-189	0	0,0	2,2	-128	-12	0	-329	20	3	11,7	1573	799,9	
1	1	5	0	99,44	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	0	0	-189	0	0,0	1,7	-128	-12	0	-329	21	3	11,7	1573	799,9	
1	1	6	0	108,07	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	0	0	-189	0	0,0	0,6	-129	-12	0	-330	22	3	11,7	1573	799,9	
1	1	7	3,3	116,99	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	0	0	-164	0	3,3	0,0	-129	-64	0	-357	23	3	11,7	1573	799,9	
1	1	8	2,2	126,74	5,9	-23,01	53,49	2	1	12	13	0,72	10	9	3	-172	22	2,7	-172	22	2,7	-130	-68	0	130	24	3	11,7	1573	799,9	
1	1	9	3,3	137,77	14,5	-23,01	44,20	68	49	149	197	0,76	151	114	3	-164	324	11,2	0,0	0,0	0,0	-129	-64	0	143	1	3	11,7	1573	799,9	
1	1	10	7,2	150,41	21,2	-23,01	35,85	16	13	193	206	0,77	158	148	3	-135	339	15,4	0,0	0,0	0,0	-129	-53	0	184	2	3	11,7	1573	799,9	
1	1	11	7,8	164,68	25,6	-23,01	29,61	746	649	154	802	0,78	624	118	3	-130	1336	39,9	0,0	0,0	0,0	-129	-51	0	190	3	3	11,7	1573	799,9	
1	1	12	8,9	180,00	27,2	-23,01	27,19	933	830	111	941	0,78	734	85	3	-122	1573	46,5	0,0	0,0	0,0	-129	-48	1476	1678	4	3	11,7	1573	799,9	
1	1	13	9,4	195,32	25,6	-23,01	29,61	940	817	68	886	0,78	690	53	3	-118	1477	44,8	0,0	0,0	0,0	-129	-46	0	207	5	3	11,7	1573	799,9	
1	1	14	10,6	209,59	21,2	-23,01	35,85	935	758	31	789	0,77	698	24	3	-109	1303	42,1	0,0	0,0	0,0	-129	-43	0	220	6	3	11,7	1573	799,9	
1	1	15	10	222,23	14,5	-23,01	44,20	826	592	7	599	0,76	453	5	3	-113	970	34,0	3,3	3,3	-127	-44	0	215	7	3	11,7	1573	799,9		
1	1	16	9,4	233,26	5,9	-23,01	53,49	671	399	0	399	0,72	286	0	3	-118	613	25,4	2,7	2,7	-128	-46	0	208	8	3	11,7	1573	799,9		
1	1	17	6,7	243,01	0,0	-23,01	0,00	79	0	22	22	0,79	17	17	0	-138	43	7,6	11,2	11,2	-124	-54	0	-317	9	3	11,7	1573	799,9		
1	1	18	5,6	251,93	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-147	0	5,6	15,4	15,4	-123	-10	0	-279	10	3	11,7	1573	799,9		
1	1	19	2,8	260,56	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-168	0	2,8	39,9	39,9	-113	-11	0	-292	11	3	11,7	1573	799,9		
1	1	20	2,2	269,59	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-172	0	2,2	46,5	46,5	-111	-11	0	-295	12	3	11,7	1573	799,9		
1	1	21	1,7	280,13	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-176	0	1,7	44,8	44,8	-112	-11	0	-299	13	3	11,7	1573	799,9		
1	1	22	0,6	294,52	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-184	0	0,6	42,1	42,1	-113	-12	0	-309	14	3	11,7	1573	799,9		
1	1	23	0	318,45	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-189	0	0,0	34,0	34,0	-116	-12	0	-317	15	3	11,7	1573	799,9		
1	1	24	-4,4	360,00	0,0	-23,01	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-222	0	-4,4	25,4	25,4	-119	-15	0	-356	16	3	11,7	1573	799,9		
1	2	1	-5,6	13,79	0,0	-22,93	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-231	0	-5,6	-17,0	-17,0	-356	-15	0	-602	17	3	-12,8	208	122,9		
1	2	2	-7,2	27,42	0,0	-22,93	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-243	0	-7,2	-17,8	-17,8	-356	-16	0	-615	18	3	-12,8	208	122,9		
1	2	3	-8,9	40,63	0,0	-22,93	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-256	0	-8,9	-17,8	-17,8	-356	-17	0	-629	19	3	-12,8	208	122,9		
1	2	4	-9,4	52,90	0,0	-22,93	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-260	0	-9,4	-18,3	-18,3	-356	-17	0	-633	20	3	-12,8	208	122,9		
1	2	5	-10,6	62,82	0,0	-22,93	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-269	0	-10,6	-18,3	-18,3	-356	-18	0	-643	21	3	-12,8	208	122,9		
1	2	6	-11,7	67,07	0,0	-22,93	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-277	0	-11,7	-18,9	-18,9	-356	-18	0	-652	22	3	-12,8	208	122,9		
1	2	7	-12,2	117,18	0,0	-22,93	0,00	0	0	0	0	0,79	0	0	0	-281	0	-12,2	-19,4	-19,4	-357	-110	0	-748	23	3	-12,8	208	122,9		
1	2	8	-12,2	126,68	6,0	-22,93	53,55	0	0	5	5	0,72	4	4	0	-281	10	-12,0	-18,9	-18,9	-356	-110	0	-748	24	3	-12,8	208	122,9		
1	2	9	-12,8	137,72	14,5	-22,93	44,26	3	2	44	47	0,76	36	34	3	-286	77	-10,9	-5,6	-5,6	-351	-112	0	-749	1	3	-12,8	208	122,9		

DP\_IDA\_case 1a: D:\Dokumenty\OneDrive\Diplomová práce\DP\_IDA\_case 1a.idm (Cooling-Report)



**EQUA**  
SIMULATION TECHNOLOGY GROUP

## Cooling Load Report

Project		Building	
Customer		Model floor area	28.5 m <sup>2</sup>
Created by	Hai Nguyen Dac	Model volume	77.0 m <sup>3</sup>
Location	Denver (Int. Airport)_725650 (ASHRAE 2013)	Model ground area	0.0 m <sup>2</sup>
Climate file	DRYCOLDTMY	Model envelope area	16.2 m <sup>2</sup>
Case	DP_IDA_case 1a	Window/Envelope	31.1 %
Simulated	10. 6. 2018 16:13:18	Average U-value	1.262 W/(m <sup>2</sup> K)
		Envelope area per Volume	0.2105 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

### Zone Cooling Loads

Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat removed*, W	Time	Room unit cool, W	Dry vent cool**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
r1	1	12.0	1336.0	17 Oct 15:10	1393.0	1388.0	25.0	26.0
Chodba	1	4.5	272.8	01 Oct 07:19	0.0	520.6	20.0	10.9
r2	1	12.0	744.3	02 Jul 11:06	986.5	1388.0	25.0	25.8

\* Maximum heat (incl. latent) removed by air and room units  
 \*\* Maximum sensible heat removed by mechanical supply air

### Air Handling Unit Cooling Loads

Air Handling Unit	Cooling*, W	Time	AHU cold recovery, W
AHU	0.0		0.0

\* Total (sensible and latent) coil load


### Total for Building

	Max., kW	Time
Zone cooling	2.2	
AHU cooling	0.0	
Total	2.2	02 Sep 14:38

[+ Click to show zone level diagrams](#)

**IDA Indoor Climate and Energy**  
 Version: 4.8  
 License: IDA40:ICE40X:ED181/F4N8G (educational license)

DP\_IDA\_case 2a: D:\Dokumenty\OneDrive\Diplomová práce\DP\_IDA\_case 2a.idm (Cooling-Report)



**EQUA**  
SIMULATION TECHNOLOGY GROUP

## Cooling Load Report

Project		Building	
Customer		Model floor area	28.5 m <sup>2</sup>
Created by	Hai Nguyen Dac	Model volume	77.0 m <sup>3</sup>
Location	Denver (Int. Airport)_725650 (ASHRAE 2013)	Model ground area	0.0 m <sup>2</sup>
Climate file	DRYCOLDTMY	Model envelope area	16.2 m <sup>2</sup>
Case	DP_IDA_case 2a	Window/Envelope	31.1 %
Simulated	9. 6. 2018 22:34:08	Average U-value	1.655 W/(m <sup>2</sup> K)
		Envelope area per Volume	0.2105 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

### Zone Cooling Loads

Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat removed*, W	Time	Room unit cool, W	Dry vent cool**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
r2	1	12.0	1470.0	02 Jul 10:40	1606.0	1388.0	25.0	26.0
Chodba	1	4.5	276.4	01 Oct 07:19	0.0	520.7	21.9	10.8
r1	1	12.0	1254.0	02 Jul 07:20	1445.0	1388.0	25.3	26.8

\* Maximum heat (incl. latent) removed by air and room units  
 \*\* Maximum sensible heat removed by mechanical supply air

### Air Handling Unit Cooling Loads

Air Handling Unit	Cooling*, W	Time	AHU cold recovery, W
AHU	0.0		0.0

\* Total (sensible and latent) coil load

### Total for Building

	Max., kW	Time
Zone cooling	2.8	
AHU cooling	0.0	
Total	2.8	02 Jul 11:03

[+ Click to show zone level diagrams](#)

**IDA Indoor Climate and Energy**  
 Version: 4.8  
 License: IDA40:1CE40X:ED181/F4N8G (educational license)