

Studie vlivu tepelné akumulace budovy na spotřebu energie na vytápění

Bc. Miriama Novosadová

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miriama Novosadová**
Osobní číslo: **A13458**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Studie vlivu tepelné akumulace budovy na spotřebu energie na vytápění**

Téma anglicky: **A Study of the Impacts of Thermal Accumulation in a Building on Energy Consumption for Heating**

Zásady pro vypracování:

1. Uveďte požadavky na budovy z hlediska vnitřních podmínek, tepelné stability a spotřeby energie.
2. Formulujte možnosti řešení pro zvýšení tepelně akumulačních schopností budov.
3. Uveďte výpočtové metody pro výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení v ročním průběhu.
4. Navrhněte možnosti řešení problematiky na základě simulačních metod a vhodné metody popište.
5. Na modelové budově s různými akumulačními vlastnostmi s použitím vhodné simulační metody stanovte spotřebu energie na vytápění a chlazení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **ASHRAE HANDBOOK**. Díl 1-4. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1791 Tuttle Circle, N.E., Atlanta, GA 30 329. ISBN 1-931862-73-7. ISSN 1549-2370.
2. **RECKNAGEL-SPRENGER-SCHRAMEK-Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik**. Ouldenbourg Verlag GmbH, Munchen, 2003. ISBN 3-8356-3104-7.
3. Platné ČSN řada 06, 07, 34, 35, 36, 37, 38, 73, 74, 83, 91.
4. **CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol.: Větrání a klimatizace**. Technický průvodce. ČMT Praha 1993. ISBN 80-901574-0-8.
5. **VALENTA, V. a kol.: TOPENÁŘSKÁ PŘÍRUČKA 1, 2, 3**. Agentura ČSTZ, Praha 2007. ISBN 978-80-86028-13-2.
6. **ŘEHÁNEK, Jaroslav. Tepelná akumulace budov**. 1. vyd. : Praha: informační centrum ČKA T, 2002, 276 s. SBN 80-863-6459-3.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Zálešák, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

27. února 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

20. května 2015

Ve Zlíně dne 27. února 2015



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cieľom diplomovej práce je oboznámenie sa s problematikou vplyvu akumulčných schopností budov na spotrebu energie pre vykurovanie a chladenie. Teoretická časť sa zaoberá prenosom tepla v stavebných konštrukciách, parametrami vnútorného prostredia, tepelnou stabilitou miestnosti v letnom a zimnom období, výpočtovými metódami pre určenie spotreby energie, možnosťami zvýšením akumulčných parametrov budov. V praktickej časti diplomovej práce sa nachádza popis modelovej budovy, pre ktorú boli vypočítané spotreby energie pre vykurovanie a chladenie. Stanovená bola taktiež náročnosť budovy pre konkrétnu budovu a pre budovu s pridaním akumulčných materiálov PCM.

Kľúčové slova: akumulácia budovy, vykurovanie, chladenie, PCMs, energetická simulácia

ABSTRACT

The purpose of this thesis is acquaintance with the issue of the impact of the accumulation ability of buildings to energy consumption for heating and cooling systems. The theoretical part emerges with the transfer of heat in the building constructions, the indoor environment parameters, thermal stability temperature in summer and winter time, calculation methods for determining energy consumption, the possibility of increased accumulation parameters buildings. In the practical part there is a description of a model building for which were calculated energy consumption for heating and cooling. Specified complexity was also building for the specific building and for the building with the addition of PCM accumulation materials.

Keywords: building accumulation, heating system, cooling system, Phase Change Materials, energy simulation

Na tomto mieste by som chcela poďakovať vedúcemu mojej diplomovej práce, pánovi Ing. Martinovi Zálešákovi, Csc, za odborné vedenie pri spracovaní diplomovej práce. Taktiež by som sa chcela poďakovať Ing. Pavlovi Drábkovi za rady a cenné pripomienky pri zostavovaní práce.

Ďakujem taktiež aj môjmu otcovi, ktorý ma podporoval po celú dobu štúdia na vysokej škole.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČASŤ	11
1 PRENOS TEPLA V STAVEBNÝCH KONŠTRUKCIACH	12
1.1 VEDENIE TEPLA	12
1.1.1 Stacionárne vedenie tepla.....	12
1.2 PRÚDENIE TEPLA	13
1.2.1 Súčiniteľ prestupu tepla pri voľnom prúdení	13
1.2.2 Súčiniteľ prestupu tepla pri nútenom prúdení.....	15
1.3 SÁLANIE TEPLA	15
1.3.1 Zákony sálania	16
1.3.2 Výmena tepla sálaním	18
1.3.3 Prestup tepla pri sálaní	19
1.4 PRESTUP TEPLA NA VNÚTORNEJ A VONKAJŠEJ STRANE KONŠTRUKCIE A ODPOR PRESTUPU TEPLA NA VNÚTORNEJ A VONKAJŠEJ STRANE KONŠTRUKCIE.....	19
1.5 ŠÍRENIE TEPLA VO VZDUCHOVEJ VRSTVE	21
2 VNÚTORNÉ PROSTREDIE	22
2.1 TEPELNÁ POHODA	22
2.1.1 Teplota vzduchu	23
2.1.2 Operatívna teplota	23
2.1.3 Rýchlosť prúdenia vzduchu	24
2.1.4 Vlhkosť vzduchu	24
2.1.5 PMV a PDD	25
3 TEPELNÁ STABILITA	26
3.1 TEPELNÁ STABILITA V LETNOM OBDOBÍ	26
3.1.1 Najvyšší denný vzostup teploty vzduchu v miestnosti.....	27
3.2 TEPELNÁ STABILITA V ZIMNOM OBDOBÍ	28
3.3 KRITICKÁ MIESTNOSŤ.....	29
4 ENERGETICKÁ NÁROČNOSŤ BUDOVY	31
4.1 POŽIADAVKY NA ENERGETICKÚ NÁROČNOSŤ BUDOVY	31
4.2 METÓDY STANOVENIA ENERGETICKEJ NÁROČNOSTI BUDOVY	32
4.3 PREUKAZ ENERGETICKEJ NÁROČNOSTI BUDOVY	33
4.4 CELKOVÁ ROČNÁ DODANÁ ENERGIA	34
4.5 POTREBA ENERGIE PRE VYKUROVANIE A CHLADENIE.....	35
4.5.1 Potreba energie pre vykurovanie.....	35
4.5.2 Potreba energie pre chladenie	36
4.6 TEPELNÉ ZISKY PRE REŽIM VYKUROVANIA A CHLADENIA	36
4.6.1 Vnútorne tepelné zisky.....	36
4.6.2 Slnéčné tepelné zisky	37
4.7 DODANÁ ENERGIA	37
4.7.1 Dodaná energia na vykurovanie.....	37
4.7.2 Dodaná energia na chladenie a odvlhčenie	38

5	ZVÝŠENIE TEPELNE AKUMULAČNÝCH SCHOPNOSTÍ BUDOV	39
5.1	AKUMULÁCIA CITELNÉHO TEPLA	39
5.2	AKUMULÁCIA SKUPENSKÉHO TEPLA	40
5.3	TERMOCHEMICKÁ AKUMULÁCIA TEPLA	41
5.4	AKUMULÁCIA TEPLA ZMENOU SKUPENSTVA	41
5.4.1	Organické zlúčeniny.....	41
5.4.2	Hydráty solí.....	42
5.5	SKUPENSTVO MENIACE MATERIÁLY PCM V LAHKÝCH KONŠTRUKCIÁCH	42
5.6	INTEGRÁCIA PCM V STAVEBNÝCH KONŠTRUKCIÁCH.....	43
6	SIMULÁCIE BUDOV V TECHNIKE PORSTREDIA.....	44
6.1	ENERGYPLUS	44
6.2	DESINGBUILDER	44
6.3	SOLIDWORKS.....	45
6.3.1	FlowSimulation.....	45
6.4	TRNSYS.....	45
6.5	FEMLAB.....	46
II	PRAKTICKÁ ČASŤ	48
7	MODELOVÁ BUDOVA.....	49
7.1	POPIS OBJEKTU	49
7.1.1	Prvé nadzemné podlažie.....	49
7.1.2	Druhé nadzemné podlažie.....	51
7.1.3	Vytvorenie modelu.....	52
7.1.4	Vykurovanie objektu.....	52
8	STANOVENIE PARAMETROV OBJEKTU	55
8.1	OKRAJOVÉ PODMIENKY	55
8.2	STANOVENIE SÚČINITELU PRESTUPU TEPLA.....	55
8.3	POSÚDENIE KONŠTRUKCIÍ.....	55
8.4	ENERGETICKÝ ŠTÍTOK BUDOVY, ENERGETICKÝ ŠTÍTOK OBÁLKY BUDOVY	57
8.5	TEPELNÉ STRATY.....	58
9	URČENIE TEPELNEJ STABILITY	60
9.1	TEPELNÁ STABILITA MIESTNOSTI V ZIMNOM OBDOBÍ	60
9.1.1	Časová konštanta.....	62
9.2	TEPELNÁ STABILITA MIESTNOSTI V LETNOM OBDOBÍ	63
10	SPOTREBA ENRGIE V MODELOVEJ BUDOVE.....	66
10.1	VNÚTORNÁ TEPELNÁ KAPACITA	68
10.2	SPOTREBA ENERGIE PRE BUDOVU LAHKÝMI OBVODOVÝMI KONŠTRUKCIAMI	69
10.3	SPOTREBA ENERGIE PRE BUDOVU S POUŽITÝMI PCM MATERIÁLMI.....	71
10.4	ZÁVEREČNÉ POROVNANIE SPOTREBY ENERGIE.....	72
	ZÁVER	74
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	75
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A ZKRATIEK	77
	ZOZNAM OBRÁZKOV	79

ZOZNAM TABULIEK	80
ZOZNAM PRÍLOH.....	81

ÚVOD

Súčasný rozvoj spoločnosti je charakterizovaný zvyšujúcimi sa nákladmi na energiu. Dosiahnuť optimálnu spotrebu energie je dnes nie len ekonomickým cieľom, ale o tento cieľ sa snažia aj užívatelia bytov a rodinných domov.

Čoraz populárnejšie sú drevostavby s ľahkými montovanými konštrukciami, u ktorých nemožno extrémnych hodnôt tepelnej akumulácie obvodových stien ľahko doceliť. Pri nízkoenergetickej výstavbe sú dôležité správne nadimenzované presklené plochy, ktoré majú byť orientované na juh. Správne využívanie slnečnej energie je podmienené akumuláciou okolitých stavebných konštrukcií. Akumulačná schopnosť materiálu skladby konštrukcie je dôležitá. V obytnej stavbe s dobrou akumuláciou sa pri vykurovaní časť tepla uloží do podláh, stien, strop a následne sa toto teplo postupne uvoľňuje do interiéru. Teplo akumulované v stavebnej konštrukcii vytvára priaznivejšiu klímu vo vnútornom priestore aj v lete aj v zime. V lete dokáže zabrániť prehriatiu, v zime rýchlemu vychladnutiu. Na zvýšenie akumulačnej schopnosti budov sa dnes používajú čoraz populárnejšie PCM materiály, ktoré svojou schopnosťou akumulovať teplo priaznivo vplyvajú na vnútorný stav prostredia.

Požiadavky na tepelnotechnické parametre domov na bývanie sa stále zvyšujú. Rozhodujúcim parametrom energetickej spotreby budovy je spotreba energie na vykurovanie, ktorá predstavuje množstvo energie, ktoré je potrebné priviesť na pokrytie tepelných strát prestupom a vetraním.

Diplomová práca sa teda v teoretickej časti bude zaoberať parametrami vnútorného prostredia, spôsobom prenosu energie v stavebných konštrukciách, zvýšením akumulačných schopností obalových konštrukcií. Teoretická časť sa zaoberá aj energetickou náročnosťou budovy, spotrebou energie pre budovu a simulačnými prostrediami.

V praktickej časti boli stanovené tepelnotechnické parametre budovy, stabilita v letnom a zimnom období a na záver bola určená výpočtovým modelom spotreba energie pre vykurovanie a chladenie.

Cieľom práce je stanovenie spotreby energie na vykurovanie a chladenie v modelovej budove. Výsledky sú len teoretické, keďže neprebehlo skutočné meranie v objekte.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 PRENOS TEPLA V STAVEBNÝCH KONŠTRUKCIACH

Prenos tepla spôsobuje tepelné straty alebo tepelné zisky v budovách. Tento prenos má tri základné typy, t.j. vedenie, prúdenie a sálanie.

1.1 Vedenie tepla

Vedenie tepla je prenos energie z jednej látky na druhú látku, ktorá je s ňou v kontakte, pri ktorej nedochádza k znateľnému premiestneniu častíc tvoriace dané látku. Jednotlivé častice oscilujú okolo svojich rovnovážnych polôh a spôsobujú tiež osciláciu svojich susedov. Vďaka tomuto kolektívnemu oscilačnému pohybu môže byť uskutočnený prenos energie kondukciou. Prírodný tok tepla smeruje od miest s vyššou teplotou k miestam s nižšou teplotou.

1.1.1 Stacionárne vedenie tepla

Stacionárne vedenie tepla nastáva vtedy, keď sa teplota v danom mieste a čase nemení. Vedenie tepla popisuje Furierov zákon

$$q = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \quad (1.1)$$

q - vyjadruje množstvo tepla v J prejdeho jednotkou plochy, kolmo na smer prúdenia za jednotku času a nazýva sa hustota tepelného toku. Vzhľadom k tomu, že množstvo tepla prejdeho za jednotku času je výkon, možno hustotu tepelného toku vyjadriť v ($W.m^2$)

Teplotný gradient $\frac{dt}{dx}$ označuje pomer prírastku teploty dt k vzdialenosti dx medzi izotermnými plochami v smere rovnováhy. Izotermná plocha je geometrické miesto s rovnakou teplotou. Gradient v smere poklesu teploty t sa označuje záporným znamienkom a nazýva sa teplotný spád. Záporné znamienko v rovnici 1.1 vyplýva z toho, že tepelný tok prúdi proti smere teplotného gradientu.

Súčiniteľ tepelnej vodivosti materiálu dosky λ , charakterizuje teplotnú vodivosť danej látky. Tepelná vodivosť je schopnosť látky viesť teplo.

Tepelný odpor R v $m^2.K.W^{-1}$ vyjadruje tepelnoizolačné vlastnosti materiálu. Je priamo závislý od hrúbky materiálu a súčiniteľa tepelnej vodivosti λ . Celkový tepelný odpor sta-

vebnej konštrukcie je vyjadrený súčtom tepelných odporov jednotlivých vrstiev použitých materiálov. [1]

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (1.2)$$

1.2 Prúdenie tepla

Prúdením sa teplo šíri v kvapalných a plynných látkach tak, že častice jednotlivých látok sa pohybujú a zároveň prenášajú teplo. Vzduch, ktorý prúdi okolo povrchu konštrukcie, vytvorí oblasť tzv. vonkajšieho prúdenia a oblasť, v ktorej sa v dôsledku viskozity vzduchu mení rýchlosť prúdu spojitou od nulovej hodnoty na povrchu telesa až do rýchlosti vonkajšieho prúdu. Táto oblasť sa nazýva medzná vrstva, v ktorej sa vzduch pohybuje laminárne aj turbulentne.

1.2.1 Súčiniteľ prestupu tepla pri voľnom prúdení

Pri stanovovaní súčiniteľa prestupu tepla pri voľnom prúdení sa rozlišuje zvislá, vodorovná a šikmá plocha konštrukcie. Pre súčiniteľ prestupu tepla pri voľnom prúdení pozdĺž zvislej konštrukcie v neohraničenom priestore platí empirická rovnica:

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \quad (1.3)$$

kde c, n konštanty stanovené experimentálne

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot h}{\lambda} \quad (1.4)$$

kde Nu Nusseltovo číslo

α_k súčiniteľ prestupu tepla pri voľnom prúdení [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

h určujúci rozmer teplosmenej plochy m

λ tepelná vodivosť $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot h^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \quad (1.5)$$

kde Gr Grashofovo číslo

β súčiniteľ teplotnej rozťažnosti K^{-1}

g tiažové zrýchlenie $g=9,81 \text{ms}^{-2}$

Δt rozdiel teploty vzduchu a povrchu konštrukcie K

ν kinetická viskozita $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad (1.6)$$

kde Pr Prandtlovo číslo

a teplotná vodivosť $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Konštanty c , n závisia na druhu a intenzite prúdenia. V tepelnej technike budov sa najčastejšie uplatňujú hodnoty: $c = 0,135$ a $n = 1/3$. Dosadením týchto hodnôt do vzťahu 1.3 a tiež hodnôt príslušných veličín do Nusseltovoho, Gaashofovoho a Prandtlovehoho čísla, môžeme vyjadriť súčiniteľ prestupu tepla v tvare:

$$\alpha_k = 1,73 \cdot (t_1 - t_2)^{1/3} \quad (1.7)$$

kde číselná hodnota 1,73 predstavuje súhrn všetkých číselných hodnôt dosadených do vzťahu 1.3 pri určujúcej teplote $t_{ur} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Ak je určujúca teplota $t \neq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$, majú fyzikálne veličiny dosadzované do podobnostných čísel Nu, Gr, Pr iné hodnoty, tak aj ich súhrnná hodnota bude iná než 1,73. Táto iná hodnota sa zistí, v závislosti na určujúcu teplotu t_{ur} z tab. 1, kde K_I je odpovedajúci činiteľ korekcie.

Tabuľka 1 Činiteľ korekcie K_I v závislosti na určujúcej teplote t_{ur}

$t_{ur} \text{ (} ^\circ\text{C)}$	-30	-20	-10	0	10	20	30	50
K_I	1,87	1,82	1,77	1,73	1,68	1,64	1,61	1,54

Určujúca teplota sa obvykle stanovuje ako aritmetický priemer teplôt na povrchu konštrukcie a vzduchu:

$$t_{ur} = 0,5 \cdot (t_1 + t_2) \quad (1.8)$$

U vodorovných konštrukcií sa môže stanoviť súčiniteľ prestupu tepla pri voľnom prúdení zo vzťahu platného pre zvislé konštrukcie, avšak s určitou korekciou. Tá závisí na smere tepelného toku.

Ak ide o šikmé konštrukcie, tak rozhoduje sklon konštrukcie. U šikmých konštrukcií so sklonom 45° a väčším voči vodorovnej rovine sa môže súčiniteľ prestupu tepla stanoviť podľa vzťahu platného pre zvislé konštrukcie. Pre konštrukcie so sklonom menším ako 45° voči vodorovnej rovine sa stanovuje súčiniteľ prestupu lineárnou interpoláciou medzi hodnotou stanovenou pre vodorovné a zvislé konštrukcie.

1.2.2 Súčiniteľ prestupu tepla pri nútenom prúdení

Podobne, ako v prípade voľného prúdenia, bola odvodená empirická rovnica pre stanovenie súčiniteľa prestupu tepla pri nútenom prúdení v tvare:

$$Nu = c \cdot Re^n \quad (1.9)$$

$$Re = \frac{v \cdot h}{\nu} \quad (1.10)$$

kde Re Reynoldsovo číslo
 v rýchlosť prúdenia m.s-1
 h dĺžka obtekanej plochy m
 c, n konštanty stanovené experimentálne

Konštanty c a n závisia na druhu prúdenia. V tepelnej technike sa obvykle uvažuje turbulentné prúdenie s hodnotami konštant: $c = 0,032$, $n = 0,8$. Po ich dosadení do vzťahu 1.6 sa získa vzťah pre výpočet súčiniteľa prestupu tepla pri nútenom prúdení vzduchu:

$$\alpha_k = 6,22 \cdot \frac{\nu^{0,8}}{h^{0,2}} \quad (1.11)$$

kde číselná konštanta $K_2 = 6,22$ predstavuje činiteľa korekcie zahrnujúceho hodnotu tepelnej vodivosti a kinetickej viskozity platnej pri určujúcej teplote $t_{ur} = 0$ °C. Pre iné hodnoty určujúcej teploty než 0 °C je činiteľ korekcie K_2 v tab. 2.

Tabuľka 2 Činiteľ korekcie K_2 v závislosti na určujúcej teplote t_{ur}

t_{ur} (°C)	-30	-20	-10	0	10	20	30	50
K_2	6,62	6,48	6,35	6,22	6,08	5,97	5,87	5,67

Pri menšej rýchlosti prúdenia vzduchu než 5 m.s-1 možno použiť zjednodušený vzťah:

$$\alpha_k = 4,36 + 3,55 \cdot v \quad (1.12)$$

1.3 Sálanie tepla

Sálaním sa označuje elektromagnetické žiarenie, ktoré je vysielané z povrchu nepriepustného telesa alebo zvnútra polopriepustného prostredia. Šírenie tepla sálaním je výmena energie medzi navzájom oddelenými telesami prostredníctvom elektromagnetických vln.

Táto výmena sa uskutočňuje, keď sú telesá navzájom oddelené vákuom, priepustným alebo polopriepustným prostredím. Pri hodnotení tejto výmeny zároveň treba poznať, akým spôsobom nepriepustné telesá vysielajú, pohlcujú a prepúšťajú žiarenie v závislosti od ich vlastností, vzájomnej polohy a teploty. Tepelným sálaním sa rozumie žiarenie v rozsahu vlnových dĺžok od 100 nm do 105 nm, t.j. v infračervenej časti spektra.

Sálavý tok Q dopadajúci na povrch nejakého telesa sa môže rozdeliť na časť Q_R , ktorá sa odrazí od jeho povrchu, časť Q_A , ktorá môže byť telesom pohltená a časť Q_T , ktorá môže telesom prejsť. V dôsledku energetickej rovnováhy platí:

$$Q = Q_R + Q_A + Q_T \quad (1.13)$$

alebo v pomere

$$\frac{Q_R}{Q} + \frac{Q_A}{Q} + \frac{Q_T}{Q} = 1 \quad (1.14)$$

alebo

$$R + A + T = 1 \quad (1.15)$$

kde R odrazivosť, t.j. podiel odrážaného sálania a dopadajúceho sálania

A pohltivosť, t.j. podiel pohlteneho sálania a dopadajúceho sálania

T priepustnosť, t.j. podiel prepusteného sálania a dopadajúceho sálania

Zo vzťahu 1.12 sa odvodzujú ideálne telesá vzhľadom k sálaniu. Ak je $A = 1$ a zároveň $R = T = 0$, potom to znamená, že teleso pohltí všetku sálavú energiu, ktorá na neho dopadá. Takéto teleso sa nazýva dokonale čierne teleso alebo dokonalý Planckov žiarič. Ak je $R = 1$ a zároveň $A = T = 0$, potom to znamená, že teleso odrazí všetku sálavú energiu, ktorá na neho dopadá. Takéto teleso sa nazýva dokonale biele teleso. Ak je $T = 1$ a zároveň $R = A = 0$, potom to znamená, že teleso prepustí všetku sálavú energiu, ktorá na neho dopadá. Takéto teleso sa nazýva dokonale priepustné.

1.3.1 Zákony sálania

Z ideálnych telies je najdôležitejšie dokonale čierne teleso, pre ktoré boli odvodené základné zákony žiarenia. Všetky veličiny vzťahnuté na dokonale čierne teleso sa označujú indexom „0“.

Planckov zákon vyjadruje závislosť spektrálnej intenzity sálania dokonale čierneho telesa $I_{\lambda,0}$ na dĺžke vlny λ a termodynamickú teplotu T . Z Planckovho zákona vyplýva, že s rastú-

cou teplotou sa maximálna hodnota $I_{\lambda,0}$ posúva ku kratším vlnovým dĺžkam. Táto závislosť sa nazýva Wienov zákon posuvu:

$$\lambda_m \cdot T = 2,9 \text{ mm} \cdot K \quad (1.16)$$

Vyplýva z nej, že dĺžka vlny λ_m , pri ktorej vysiela dokonale čierne teleso maximum intenzity sálania, je nepriamo úmerné termodynamickému teplote T .

Stefanov-Boltzmannov zákon vyjadruje plošnú sálavosť E_0 dokonale čierneho telesa:

$$E_0 = C_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (1.17)$$

kde C_0 súčiniteľ sálania dokonale čierneho telesa

$$C_0 = \sigma \cdot 10^8 = 5,669 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$

σ Boltzmannova konštanta

$$\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4} \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$

Stefanov-Boltzmannov zákon platí aj pre sálanie skutočných, šedých telies:

$$E = C \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (1.18)$$

kde C súčiniteľ skutočného telesa $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

Vzťah medzi sálaním dokonale čierneho telesa a sálaním skutočného šedého telesa vyjadruje, pri rovnakej teplote oboch telies Kirchhoffov zákon:

$$E = A \cdot E_0 \quad (1.19)$$

$$C = A \cdot C_0 \quad (1.20)$$

Podiel plošnej sálavosti skutočného telesa E a dokonale čierneho telesa E_0 sa nazýva emisivita t.j. sálavosť telesa:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0} \quad (1.21)$$

Vzťah 1.18 platí pre celkové (integrálne) sálanie. Pre monochromatické sálanie, t.j. sálanie uskutočňované pri vlnovej dĺžke λ , sa emisivita označuje ε_λ . Pre šedé telesá platí $\varepsilon = \varepsilon_\lambda$. Emisivita je fyzikálna veličina, ktorá určuje schopnosť telesa vyžarovať alebo pohlcovať sálanie. Stanovuje sa experimentálne a pre nepriesvitné telesá je emisivita rovná pohltivosti, t.j. $\varepsilon = A$.

1.3.2 Výmena tepla sálaním

Pre výmenu tepla sálaním medzi dvoma vzájomne osáľavanými telesami platia vzťahy:

$$Q_{12} = C_{vs} \cdot A_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi_{12} \quad (1.22)$$

$$Q_{21} = C_{vs} \cdot A_2 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi_{21} \quad (1.23)$$

kde Q_{12} sáľavý tok z telesa 1 na teleso 2 [W]

Q_{21} sáľavý tok z telesa 2 na teleso 1 [W]

A_1, A_2 príslušné plochy telesa 1 a 2 [m²]

T_1, T_2 termodynamická teplota telesa 1 a 2 [K]

φ_{12} osáľanie telesa medzi telesami 1 a 2

φ_{21} osáľanie telesa medzi telesami 2 a 1

C_{vs} súčiniteľ vzájomného sáľania medzi plochami A_1, A_2 [Wm⁻²K⁻⁴]

Súčiniteľ vzájomného sáľania C_{vs} závisí na súčiniteľoch sáľania jednotlivých telies, na ich vzájomnej polohe a na veľkosti vzájomne osáľavaných plôch. Najjednoduchší prípad nastane, keď sú vzájomne sa osáľované plochy paralelné a rovnako veľké.

Ak platí $A_1 = A_2$, potom:

$$C_{vs} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_o}} \quad (1.24)$$

kde C_1, C_2 súčiniteľ sáľania plochy 1 a 2 [Wm⁻²K⁻⁴]

Ak dochádza k výmene medzi dvoma ľubovoľne položenými telesami, možno použiť pre výpočet súčiniteľ vzájomného sáľania približného Nusseltovmu vzťahu:

$$C_{vs} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_o} \quad (1.25)$$

1.3.3 Prestup tepla pri sálaní

Podobne ako pri prúdení, zavádza sa aj pri sálaní veličina súčiniteľ prestupu tepla pri sálaní α_s . K jeho stanoveniu sa využíva vzťah 1.19 alebo 1.20, takže platí:

$$q_s = \frac{Q}{A} = \alpha_s(t_1 - t_2) \quad (1.26)$$

kde q_s hustota tepelného toku sálaním [Wm^{-2}]

α_s súčiniteľ prestupu tepla pri sálaní [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

$$\alpha_s = C_{vs} \cdot \xi \cdot \varphi \quad (1.27)$$

kde ξ teplotný činiteľ K3

$$\xi = \frac{T_1^4 - T_2^4}{(t_1 - t_2) \cdot 10^8} \quad (1.28)$$

Približné hodnoty teplotného činiteľa ξ sú v tab. 3 [2]

Tabuľka 3 Teplotný činiteľ ξ v závislosti na určujúcej teplote t_{ur}

$t_{ur} [^{\circ}\text{C}]$	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
$\xi [\text{K}^3]$	1,01	0,96	0,91	0,86	0,81	0,77	0,73	0,69	0,65

1.4 Prestup tepla na vnútornej a vonkajšej strane konštrukcie a odpor prestupu tepla na vnútornej a vonkajšej strane konštrukcie

Za predpokladu, že sa teplota vzduchu v miestnosti t_{ai} príliš nelíši od priemernej teploty vnútorných plôch miestností t_{sm} , možno uvažovať prestup tepla medzi vnútorným vzduchom a povrchom konštrukcie pri prúdení a prestup tepla medzi vnútorným prostredím a povrchom konštrukcie pri sálaní ako spoločný dej, ktorý sa sčítava tak, že platí:

$$\alpha_i = \alpha_{ik} + \alpha_{is} \quad (1.29)$$

kde α_i súčiniteľ prestupu tepla na vnútornej strane konštrukcie [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

α_{ik} súčiniteľ prestupu tepla na vnútornej strane konštrukcie pri prúdení [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

α_{is} súčiniteľ prestupu tepla na vnútornej strane konštrukcie pri sálaní [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

Podobne platí aj pre súčiniteľ prestupu tepla na vonkajšej strane konštrukcie:

$$\alpha_e = \alpha_{ek} + \alpha_{es} \quad (1.30)$$

kde α_e súčiniteľ prestupu tepla na vonkajšej strane konštrukcie [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

α_{ek} súčiniteľ prestupu tepla na vonkajšej strane konštrukcie pri prúdeení [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

α_{es} súčiniteľ prestupu tepla na vonkajšej strane konštrukcie pri sálaní [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

Pri stanovovaní hodnôt súčiniteľu prestupu tepla na vnútornej a vonkajšej strane konštrukcie je nutné rozhodnúť, ktorý druh prúdeenia sa má uvažovať.

Z pravidla sa uvažuje:

- na vnútornej strane konštrukcie (v miestnosti v uzatvorenom priestore) – voľné prúdeenie
- na vonkajšej strane konštrukcie – nútené prúdeenie

Odpor pri prestupe tepla na vnútornej a na vonkajšej strane konštrukcie R_i a R_e sa stanoví ako reciproká hodnota súčiniteľu prestupu tepla na vnútornej strane konštrukcie α_i a ako reciproká hodnota súčiniteľu prestupu tepla na vonkajšej strane konštrukcie α_e :

$$R_i = \frac{1}{\alpha_i}, R_e = \frac{1}{\alpha_e} \quad (1.31)$$

Normované hodnoty súčiniteľu prestupu tepla na vnútornej strane a na vonkajšej strane konštrukcie a hodnoty odporu pri prestupe tepla na vnútornej strane a vonkajšej strane konštrukcie sú v tab.4 podľa ČSN 73 0540.

Tabuľka 4 Súčiniteľ prestupu tepla na vnútornej a vonkajšej strane konštrukcie a odpor na vnútornej a vonkajšej strane konštrukcie

Povrch, teplota a druh stavebnej konštrukcie		α_i, α_e [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]	R_i, R_e [$\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	
Vnútorná zimné aj letné obdobie	zvislá konštrukcia	8	0,125	
	vodorovná konštrukcia pri tepelno toku	zdola nahor	8	0,125
		zhora dole	6	0,167
Vonkajšia	zimné obdobie	23	0,043	
	letné obdobie	15	0,067	

Vnútorné kúty miest- nosti zimné obdobie	vodorovné	4,7	0,123
	zvislé	5,2	0,192

1.5 Šírenie tepla vo vzduchovej vrstve

Vo vzduchovej vrstve sa uplatňujú všetky tri druhy šírenia tepla, t.j. vedenie, prúdenie aj sálanie. Charakteristickými veličinami sú tepelný odpor vzduchovej vrstvy R_{vv} a ekvivalentná tepelná vodivosť vzduchovej vrstvy λ_{vv} . Ich normované hodnoty sú v tab. 6 podľa normy ČSN 73 0540. [3]

Tabuľka 5 Tepelný odpor vzduchovej vrstvy R_{vv} v závislosti na hrúbke vzduchovej vrstvy d_{vv}

Poloha vzduchovej vrstvy		$R_{vv} [m^2KW^{-1}]$ pri $d_{vv} [mm]$								
		5	7,5	10	20	40	70	100	150	200
Zvislá a vodorovná pri tepelnom toku zdola hore	ZO	0,124	0,153	0,174	0,197	0,202	0,205	0,211	0,218	0,225
	LO	0,096	0,116	0,129	0,159	0,167	0,168	0,169	0,170	0,172
Vodorovná pri tepelnom toku zhora dolu	ZO	0,124	0,154	0,175	0,220	0,253	0,270	0,278	0,284	0,287
	LO	0,091	0,109	0,121	0,144	0,160	0,168	0,172	0,174	0,176
ZO...zimné obdobie, LO...letné obdobie										

2 VNÚTORNÉ PROSTREDIE

2.1 Tepelná pohoda

Tepelná pohoda označuje príjemné podmienky v priestoroch, kde sa človek cíti najlepšie. V tých priestoroch existuje tepelná rovnováha ľudského tela pri rôznych vplyvoch prostredia. Tepelnú pohodu ovplyvňujú rôzne faktory a stav pohody je vytváraný ich vzájomným pôsobením. Vzhľadom k tomu, že tu pôsobí veľký počet rôznych, navzájom sa ovplyvňujúcich sa faktorov, nie je možné pocit pohody presne definovať. Stav pohody je často vytváraný ich vzájomným pôsobením.

Základné faktory, ktoré sú dané stavebným usporiadaním, vetraním a temperovaním miestnosti sú:

- teplota vzduchu v miestnosti
- teplota vzduchu v okolí
- relatívna vlhkosť vzduchu
- rýchlosť prúdenia vzduchu
- akustické podmienky
- osvetlenie
- odev

Teplota vzduchu v miestnosti sa má v ideálnom prípade pohybovať v rozsahu 20 až 24 °C, pričom je v súčasne zohľadnený odev odpovedajúci vonkajšej teplote. Teplota 24 °C však v lete znamená vysoké investície do chladenia miestnosti, takže sa horná hraničná teplota posúva skôr na 27 až 28 °C pri súčasnom akceptovaní mierneho poklesu výkonnosti.

Okrem teploty vzduchu v miestnosti hrá podstatnú úlohu účinná teplota okolitých plôch (vrátane vykurovacích plôch), ktorá môže byť vyjadrená prostredníctvom priemernej teploty okolitých plôch, resp. strednej radiačnej teploty, pretože ľudské telo odovzdáva teplo aj sálaním.

Priemerná teplota okolitých plôch, resp. stredná radiačná teplota t_R v °C

$$t_R = \frac{\sum_n (A \cdot t)_n}{\sum_n A} \quad (2.1)$$

kde A povrch plôch v m

t teplota povrchu v °C

n počet rôznych plôch

Ak klesne stredná teplota povrchu steny napr. o 1 K, na človeka v klide to pôsobí rovnako ako pokles vzduchu v miestnosti o 1 K. Teplota vzduchu a teplota povrchu steny majú teda odvod tepla z ľudského tela rovnako veľký vplyv.

2.1.1 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu je základnou fyzikálnou veličinou, t.j. nemožno ju definovať pomocou iných veličín. Teplota vzduchu odpovedá teplote vzduchu v interiéri v okolí človeka, bez vplyvu sárania z okolitých plôch. Teplota okolitého vzduchu sa často označuje ako suchá teplota.

2.1.2 Operatívna teplota

Z hľadiska tepelnej pohody sa tak nehovorí len o teplote vzduchu v miestnosti, ale aj o účinnej teplote teploty okolitých plôch, ktoré majú vytvárať operatívnu teplotu. Pre určenie operatívnej teploty je potrebné namerať teplotu vzduchu, radiačnú teplotu a rýchlosť prúdenia vzduchu. Rozdiel medzi teplotou vzduchu a strednou radiačnou teplotou je väčšinou (< 4 °C) alebo rýchlosť prúdenia vzduchu je menší než $0,2 \text{ m.s}^{-1}$. V takomto prípade je možné operatívnu teplotu vypočítať ako aritmetický priemer strednej radiačnej teploty a teploty vzduchu. Pri väčšom rozdiel teplot alebo pri vyššej rýchlosti vzduchu sa operatívna teplota v °C vypočíta nasledovne.

$$\theta_o = A \cdot \theta_a + (1 - A) \cdot \theta_r \quad (2.2)$$

kde A koeficient závislý na rýchlosti prúdenia vzduchu podľa Tab.7

θ_a teplota vzduchu v °C

θ_R stredná radiačná teplota v °C

Tabuľka 6 Závislosť koeficientu A na rýchlosti vzduchu w_a

w_a [m.s ⁻¹]	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
A [-]	0,50	0,53	0,60	0,65	0,70	0,75

2.1.3 Rýchlosť prúdenia vzduchu

Rýchlosť prúdenia vzduchu v_{ai} , je veličina charakterizujúca pohyb vzduchu v priestore, ktorá je určená svojou veľkosťou a smerom prúdenia. Vzhľadom k tomu, že rýchlosť prúdenia vzduchu v priestore sa výrazne mení, je nutné jej zmeny vyjadrovať strednou hodnotou za časovú jednotku a smerodajnú odchýlku.

Prúdenie vzduchu má za následok vznik rozdielnych tlakov na dvoch rôznych miestach. Rozdiel tlakov spôsobí to, že vzduch sa z miesta o vyššom tlaku pohybuje do miesta s nižším tlakom. Hygienické požiadavky upravujú rýchlosť prúdenia vzduchu v miestnosti, pretože rýchlosť prúdenia má vplyv na tepelnú pohodu. Rýchlosť prúdenia vzduchu má vplyv na prenos tepla prúdením a na odparovanie vlhkosti z pokožky. Udávané hodnoty v miestnostiach sú menšie ako 0,2 m/s. Hodnoty, ktoré sú vyššie ako 0,2 m/s sa vyhodnocujú ako prievan a sú už citelne poznať. [4]

2.1.4 Vlhkosť vzduchu

Vlhkosť vzduchu udáva množstvo pary, ktoré je obsiahnuté v danom množstve vzduchu. Relatívna vlhkosť vzduchu udáva pomer medzi okamžitým množstvom vodných pár vo vzduchu a množstvom pár, ktoré by mal vzduch s rovnakým tlakom a teplotou pri úplnom nasýtení. Relatívna teplota v % sa určí

$$M = 100 \cdot \frac{m}{M} \quad (2.3)$$

kde m hmotnosť vodnej pary obsiahnutej vo vzduchu v kg

M hmotnosť vodnej pary, ktorú by obsahoval vzduch s rovnakým tlakom a teplotou pri úplnom nasýtení

Všeobecne sa považuje za vhodnú a zdravú klímu udržiavať vlhkosť vzduchu medzi 30 až 70%. Pri vlhkosti vzduchu pod 30% sa objavuje zvýšená tvorba prachu čo spôsobuje podráždenie sliznice. Vysoká relatívna vlhkosť môže pri poklese teploty pod hodnotu rosného bodu spôsobiť vznik plesní. Relatívnu vlhkosť závisí z veľkej časti na nasledujúcich faktoroch:

- každodenné činnosti v domácnosti
- kúpanie a sprchovanie, vlhkosť prirodzene produkovaná ľuďmi, zvieratami a rastlinami
- vplyv teploty a počasia

2.1.5 PMV a PDD

Pomocou kritérií PMV a PDD sa určuje tepelná technická kvalita vnútorného prostredia budov, ktorú vnímajú osoby. Indexom PMV (predicted mean vote) je charakterizovaný predpokladaný stredný stupeň tepelnej pohody. Predpokladaný percentný podiel nespokojných osôb charakterizuje index PPD (predicted percentage of dissatisfied).

Ukazovateľ PMV predpovedá stredný tepelný pocit na základe reakcie veľkej skupiny osôb na tepelnú situáciu, ktorú popisuje stupnica tepelných pocitov. Táto stupnica má sedem bodov.

Tabuľka 7 Stupnica tepelných pocitov

+3	Horko
+2	Teplo
+1	Mierne teplo
0	Neutrálny
-1	Mierne chladno
-2	Chladno
-3	Zima

Kritérium predpokladaného množstva nespokojných osôb PPD vychádza z indexu PMV, kde s jeho pomocou sa kvantifikujú nespokojné osoby s tepelne vlhkostným prostredím podľa vzťahu:

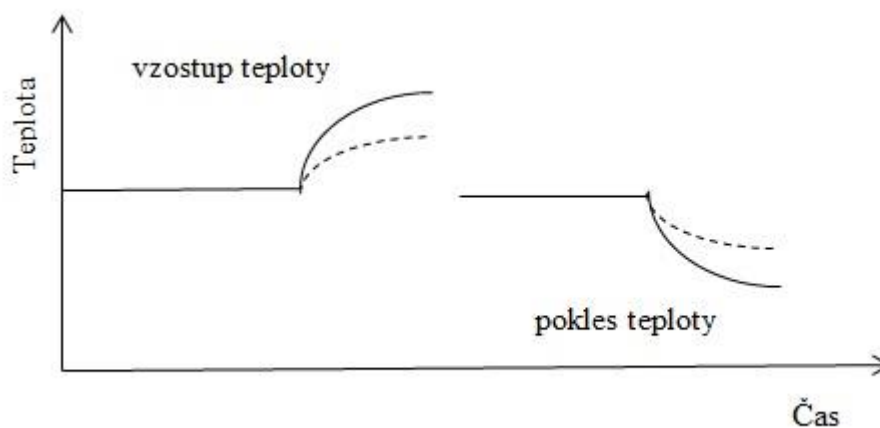
$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad (2.4)$$

Jedná sa o predpoveď percenta osôb nespokojných s tepelným prostredím, ktoré pociťujú buď ako príliš chladné alebo ako príliš teplé. Za akceptovateľné možno odporučiť, aby PPD pre jednotlivé ročné obdobia bolo nižšie ako 10%, čo odpovedá nerovnosti [5]:

$$-0,5 < PMV \leq +0,5 \quad (2.5)$$

3 TEPELNÁ STABILITA

Na charakterizovanie tepelnotechnických vlastností miestnosti sa používa pojem tepelná stabilita miestnosti. Vyjadruje schopnosť systému konštrukcií miestnosti zachovať svoj teplotný stav v definovanom teplotnom intervale. Táto vlastnosť sa prejavuje v neustálenom teplotnom stave. Pri hodnotení tepelnej stability miestnosti sa spravidla uvažujú dve extrémne obdobia v roku, a to zimné a letné. V zimnom období sa hodnotí pokles teploty a v letnom období vzostup teploty.



Obrázok 1 Vzostup a pokles teploty pri hodnotení tepelnej stability

3.1 Tepelná stabilita v letnom období

Pri návrhu a projektovaní budov pri uvažovaní určitých extrémnych klimatických situácií v letnom období treba dodržiavať v interiéroch budov podmienky tepelnej pohody prijateľné na pobyt a činnosť ľudí v exploatovaných interiéroch. V tepelno-technických analýzach sa tento problém rieši hodnotením najvyššieho denného vzostupu teploty vnútorného vzduchu v letnom období. Miestnosť možno považovať za tepelne stabilnú vtedy, ak v jej teplotný stav počas insolácie zostáva v určitom dovolenom rozpätí, ktorý uvádza ČSN 73 0540-2. Neustálený teplotný stav miestnosti v letnom období sa prejaví vzostupom teploty vnútorného vzduchu, ktorý ovplyvňuje najmä:

- teplota vonkajšieho vzduchu
- slnečné žiarenie dopadajúce na obvodové konštrukcie a prepustené zasklením miestnosti
- rýchlosť a smer prúdenia vetra

- vnútorné zdroje tepla z osvetlenia, od ľudí a z technológie
- výmena vzduchu a spôsob vetrania
- tepelná zotrvačnosť konštrukcií miestnosti

Výpočtové posúdenie letnej tepelnej stability sa prevádza pre tzv. kritickú miestnosť, to znamená pre priestor s predpokladanou najvyššou tepelnou záťažou. Týmto priestorom sú obvykle miestnosti s najväčšími priamo oslnenými presklenými plochami, orientovanými predovšetkým na východ, západ, juh, juhovýchod a juhozápad.

Pre hodnotenie letnej tepelnej stability miestnosti sa uvádzajú tieto dve kritéria:

- najvyšší denný vzostup teploty vzduchu v miestnosti $\Delta\theta_{ai,max}$
- najvyššia denná teplota vzduchu $\theta_{ai,max}$

3.1.1 Najvyšší denný vzostup teploty vzduchu v miestnosti

Výpočet tejto veličiny, vychádza z Kischerovho vzťahu:

$$\Delta\theta_{ai,max} = 24 \cdot \left(1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{t \cdot \phi_{z,max}}{\sum E}\right)} \right) \quad (3.1)$$

kde $\phi_{z,max}$ maximálny tepelný zisk [W]

t doba jednej dennej periódy [s]

$\sum E$ akumulovaná tepelná energia v neoslnených konštrukciách tvoriacich miestnosť [J]

$$\sum E = \sum_1^m A_m \cdot \sum_1^j (c_{j,m} \cdot \rho_{j,m} \cdot d_{j,m} \cdot \theta_{mj,m}) \quad (3.2)$$

kde A_m plocha vnútorného povrchu m -tej konštrukcie miestnosti [m²]

$c_{j,m}$ merná tepelná kapacita j -tej vrstvy m -tej konštrukcie miestnosti [Jkg⁻¹K⁻¹]

$\rho_{j,m}$ objemová hmotnosť j -tej vrstvy m -tej konštrukcie v miestnosti [kgm⁻³]

$d_{j,m}$ hrúbka j -tej vrstvy m -tej konštrukcie miestnosti m

$\theta_{mj,m}$ stredná teplota j -tej vrstvy m -tej konštrukcie v čase ustáleného vykurovania na počiatku chladnutia [°C]

$$\theta_{mj,m} = \theta_{ai} - U^* \cdot \left(R_i + \sum R_{mj,m} \right) \cdot (\theta_{ai} - \theta_{em}^*) \quad (3.3)$$

kde $\sum R_{mj,m}$ súčet tepelných odporov vnútorných vrstiev do polovice j -te vrstvy m -tej konštrukcie [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

θ_{em}^* návrhová teplota vonkajšieho vzduchu v letnom období $^{\circ}\text{C}$, pre tepelnú oblasť A je $\theta_{em}^* = 20,5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$

Maximálny tepelný zisk miestnosti je daný ako súčet tepelnej záťaže, a to:

- tepelných ziskov prestupom tepla vonkajšími konštrukciami $\sum \phi_{ej}$
- tepelných ziskov od prestupu slnečného žiarenia priesvitnými obvodovými konštrukciami $\sum \phi_{wj}$

$$\sum \phi_{ej} = 0,5 \cdot A_v^* \cdot \sum \left(\frac{A_{ej} \cdot h_{si,j}^*}{v_j^*} \right) \quad (3.4)$$

kde A_v^* výsledná teplotná amplitúda vonkajšieho prostredia v letnom období $^{\circ}\text{C}$

A_{ej} plocha vonkajších konštrukcií [m^2]

$h_{si,j}^*$ súčiniteľ prestupu tepla na vnútornej strane konštrukcie v letnom období [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

v_j^* teplotný útlm konštrukcie v letnom období

$$\sum \phi_{wj} = \sum (A_{w,j} \cdot J_{m,j} \cdot \tau_j) \quad (3.5)$$

kde $A_{w,j}$ plocha zasklenia j -tej plochy výplne otvoru bez okenných rámov [m^2]

$J_{m,j}$ stredná intenzita globálneho slnečného žiarenia dopadajúceho kolmo na j -tú výplňovú konštrukciu [Wm^{-2}]

τ_j priepustnosť slnečného žiarenia j -tou výplňovou konštrukciou

3.2 Tepelná stabilita v zimnom období

Výpočet tepelnej stability miestnosti v zimnom období sa zaoberá chovaním miestnosti v dobe prerušovaného vykurovania miestnosti, a to formou vykurovacej prestávky alebo z iných dôvodov, napríklad pri havárii vykurovacieho systému. Hodnotiacim kritériom tepelnej stability miestnosti v zimnom období je pokles výslednej teploty v miestnosti.

Hodnotí sa kritická miestnosť, čo je miestnosť s najväčšou hodnotou priemerného súčiniteľa prestupu tepla.

Pokles výslednej teploty v miestnosti $\Delta\theta_v(t)$ v °C v priebehu vykurovacej prestávky sa stanoví zo vzťahu:

$$\Delta\theta_v(t) = \theta_v(0) - \theta_v(t) \quad (3.6)$$

kde $\theta_v(0)$ výsledná teplota miestnosti na začiatku chladnutia miestnosti °C

$\theta_v(t)$ výsledná teplota miestnosti premenená v priebehu chladnutia °C

Výsledná teplota miestnosti:

$$\Delta\theta_v(t) = \theta_{ai}(t) + 650 \cdot \dot{V}_{LV} \frac{\theta_{ai}(t) - \theta_e}{\sum(A \cdot h_{si})} \quad (3.7)$$

kde $\theta_{ai}(t)$ teplota vnútorného vzduchu v dobe chladnutia °C

\dot{V}_{LV} objemový tok vzduchu prúdiaceho do miestnosti [m³/s] [3]

Norma ČSN 73 0540 determinuje tepelnú stabilitu v zimnom období v kritickej miestnosti pomocou parametru poklesu výslednej teploty $\Delta\theta_v(t)$. V kritických miestnostiach s pobytom ľudí po prerušení vykurovania pri vykurovaní radiátormi, sálavými panelmi a pri teplovzdušnom vykurovaní, nemá byť pokles výslednej teploty v miestnosti viac než 3 °C a v miestnostiach, ktoré sú vykurované kachľami a podlahovým vykurovaním viac než o 4°C.

3.3 Kritická miestnosť

Za kritickú miestnosť považujeme miestnosť s najväčším celkovým súčiniteľom prestupu tepla, resp. najväčšou plochou ochladzovaných nesymetricky chladnúcich konštrukcií. Obvykle sa jedná o rohovú miestnosť pod strechou. Kritérium možno vzťahovať aj na pasívne domy, v ktorých sa najčastejšie jedná o vykurovanie teplovzdušné.

Pre letné obdobie je to miestnosť s najväčšou plochou priamo oslnených výplňových konštrukcií orientovaných na V, JV, JZ, J, JZ, Z. V letnom období vychádzame z podmienok tepelnej pohody. Kritická miestnosť v tomto období musí spĺňať podmienku najvyššej dennej teploty vzduchu v miestnosti, ktorú stanovuje norma ČSN 73 0540-2.

$$\theta_{ai,max} \leq \theta_{ai,max,N} \quad (3.8)$$

kde $\theta_{ai,max}$ najvyššia denná teplota vzduchu v miestnosti v letnom období [°C]

$\theta_{ai,max,N}$ požadovaná hodnota najvyššej dennej teploty v miestnosti v letnom období [°C]

Budovy vybavené strojným chladením musia spĺňať podmienku najvyššej teploty v miestnosti v letnom období:

$$\theta_{ai,max} \leq 32 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.9)$$

Do výpočtu sa nezahrňuje chladiaci výkon klimatizácie a ani tepelné zisky od technologických zariadení a kancelárskeho vybavenia. [2],[6],[7]

4 ENERGETICKÁ NÁROČNOST' BUDOVY

Podľa zákona § 6a o hospodárení energie, energetická náročnosť posudzovanej budovy stanovená bilančnou metódou musí byť nižšia než energetická náročnosť budovy referenčnej. Pokiaľ budova nevyhovuje požiadavkám na ENB, je potreba navrhnúť technické a ekonomické opatrenia vhodné k zníženiu ENB na požadovanú úroveň. Nesplnením požiadavky sa považuje dosiahnutie klasifikačnej triedy D a horšej. Budova by mala celkovo dosiahnuť triedu A až C.

4.1 Požiadavky na energetickú náročnosť budovy

Energetická náročnosť budovy sa označuje ako merná spotreba budovy EP_A a vyjadruje sa v [kWh/(m².rok)]. Podľa tohto údaju sa budova zaradí do príslušnej triedy energetickej náročnosti. Energetická náročnosť zahŕňa celkovú potrebu energie, účinnosť s akou je táto potreba krytá a pomocnú energiu, ktorú spotrebúvajú jednotlivé energetické systémy pokrývajúce tieto potreby.

Celková ročná dodaná energia E_P , ktorá je vyjadrená v GJ/rok. Je to dodaná energia do budovy na jej systémovej hranici a stanovuje sa v súlade s normou ČSN EN 15 603. Mernú spotrebu energie budovy v [kWh/(m².rok)] možno z celkovej ročnej dodanej energie stanoviť podľa vzťahu:

$$EP_A = 277,8 \cdot \frac{EP}{A_c} \quad (4.1)$$

kde A_c celková podlahová plocha v m²

Budovy, ktoré sa hodnotia z hľadiska ENB sú rozdelené do deviatich kategórií. Jednotlivé druhy budov sa odvíjajú od prevádzky, činnosti a podobnosti jednotlivých objektov. Zaradenie budov je prevádzané podľa pevne stanoveného rozsahu mernej ročnej spotreby energie. [8]

Tabuľka 8 Klasifikačné triedy hodnotenia ENB podľa kategórie budovy a EP_A [9]

Druh budovy	A	B	C	D	E	F	G
Rodinný dům	< 51	51 - 97	98 - 142	143 - 191	192 - 240	241 - 286	> 286
Bytový dům	< 43	43 - 82	83 - 120	121 - 162	163 - 205	206 - 245	> 245
Hotel a restaurace	< 102	102 - 200	201 - 294	295 - 389	390 - 488	489 - 590	> 590
Administrativní budova	< 62	62 - 123	124 - 179	180 - 236	237 - 293	294 - 345	> 345
Nemocnice	< 109	109 - 210	211 - 310	311 - 415	416 - 520	521 - 625	> 625
Budova pro vzdělávání	< 47	47 - 89	90 - 130	131 - 174	175 - 220	221 - 265	> 265
Sportovní zařízení	< 53	53 - 102	103 - 145	146 - 194	195 - 245	246 - 297	> 297
Budova pro velkoobchod a maloobchod	< 67	67 - 121	122-183	184 - 241	242 - 300	301 - 362	> 362

Hodnoty meranej spotreby energie v triede C možno pre uvedené druhy budovy považovať za referenčné hodnoty.

Tabuľka 9 Slovné vyjadrenie ENB

Trieda energetickej náročnosti	Slovné vyjadrenie energetickej náročnosti budov
A	Mimoriadne úsporná
B	Úsporná
C	Vyhovujúca
D	Nevyhovujúca
E	Nehospodárna
F	Veľmi nehospodárna
G	Mimoriadne nehospodárna

4.2 Metódy stanovenia energetickej náročnosti budovy

Energetickú náročnosť posudzovanej budovy hodnotíme na základe celoročnej dodanej energie v GJ, ktorá slúži k pokrytiu energetických potrieb na vykurovanie, chladenie, klimatizáciu, vetranie, prípravu TUV a osvetlenie pri jej štandardizovanom užívaní bilančným hodnotením. Toto hodnotenie sa používa rovnako aj pre výpočtovú metódu pre referenčnú budovu. Bilančné hodnotenie sa prevádza intervalovou výpočtovou metódou s mesačným obdobím, ale pre budovy s nízkou tepelnou zotrvačnosťou sa môže použiť intervalová hodinová metóda alebo metóda s ešte kratším časovým intervalom. Celková ročná dodaná energia sa pri bilančnom hodnotení stanoví ako súčet jednotlivých výpočtových častí spotrieb dodanej energie pre všetky časové intervaly v roku a pre všetky vykurované, chladené, vetrané či klimatizované zóny budovy. Výpočet sa rozlišuje podľa nositeľa ener-

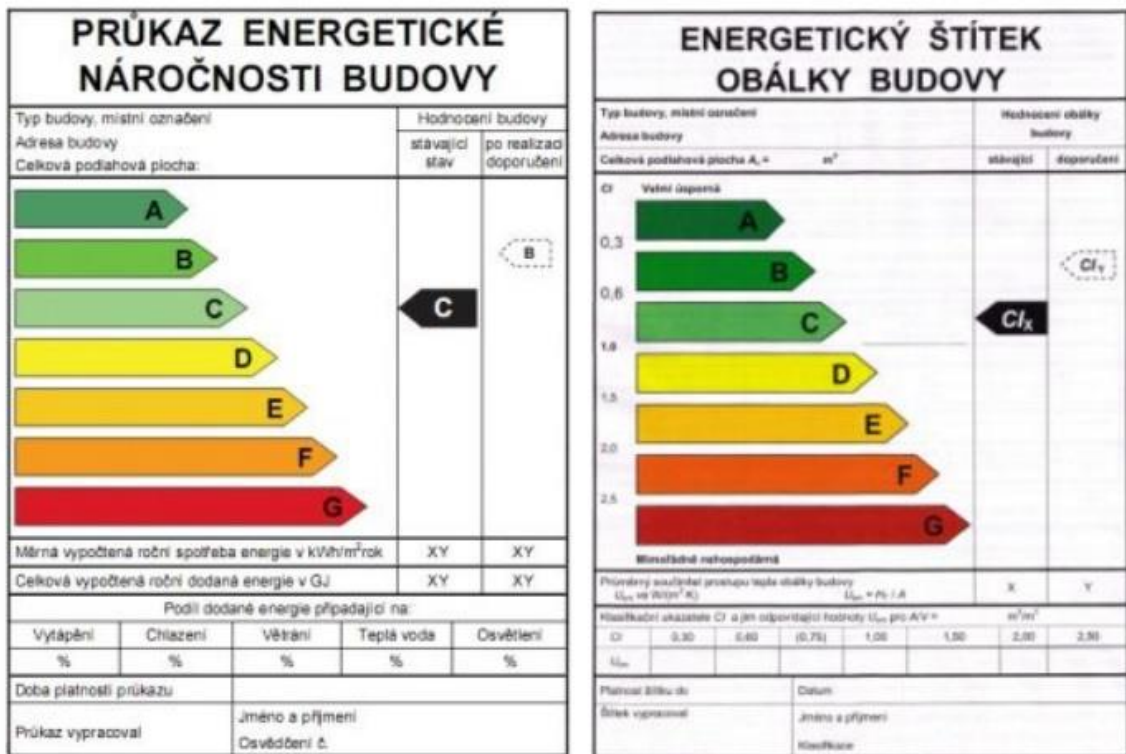
gie, ktorý sa používa k výrobe tepla. Pre vzájomné porovnanie ENB rovnakého typu sa stanovuje merná ročná spotreba energie budovy, vyjadrená pomerom celkovej ročnej dodanej energie na jednotku celkovej podlahovej plochy budovy v kWh/m². Vytvorením referenčnej budovy v súvislosti s bilančným hodnotením posudzovaného objektu sa porovnajú výsledky. Referenčná budova je vytvorená výpočtovo a je rovnakého druhu, tvaru, veľkosti a vnútorným usporiadaním. Má rovnaký typ prevádzky a užívania, ale kvalita obálky a technický systém je daný technickými normami. [8]

4.3 Preukaz energetickej náročnosti budovy

Preukaz energetickej náročnosti budovy PENB tvorí protokol preukazujúci energetickú náročnosť budovy a grafické znázornenie ENB. Tento preukaz je definovaný ako certifikát uznaný členským štátom alebo právnickou osobou nim menovanou, ktorý udáva energetickú náročnosť budovy vypočítanú podľa metódy vychádzajúcej zo všeobecného rámca stanoveného v Smernici.

Energetický štítok obálky budovy a protokol k energetickému štítku budovy podľa normy ČSN 73 0540-2 je graficky podobný preukazu energetickej náročnosti budovy, ale zahŕňa len tepelne technické vlastnosti obálky vykurovanej časti budovy prostredníctvom hodnotiaceho parametru priemerného súčiniteľa prestupu tepla U_{em} . Energetický štítok obálky budovy nie je legislatívne povinnou vyžadovanou súčasťou stavebnej dokumentácie, ale môže byť požadovaný a výsledný údaj stupňa tepelnej náročnosti, vyjadruje a charakterizuje len obálku budovy a jej tepelne technické parametre, ktoré majú vplyv na potrebu energie na vykurovanie a chladenie budovy. Energetický štítok obálky budovy priamo nesúvisí so Smernicou EPBD, ale komplexnom výpočtovom postupe tiež zahŕňa niektoré požiadavky dané touto normou.

Možno teda konštatovať, že energetický štítok obálky budovy je vyjadrením o dodržaní technickej normy a dodržaní tepelnetechnických parametrov stavby požadovaných alebo doporučených technickou normou pre požadovaný stav vnútorného užívania. PENB vyjadruje a hodnotí budovu komplexne, počínajúc samotným vstupom energie a jej nositeľov na systémovej hranici budovy, kedy je posudzovaná z hľadiska potrieb energie, ktorými sú vykurovanie, vetranie, klimatizácia, osvetlenie, príprava teplej vody, a to všetko s dôrazom na skutočnú prevádzkovú energetickú náročnosť budovy. [11]



Obrázok 2 PENB a Energetický štítok obálky budovy [11]

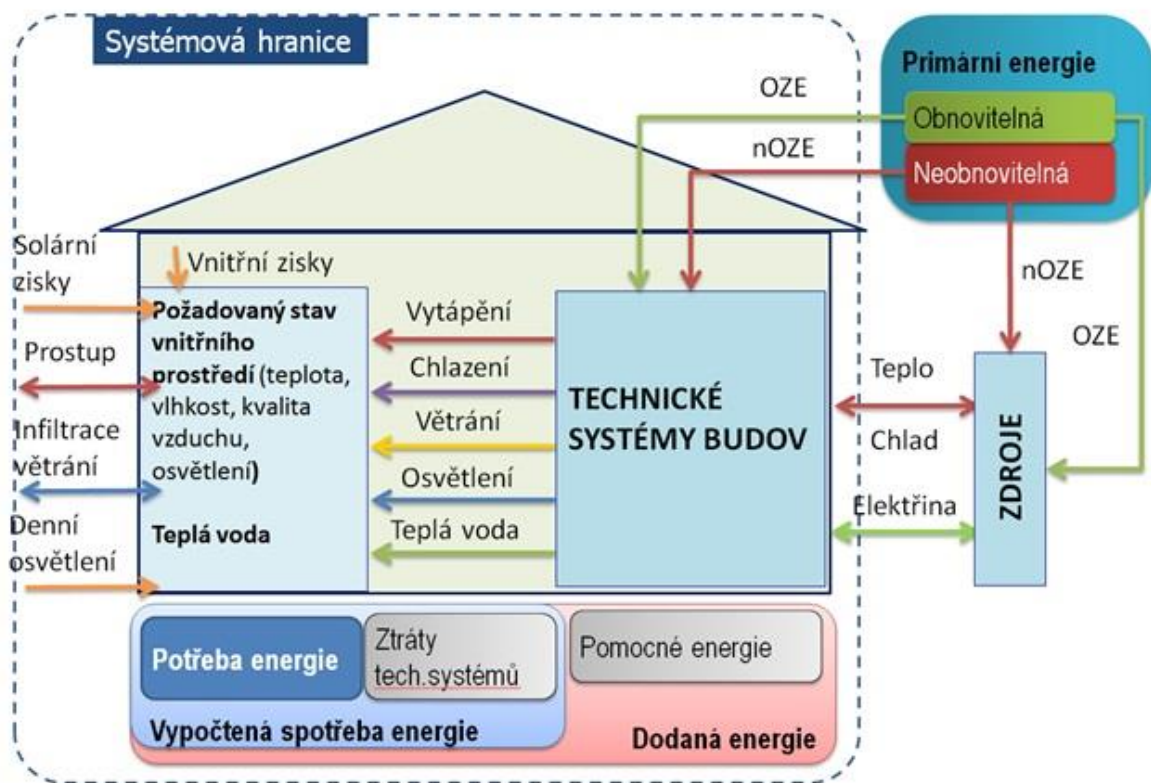
4.4 Celková ročná dodaná energia

Celková ročná dodaná energia Q_{fuel} sa stanoví výpočtom pre všetky zóny budovy mesačnou intervalovou metódou ako súčet vypočítaných dodaných energií pre pokrytie jednotlivých častí potrieb energie:

$$Q_{fuel} = (Q_{fuel,H} + Q_{fuel,C} + Q_{fuel,Hum} + Q_{fuel,Liht} + Q_{fuel,DWH}) + Q_{fuel,Aux} + Q_{fuel,Light} \quad (4.2)$$

- vykurovanie: dodaná energia $Q_{fuel,H}$ a pomocná energia pre vykurovanie $Q_{Aux,H}$ [MJ/rok]
- chladenie: dodaná energia $Q_{fuel,C}$ a pomocná energia pre chladenie $Q_{Aux,H}$ [MJ/rok]
- vetranie vrátane zvlhčovania: dodaná energia na mechanické vetranie $Q_{Aux,Fans}$ a zvlhčovanie $Q_{fuel,Hum}$ [MJ/rok]
- osvetlenie: dodaná energia $Q_{fuel,Light}$ [MJ/rok]
- prípravu teplej vody: dodaná energia na prípravu teplej vody $Q_{fuel,DHW}$ a pomocná energia systému prípravy teplej vody $Q_{Aux,DHW}$ [MJ/rok]

Dodanou energiou do budovy a jej využitie v energetických systémoch pre potrebu normatívnych parametrov užívania budovy alebo zóny, rovnako ako vyjadrenie elementárnych strát a ziskov je naznačený na obrázku Obr. 3.



Obrázok 3 Princíp výpočtu energetickej náročnosti budov [11]

4.5 Potreba energie pre vykurovanie a chladenie

Výpočet pre potrebu energie na vykurovanie a chladenie sa stanovuje samostatne v súlade s normou ČSN 13 790, kde je potrebné dodržať príslušné okrajové podmienky. Samostatný výpočtový postup určuje pokyn Ministerstva priemyslu a obchodu.

4.5.1 Potreba energie pre vykurovanie

Pri výpočte ročnej potreby tepla je potrebné zohľadniť všetky tepelné zisky vo forme metabolického tepla, solárnych ziskov energie a energie z vnútorných zariadení, ale taktiež treba uvažovať so stratami vetraním a prestupom tepla. Vo výpočte musia byť zohľadnené vnútorné návrhové hodnoty teploty behom vykurovacieho obdobia podľa platných technických noriem a hygienických predpisov. Potreba energie na vykurovanie $Q_{dem,H}$ v MJ sa stanoví pre každú zónu budovy a každé výpočtové obdobie zo vzťahu:

$$Q_{dem,H} = Q_{L,H} - \eta_{G,H} \cdot Q_{G,H} \quad (4.3)$$

kde $Q_{L,H}$ celkový tepelný tok vo vykurovacom období [MJ]
 $Q_{G,H}$ celkové tepelné zisky vo vykurovacom období [MJ]
 $\eta_{G,H}$ stupeň využitia tepelných ziskov v režime vykurovania [%]

4.5.2 Potreba energie pre chladenie

Pre výpočet potreby energie pre chladenie $Q_{dem,C}$ v MJ je potrebné stanoviť tepelné toky pre každú zónu a pre každé výpočtové obdobie nasledovne:

$$Q_{dem,C} = Q_{L,H}(1 - \eta_{G,C}) \cdot (Q_{G,C} - Q_{L,C}) \quad (4.4)$$

kde $Q_{L,C}$ celkový tepelný tok v chladiacom režime v [MJ]
 $Q_{G,C}$ celkové tepelné zisky v chladiacom režime v [MJ]
 $\eta_{G,C}$ stupeň využitia tepelných ziskov v režime chladenia [%] [12]

4.6 Tepelné zisky pre režim vykurovania a chladenia

Celkové tepelné zisky sú tvorené vnútornými ziskami a ziskami snečnými. U vnútorných pre účel vyhlášky uvažujeme zisky od metabolického tepla užívateľov posudzovanej hodnotenej budovy, tepelného výkonu spotrebičov a osvetlenia. Tepelné zisky od rozvodov TV a od potrubia vykurovacieho systému nie sú do vnútorných ziskov uvažované.

4.6.1 Vnútorné tepelné zisky

Vnútorné zisky rozlišuje s ohľadom na zónu kde dochádza k ich produkcii, na zisky chladených a vykurovaných zón. Tepelné zisky, ktoré vznikajú v neklimatizovanej zóne vedú k navýšeniu vnútornej teploty v priliehajúcej zóne a týmto spôsobujú zníženie prestupu tepla cez nevykurovanú zónu. Podobne je to s tepelnými ziskami v chladenom priestore, kde dochádza k zvýšeniu tepelnej záťaže.

Výpočet tepelných ziskov od osôb a spotrebičov je stanovený na základe časového podielu doby užívania spotrebičov, resp. doby pobytu osôb a priemernej mernej produkcie od spotrebičov. Vyhláška č. 147/2007 Sb. Fixne vymedzuje hodnoty časového podielu doby prevádzky a priemernej mernej produkcie tepla od spotrebičov vzťahnutej k podlahovej ploche podľa typu budovy.

Vo výpočte tepelných ziskov získaných z osvetlenia sa uvažuje len osvetľovacia sústava pevne spojená s budovou, ostatné osvetľovacie telesá, ktoré sú pridané alebo dekoratívneho charakteru, sa neuvažujú, pretože nie sú súčasťou štandardného osvetlenia zóny alebo budovy.

4.6.2 Slnéčné tepelné zisky

Pri hodnotení slnečných tepelných ziskov priesvitných konštrukčných prvkov je rozhodným parametrom účinná zberná plocha zasklenených plôch, ich orientácia, činiteľ tienenia dopadajúcej energie slnečného žiarenia a stupeň využitia solárnych tepelných ziskov pre vykurovanie, či chladenie. Zastúpenie tu má aj časová konštanta, ktorá predstavuje dobu reakcie budovy na zmenu okolitých podmienok v zmysle tepelnej zotrvačnosti budovy, ktorá je vzťahovaná ku stupňu využitia tepelných ziskov, resp. strát.

4.7 Dodaná energia

Dodaná energia predstavuje celkovú energiu, ktorá pokrýva potreby energie v zónach budovy. Spotreba energie priamo závisí na štandardizovanom spôsobe užívania budovy a prevedenia energetických systémov zaisťujúcich krytie potrieb energie. Dodaná energia na systémovej hranici budovy predstavuje celkovú energiu určenú ku krytiu celkových spotrieb energie. Vypočítaná dodaná energia je vždy vyššia než potrebná energia, nakoľko kryje na viac distribučné a emisné straty, pomocné energie a rešpektuje účinnosť výroby technologickými zariadeniami.

4.7.1 Dodaná energia na vykurovanie

Ročnú dodanú energiu na vykurovanie $Q_{fuel,H}$, v MJ/rok, určíme súčtom všetkých dodaných energií zo všetkých energetických nositeľov za výpočtové obdobie v rámci roku. Jednotlivé energie určíme podľa tepelnej energie dodanej do rozvodových systémov vydelenej účinnosťou výroby energie zdrojom a účinnosti regulácie zdroja energie podľa hodnôt daných Metodickým pokynom. V rámci výpočtu sa zohľadňuje aj využitie tepelného čerpadla, u ktorého je vykurovací faktor COP fixne zadaný podľa typu. Spotreba energie rozvodného systému je závislá na miere energie, ktorá je spotrebovaná vykurovaním tepelnej sústavy, účinnosťou rozvodového systému a systému zdieľania tepla.

4.7.2 Dodaná energia na chladenie a odvlhčenie

Dodaná energia na chladenie a odvlhčenie predstavuje celkovú spotrebu energie, ktorá pokrýva potrebu energie na chladenie a odvlhčenie danej zóny. Spotreba priamo závisí na štandardizovanom spôsobe užívania budovy a na skladbe energetických systémov zaisťujúcich krytie potreby energie na chladenie a odvlhčovanie. Pre výpočet je potreba stanoviť dodanú energiu na chladenie zo spotreby energie chladiaceho distribučného systému a spotreby energie na samotné chladenie. [8],[12]

5 ZVÝŠENIE TEPELNE AKUMULAČNÝCH SCHOPNOSTÍ BUDOV

V dnešnej dobe je trend použitia ľahkých stavebných materiálov pre vnútorné a vonkajšie konštrukcie. Použitím týchto obvodových konštrukcií, ktoré tvoria ľahké materiály, konštrukcie často nespĺňajú požiadavky na tepelnú stabilitu v letnom období. Zvýšenie tepelne akumuláčnych schopností stavebných materiálov má významný vplyv na tepelnú stabilitu vnútorného prostredia.

Bežné masívne konštrukcie ako sú murivo, betónové steny alebo stropné dosky môžu akumulovať tepelnú energiu vďaka svojej vlastnej tepelnej akumuláčnej kapacite. Závisí to predovšetkým na hmotnosti jednotlivých konštrukcií. Nízkoenergetické budovy s ľahkými obvodovými plášťami majú malú tepelne akumuláčnú schopnosť spôsobenú malou hmotnosťou nosných a nenosných konštrukcií. V prípade, kedy je akumulované teplo, napríklad zo slnečného žiarenia, musia projektanti navrhnuť špeciálne masívne akumuláčne prostriedky. Ich objem je možné redukovať pomocou materiálov PCM s fázovou zmenou. Inštalácia týchto materiálov je jedna z ciest ako zlepšiť tepelné akumuláčne vlastnosti ľahkých obvodových konštrukcií. Princíp spočíva v tom, že miesto zvyšovania hmotnosti obvodovej konštrukcie je využívané latentné teplo skupenskej zmeny materiálov s nízkou teplotou tavenia.

5.1 Akumulácia citel'ného tepla

V tomto prípade je tepelná energia akumulovaná len zmenou teploty akumuláčného média. Množstvo akumulovaného tepla závisí na tepelnej kapacite média, na zmene teploty a na množstve akumuláčného média. Na akumuláciu citel'ného tepla môžu byť využité pevné alebo kvapalné látky. Proces môže byť popísaný rovnicou:

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c_p dT = V \int_{T_i}^{T_f} \rho c_p dT \quad (5.1)$$

kde Q akumulované teplo [J]

m hmotnosť akumuláčného média [kg]

c_p priemerná merná tepelná kapacita medzi T_i a T_f v [J.kg⁻¹K⁻¹]

V objem akumuláčného média v m³

T_i, T_f počiatočná a konečná teplota akumuláčného média [K]

Najobľúbenejšie kvapalné médium je voda, ktorá musí byť umiestnená v nejakom kontajneri. Obvykle je voda používaná ako teplonosné kvapalné médium, ale často je použitá tiež ako akumulčné médium. Ako akumulčné média z pevných látok môžu byť použité betónové konštrukcie, kameň alebo tehlové murivo. Akumulácia citeľného tepla je najmenej efektívna metóda akumulácie tepla, pretože je treba omnoho menej tepelnej energie na zvýšenie teploty látky než je tomu pri topení kryštalických zlúčenín alebo pri rozbití chemických väzieb. [13]

5.2 Akumulácia skupenského tepla

Pri akumulácii skupenského tepla je tepelná energia zhromažďovaná prostredníctvom vratných zmien stavu alebo skupenstva akumulčného média. Premena pevná látka – kvapalina je využívaná najčastejšie. Akumulátory skupenského tepla tiež využívajú určitý obsah citeľného tepla v systéme. Teplo potrebné pre topenie obvykle prevažuje, ale isté množstvo tepla môže byť pridané akumuláciou citeľného tepla.

$$Q = m \left[\int_{T_i}^{T_m} c_{ps}(T) dT + l_{ps} + l_{pl} + \int_{T_m}^{T_e} c_{pl}(T) dT + l_{pg} + \int_{T_e}^{T_f} c_{pg}(T) dT \right] \quad (5.2)$$

kde Q akumulované teplo v J

m hmotnosť akumulčného média [kg]

c_{ps} priemerná merná tepelná kapacita medzi T_i a T_m [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

c_{pl} priemerná merná tepelná kapacita medzi T_m a T_e [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

l_{ps} skupenské teplo fázovej zmeny pevná látka – pevná látka [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

l_{pl} skupenské teplo fázovej zmeny pevná látka – kvapalina v [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

l_{pg} skupenské teplo fázovej zmeny kvapalina – plyn v [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

T_i, T_f počiatková a konečná teplota akumulčného média v [K]

Skupenské teplo je z hľadiska ľudskej skúsenosti menej známe ako citeľné teplo. Akumulátory skupenského tepla majú výhodu vo vyššej tepelnej kapacite, takže môže byť redukovaný objem a hmotnosť akumulčných jednotiek.

Používaním materiálov PCM pre akumuláciu tepla je oneskorené oproti akumulácii tepla citeľného. Je to často spôsobené tým, že systémy skupenských zmien predstavujú vyššiu technologickú úroveň.

5.3 Termochemická akumulácia tepla

Termochemické systémy spočívajú na energii absorbovanej a uvoľnenej pri rozbití alebo znovu vytvorení molekulárnych väzieb pri plne reverzibilných chemických reakciách. Na akumulované teplo závisí na množstve akumuláčného média, na endotermickom teple reakcie a rozsahu premeny.

$$Q = a_r \cdot m \cdot \Delta h_r \quad (5.3)$$

kde m hmotnosť akumulovaného tepla [J]

a_r podiel látky, ktorá sa zúčastňuje reakcie [kg]

Δh_r reakčné teplo na jednotku hmotnosti [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Termochemické akumulátory tepla majú výhodu viac kompaktných systémov s dlhodobou akumuláciou malými stratami a akumulácií bez izolácie. Avšak produkty nemôžu byť korozívne voči materiálom stavby a všetky použité chemikálie musia byť bezpečné a ekologické. Technológia termochemických akumulátorov je relatívne viac sofistikovaná než u akumulácie citel'ného tepla a skupenského tepla.

5.4 Akumulácia tepla zmenou skupenstva

Materiály s fázovou zmenou PCM majú v porovnaní s akumulátormi citel'ného tepla podstatne vyššiu mernú akumuláciu tepelnej energie a sú schopné absorbovať väčšie množstvo energie pri konštantnej teplote behom zmeny skupenstva. Ako PCM pre premenu kvapalina - pevná látka môžu byť použité:

- Anorganické zlúčeniny
 - Hydráty solí s teplotou topenia od 0 až do 150 °C
 - Ďalšie anorganické zlúčeniny s vyššou teplotou topenia
- Organické zlúčeniny
 - parafíny
 - neparafínové látky: mastné kyseliny a ďalšie organické zlúčeniny

5.4.1 Organické zlúčeniny

Organické PCM majú horšie teplosmenné vlastnosti, nižšie hustoty a väčšie nebezpečenstvo vzniku požiaru. Všeobecne majú vyššiu cenu než anorganické. Parafíny sú produkty z minerálnych olejov. Skladajú sa väčšinou zo skupiny organických alkénov. Táto skupina

uhl'ovodíkov vytvára zmes s podobnými vlastnosťami. Parafíny spĺňajú veľa požadovaných vlastností PCM pre účely akumulácie:

- sú jednoducho dostupné
- nie sú korozívne ani toxické
- majú vysoké skupenské teplo topenia
- sú chemicky stabilné
- majú malé objemové zmeny behom topenia

5.4.2 Hydráty solí

Ako skupina ponúkajú dobré hodnoty skupenského topenia a dobre vedú teplo. Všetky tieto materiály vykazujú tenziu pár spôsobenú obsahom vody. Všetky musia byť uzavreté v hermeticky tesnom obale. Pri týchto látkach sa objavujú problémy nerovnomerného topenia a prechladzovania. Hydráty solí sú všeobecne kompatibilné s plastovými puzdrami, s výnimkou plastov, ktoré nie sú použiteľné pri teplotách topenia niektorých PCM s vyššími teplotami topenia.

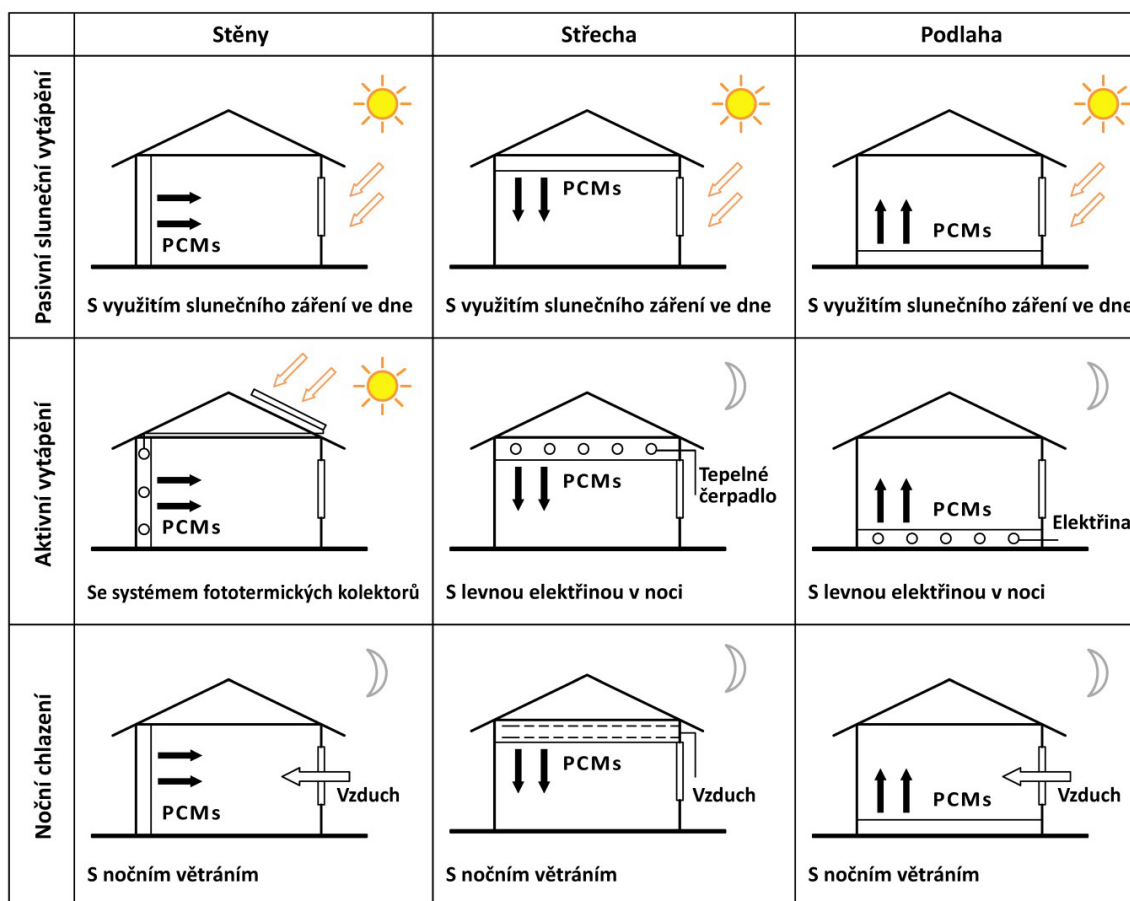
Kryštalizačná voda uvoľnená behom topenia nestačí k rozpusteniu pevných súčastí. Pevné usadeniny klesajú z dôvodu svojej vyššej hustoty do spodnej časti puzdra. Behom spätného procesu sa značná časť usadenej soli nie je schopná dostať do kontaktu s vodou potrebnou pre jej vývoj kryštalizácie. Hustota akumulovanej energie sa teda zníži po niekoľkých cykloch pohltienia a uvoľnenia tepla. Druhým problémom je prechladzovanie. V prípade chladenia nedochádza k tuhnutiu alebo kryštalizácii pri teplote topenia. Z dôvodu prechladenia PCM nevydávajú naakumulovanú energiu pri teplote topenia, ako by sa očakávalo.

5.5 Skupenstvo meniace materiály PCM v ľahkých konštrukciách

PCM môžu byť zapuzdrené v plastovej fólii. Použitie plastových fólií k zapuzdreniu PCM v tepelne akumuláčnych aplikáciách je zaujímavé z ekonomických dôvodov a pre svoju všestrannosť. Vaky s materiálmi s fázovou zmenou sú umiestnené v energii akumulujúcich boxoch zaistených výstuhami. Ploché vaky môžu byť položené na zavesený podhl'ad, napr. zo sadrokartónu. Iným vyvinutým prvom sú trubice z HDPE. Tieto trubice sú naplnené PCM a hermeticky utesnené. Táto konštrukcia poskytuje pevnú a nepriepustnú bariéru, ktorá zaisťuje dlhodobu nemennú vlastnosť.

5.6 Integrácia PCM v stavebných konštrukciách

Pre využitie latentného tepla v PCM v stavebných konštrukciách je náročné nájsť vhodný spôsob zapuzdrenia. Každý spôsob zapuzdrenia má svoje výhody a nevýhody, nech už sa jedná o tepelnú vodivosť materiálov obalov, pomer povrchu voči objemu či interakciou medzi PCM materiálom a obalom. PCM integrované v stavených konštrukciách nachádzajú dobré uplatnenie všade tam, kde nie je možné aplikovať potrebné množstvo akumuláčnej látky pre akumuláciu citeľného tepla. Výhodou v prípade integrácie PCM v stavebných konštrukciách je, že akumulácia tepla nastáva pri zmenách skupenstva bez výrazného nárastu teploty akumuláčného média.



Obrázok 4 Využitie akumulácie tepla PCM v stavebných konštrukciách [14]

Steny, stropy a podlaha ponúkajú veľkú plochu pre výmenu tepla medzi vnútorným prostredím akumuláčného média umiestneným v stavebnej konštrukcii. Aplikáciou PCM dočielime zvýšenie akumuláčnej kapacity pre pasívne solárne vykurovanie a umožní zapojenie chladenie nočným vetraním a časový posun pre použitie stojného chladenia. [14]

6 SIMULÁCIE BUDOV V TECHNIKE PORSTREDIA

Simulácie budov sa vo všeobecnosti považujú za kľúčovú techniku, ktorá pomôže navrhovať budovy, ktoré budú energeticky efektívnejšie, zdravšie a ktoré budú okolité prostredie menej zaťažovať. Počítačové simulácie budov sa môžu aplikovať vo všetkých štádiách projektovej prípravy a pri analýzach životného cyklu budov. Uplatňujú sa v oblasti hodnotenia koncepčných návrhov stavebných diel, v štádiách ich konštruovania aj prevádzky. Najčastejšie sa využívajú dynamické simulácie tepelnej pohody, prúdenia a výmeny vzduchu, komplexnej energetickej efektívnosti, automatickej regulácie budov pri zohľadnení reálnych klimatických a prevádzkových okrajových podmienok, denného, umelého a združeného osvetlenia interiérov a exteriérov budov, a akustické simulácie.

6.1 EnergyPlus

Je to výpočtový nástroj, ktorý v sebe kombinuje najlepšie prvky dvoch výpočtových nástrojov, DOE-2 a BLAST. BLAST systém v sebe kombinuje programy pre predikciu spotreby energie, hospodárnosti systému ako aj energetických nákladov v budove. Tepelná bilancia je založená na termodynamických rovniciach riešených v reálnom čase. Vyššie verzie EnergyPlus sú doplnené o výpočtový nástroj COMIS, ktorý umožňuje zapracovať do simulácie aj prúdenie vzduchu. Tento nástroj je založený na integrovanom prístupe, teda simulácia zaťaženia a systémov, teda vedie k lepšiemu odhadu výsledných parametrov vnútorného prostredia. Zohľadňuje tiež interzonálne prúdenie vzduchu, absorpciu a desorpciu vlhkosti, reálnejšie definovanie systému kontroly HVAC systémov. Výsledky sú tak pre väčšinu simulovaných budov a systémov presnejšie a spoľahlivejšie ako v prípade využitia nástroja DOE-2. Najpokročilejšie užívateľské rozhranie, ktoré využíva nástroj EnergyPlus je simulačný program DesignBuilder. [15]

6.2 DesingBuilder

DesignBuilder kombinuje rýchlosť modelovania budov a jednoduchosť použitia prvkov najmodernejších energetických dynamických simulácií. DesignBuilder je prvým užívateľsky priateľským rozhraním pre výpočtové jadro EnergyPlus, ktoré zabezpečuje výpočty dynamickej simulácie. Najčastejšie sa využíva ku komplexnej dynamickej simulácii budov pomocou výpočtového jadra EnergyPlus, certifikáciu budov (napr. LEED, BREEAM, Green Star), hodnotenie tepelnej pohody, multikriteriálna optimalizácia, výpočet denného osvetlenia, environmentálne vyhodnotenie, analýza nákladov v priebehu celého životného

cyklu, CFD analýza vnútorných a vonkajších priestorov. Pomocou DesignBuilder sa môžu ľahko porovnávať rôzne alternatívne návrhy, optimalizovať návrhy v akejkoľvek fáze podľa požiadaviek klienta, rýchle modelovanie aj zložitejších stavieb, jednoduchý import existujúcich návrhov BIM a CAD, generovanie pôsobivých vizualizácií a krátkych filmov, zjednodušená práca s dynamickou simuláciou s využitím výpočtového jadra EnergyPlus.[15]

6.3 SolidWorks

SolidWorks je rozsiahly 3D CAD software, ktorý slúži k vytváraniu plne asociatívnych trojrozmerných prvkov s využitím tvorenia zostáv, výrobných výkresov a dokumentácie. Vo svojej triede ponúka najlepšie objemové modelovanie a vytváranie 2D výrobných dokumentácie. K výhodám patrí jednoduché a ponúka možnosť ovládania zo všetkých CAD systémov. Program má vysokú náročnosť na pamäť a výpočtový výkon počítača.

6.3.1 FlowSimulation

Jednou zo súčastí SolidWorks je nástroj FlowSimulation, ktorý slúži pre simulácie prúdenia kvapalín, účinkov ich síl a prenos tepla. Svoje uplatnenie nájde použitím v oblastiach prúdenia plynov, kvapaliny potrubia a taktiež pri analýze chladenia v uzatvorených priestorov. Prídavné moduly HVAC a Electronic Cooling ponúkajú špecializované nástroje pre podrobnú analýzu simulácii prúdenia kvapalín.

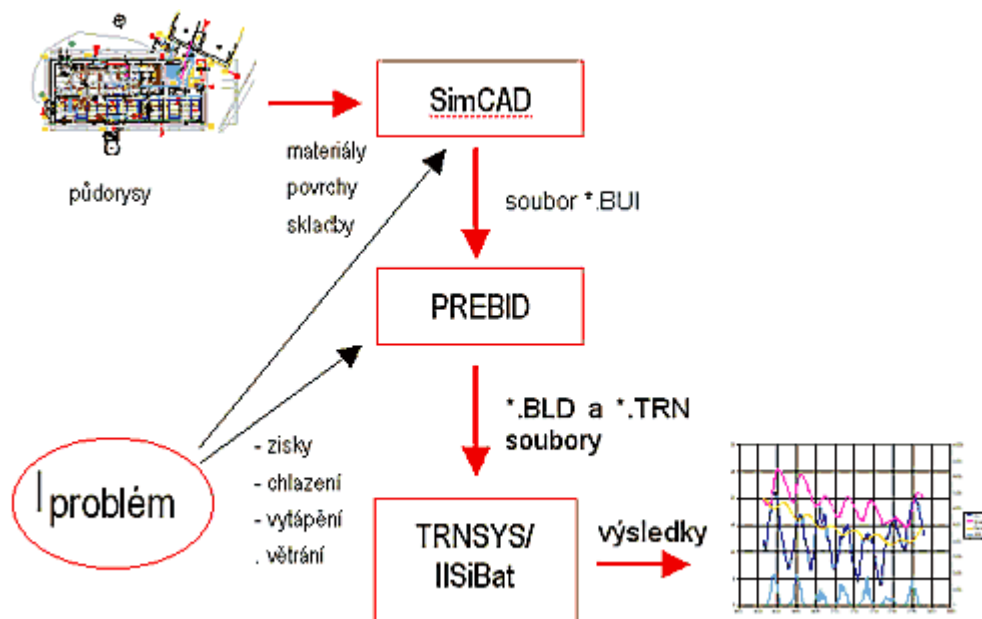
Hlavné funkcie FlowSimulation:

- analýza zdieľania tepla – vedením, prúdením a sálaním
- analýza vnútorného a vonkajšieho prúdenia
- analýza rotačnej oblasti (ventilátory, čerpadlá,...)
- analýza prechodných dejov, t.j. časovo premenného deja [16]

6.4 TRNSYS

TRNSYS je modulárny program určený predovšetkým pre dynamickú analýzu energetických systémov stavieb. Najmä energetických bilancií budov, solárnych fototermálnych sústav teplovodných, teplovzdušných fotovoltaických systémov a vzduchotechnických systémov pre teplovzdušné vykurovanie a vetranie. Pred vytvorením energetického systému v TRNSYS by mala byť spravená teoretická analýza riešenia problému, vrátane nákre-

su reálneho systému s popisom tokov energií v ňom. Dôležitým hľadiskom je určenie detailnosti simulácie. [17]

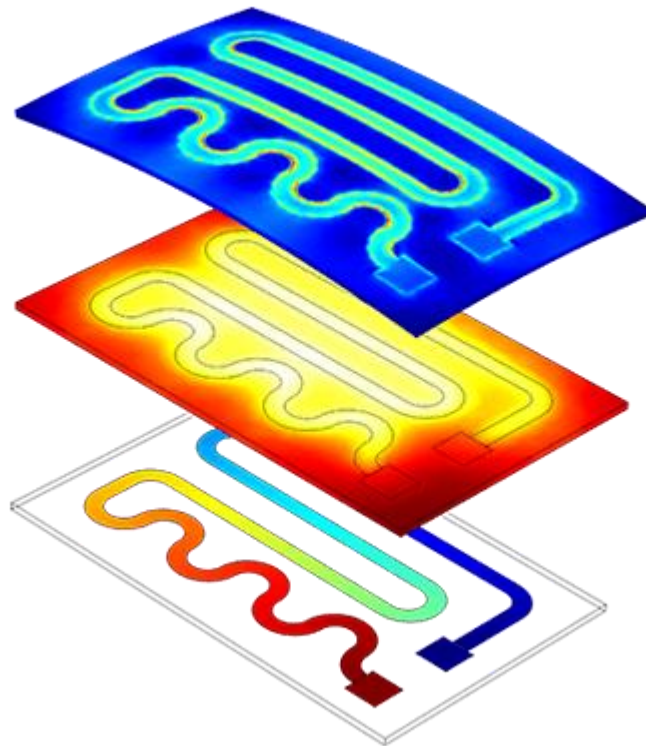


Obrázok 5 Postupnosť vytvárania a simulácie viac zónového objektu v TRNSYS [17]

6.5 FEMLAB

Program FEMLAB, od spoločnosti COMSOL Multiphysic, je nadstavba výpočtového prostredia MATLAB. Jedná sa o program, ktorý používa k modelovaniu a simulácii úloh z oblasti vedy a technickej praxe parciálne diferenciálne rovnice (PDR). Riešenie je prevedené metódou konečných prvkov. FEMLAB poskytuje k dispozícii niekoľko preddefinovaných aplikačných režimov s príslušným grafickým rozhraním. Užívateľ si môže vybrať z preddefinovaných PDR alebo si vytvoriť vlastnú aplikáciu využitím PDR vyjadrenej pomocou koeficientov. FEMLAB svoje využitie nachádza v akustike, biológii, chemických reakciách, difúzii, elektromagnetizme, dynamike tekutín, prestupe tepla, prúdení v pórovitých médiách, kvantovej fyzike, atď. FEMLAB má svoj preprocesor, procesor a postprocesor. Jadro COMSOL Multiphysics™ obsahuje knižnicu PDE pre niektoré aplikačné režimy s pripraveným grafickým rozhraním. Užívateľ si tak do pripravených dialógov zadá okrajové podmienky a vlastnosti vnútorného prostredia, ktoré sa týkajú aplikácie. Špecializované moduly teda rozširujú knižnicu PDR o ďalšie PDE. Zlučovaním viacero aplikácií sa vytvárajú úlohy multifyzikálneho modelu.

Modul Heat Transfer dokáže vykonávať výpočty týkajúce sa zachovania tepla alebo energetických bilancii, kde sú k dispozícii rôzne javy, ako sú mechanické straty, reakčné teplo. Modul obsahuje databázu vlastností materiálov ako napríklad hustotu, tepelnú kapacitu a tepelnú vodivosť. Heat transfer modul pomáha skúmať účinky vykurovania a chladenia zariadení. Poskytuje simulačné nástroje pre štúdie mechanizmov prenosu tepla vedením, prúdením a žiarením často v spolupráci s ďalšími nástrojmi ako stavebná mechanika, dynamika tekutín, elektromagnetizmu a chemické reakcie. Modul je vybavený databázou vlastností rôznych materiálov zahŕňajúcich množstvo termodynamických dát pre presnú analýzu. Vlastnosti materiálov zahŕňajú napríklad tepelnú vodivosť, tepelnú kapacitu a hustotu. Má schopnosť výpočtov týkajúcich sa zachovania tepla, energetických bilancii.[18]



Obrázok 6 Simulácia vykurovacieho okruhu v Comsol [18]

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

7 MODELOVÁ BUDOVA

Ako modelová budova bol vybraný objekt nízkoenergetického rodinného domu, ktorý sa nachádza v Plzni.



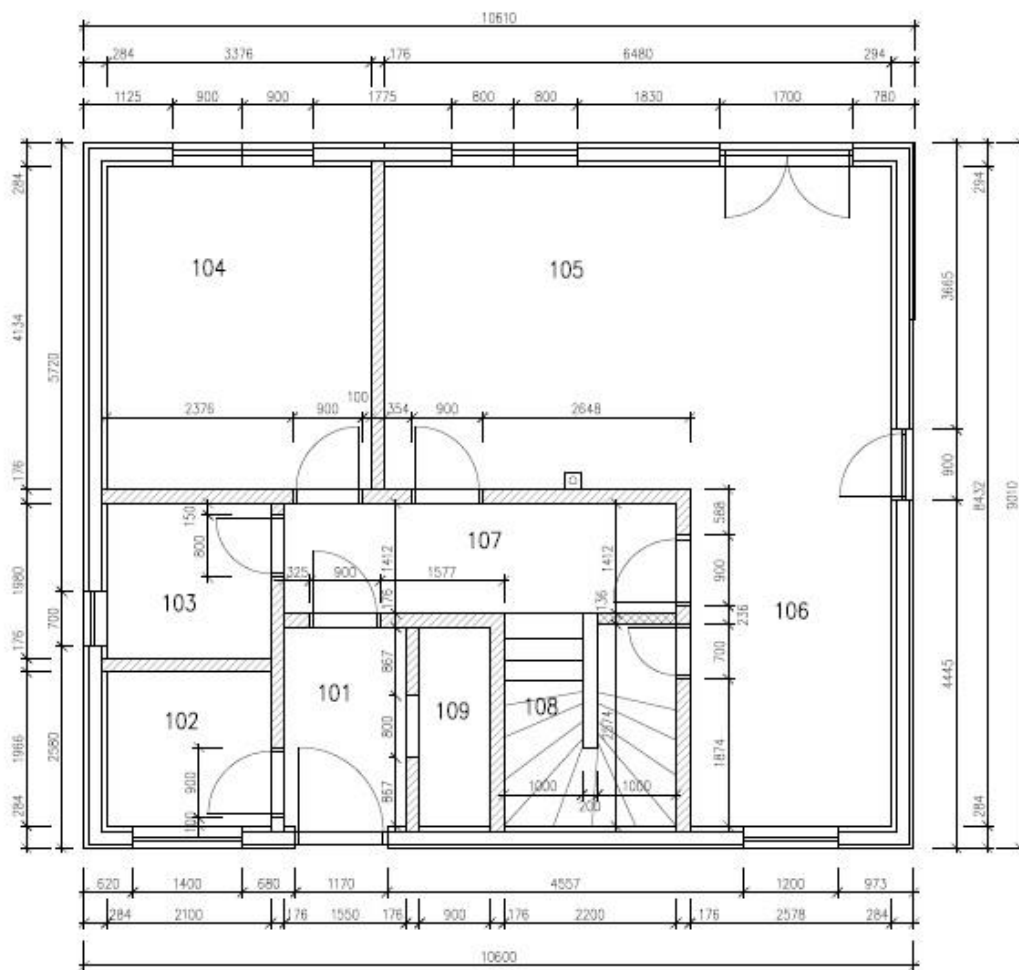
Obrázok 7 Juhovýchodný pohľad na modelový dom [19]

7.1 Popis objektu

Dom bol uvedený do prevádzky v roku 2009. Jedná sa o drevený dom v energetickej kategórii B. Je to dvojpodlažná stavba o celkovej obytnej ploche $158,37 \text{ m}^2$, z čoho 1.NP má plochu $78,86 \text{ m}^2$, 2.NP má plochu $79,51 \text{ m}^2$. Domácnosť obýva päťčlenná rodina. V rodinnom dome sa využíva ako zdroj len elektrická energia. Ohrev teplej úžitkovej vody je zaistený dvoma bojlermi, jeden pre kuchynskú prevádzku, druhý pre kúpeľnú prevádzku o objeme 200 litrov. Tento bojler je kombinovaný so solárnym zdrojom o ploche $3,56 \text{ m}^2$. Dom nemá rekurepráciu jednotku, vetranie prebieha klasickým spôsobom oknami.

7.1.1 Prvé nadzemné podlažie

V prvom podlaží sa nachádza zádverie, z ktorého sa možno dostať do technickej miestnosti a šatne. Po vstupe do domu je po ľavej strane umiestnená kúpeľňa s WC, oproti jedna izba. Toto podlažie disponuje kuchyňou spojenou s obývačkou. Schodiskovou časťou sa dostaneme do druhého podlažia. Pôdorys prvého nadzemného podlažia je zobrazený na obrázku 6.

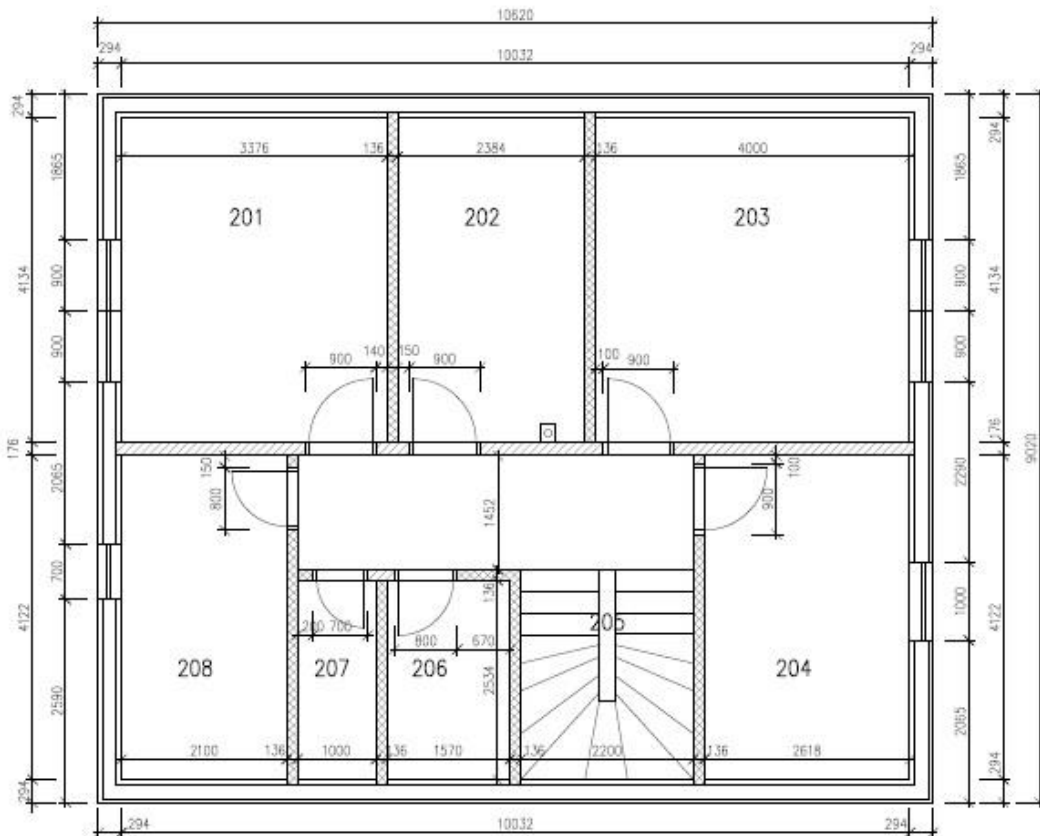


Obrázok 8 Pôdorys 1NP

Podlažie	Miestnosť	Označenie miestnosti	Plocha A [m ²]	Objem V [m ³]	Vnútoraná výpočtová teplota θ_i [°C]	Intenzita vetrania V_i [l/h]
1.NP	zádverie	101	3,93	9,8	20	0,5
	technická miestnosť	102	4,13	10,3	20	0,5
	kúpeľňa I	103	4,16	10,4	24	0,5
	izba I	104	13,96	37,3	20	0,5
	obývačka	105	26,79	71,6	20	0,5
	kuchyňa	106	11,08	27,7	24	0,5
	chodba	107	7,06	17,6	20	0,5
	schodište	108	2,8	13,7	20	0,5
	šatňa I	109	2,28	5,7	20	0,5

7.1.2 Druhé nadzemné podlažie

V druhom nadzemnom podlaží sa nachádzajú dve izby, spálňa, pracovňa, šatňa, kúpeľňa a samostatné WC. Pôdorys druhého nadzemného podlažia sa nachádza na obrázku 7.



Obrázok 9 Pôdorys 2NP

Tabuľka 10 Zoznam miestností s návrhovými parametrami

Podlažie	Miestnosť	Označenie miestnosti	Plocha A [m ²]	Objem V [m ³]	Vnútoraná výpočtová teplota θ_i [°C]	Intenzita vetrania V_i [l/h]
2.NP	spálňa	201	13,96	29,6	20	0,5
	pracovňa	202	9,86	20,9	20	0,5
	izba II	203	16,54	35,1	20	0,5
	izba III	204	10,79	22,9	20	0,5
	schodište	205	5,87	11,3	20	0,5
	šatňa II	206	3,98	7,5	20	0,5
	wc	207	2,53	4,8	20	0,5
	kúpeľňa II	208	8,66	18,4	24	0,5
	chodba	209	7,32	19,3	20	0,5

7.1.3 Vytvorenie modelu

Model domu bol vytvorený v programe Revit od nadnárodnej softwarovej spoločnosti Re-Autodesk. Software Revit pre návrh budov je špeciálne určený pre informačný model budovy (BIM), vrátane funkcií pre architektonický návrh, TZB, statiku a stavbu. Bola vymodelovaná drevostavba rodinného domu v 3D prostredí. Vytvorením stavebných konštrukcií podľa skutočnej budovy bol zhotovený realistický model. Pre konštrukciu drevostavby bol použitý rozširujúci modul Timber Framing. Výhodou Revitu je možnosť komplexného vytvorenia 3D modelu a exportovanie návrhu ako DWG súbor pre Autocad.



Obrázok 10 Model domu v Revit

Dom bol modelovaný podľa skutočných rozmerov a bola dodržaná skladba konštrukcií. Vytvorenie modelu následne uľahčuje prácu s vytvorením dokumentácie pre projekt. Program Revit taktiež ponúka možnosť energetickej analýzy projektu. Táto energetická analýza sa však stanovuje v súlade s normami ASHRAE, takže výsledné hodnoty výpočtov neboli brané ako vypovedajúce hodnoty. Pre stanovenie spotreby energie bol použitý výpočtový model Energie 2014.

7.1.4 Vykurovanie objektu

Z architektonického hľadiska sa jedná o štandardne riešený dom, ale z hľadiska teplovodného systému investor nezvolil bežný štandard. Pre vykurovanie bola zvolená elektrická energia a veľkoplošné systémy. Cieľom bolo minimalizovať investičné náklady, prevádz-

kové náklady domácnosti, náklady na údržbu a servis, maximalizovať komfort dodávky tepla, životnosť systému. Dom je plne automatizovaný.

Zvolené boli veľkoplošné systémy ECOFLOOR a ECOFILM od firmy Fenix Group a.s.. V 1.NP a v kúpeľni 2.NP boli položené atypické káblové rohože ECOFLOOR, typ PSV. V 2.NP sú nainštalované vykurovacie fólie ECOFILM, typ C, pod sadrokartónovou stropnou konštrukciou. Investičné náklady vykurovacej technológie, sú uvedené bez nákladov na materiál elektrických rozvodov a ostatných komponentov elektroinštalácie. Obe vykurovacie technológie sú inštalované do podlahovej, resp. stropnej konštrukcie. Požiadavka na ich špeciálnu údržbu je nulový, údržba a servis je rovnaký ako u štandardnej domácej elektroinštalácie.

Tabuľka 11 Investičné náklady a výkon vykurovacej technológie

Tepelná strata miestností	Podiel systému ECOFILM		Podiel systému ECOFLOOR		Celkový inštalovaný výkon a cena	
	[W]	Kč bez DPH	[W]	Kč bez DPH	[W]	Kč bez DPH
5613	4210	22 689,-	2960	14 186,-	7170	37 055

Užívateľský komfort dodávky tepla vyplýva z funkcie zvolených veľkoplošných systémov ECOFLOOR a ECOFILM. U klasického ústredného vykurovania je zdrojom tepla v miestnosti teplovodný radiátor, dochádza k dodávke tepla z jedného bodu o vysokej teplote, od ktorého sa teplo šíri cirkuláciou teplého vzduchu a miestnosť je prehrievaná od stropu dole. Pretože vykurovanie je o pocitoch, cítime sa v komfortne teplom priestore až v momente, kedy je požadovaná komfortná teplota dosiahnutá u podlahy, teplo pri nohách vnímame najcitlivejšie. Najteplejšie je však u týchto systémov v priestore pod stropom. Aby sme dosiahli požadovanú komfortnú teplotu pri podlahe, je potrebné miestnosť prekúriť, čo však nie je z ekonomického hľadiska žiaduce. Toto negatívum celkovo odstraňujú podlahové a stropné veľkoplošné systémy, ktoré zaručujú rovnomerné rozloženie teplôt v horizontálnej a vertikálnej rovine miestnosti. Táto rovnomernosť teplôt je jedným z hlavných dôvodov vysokého komfortu pre vykurovanie a predovšetkým u systémov elektrického priameho vykurovania pri súčasne nízkych prevádzkových nákladoch. Systém podlahového vykurovania, ktorý je predovšetkým veľmi príjemný hlavne u tzv. studených po-

dlahových krytín, ako je dlažba, laminátová plávajúce podlaha a pod., je dnes už celkom bežne využívaný a najmä v kúpeľniach patrí k bežnému štandardu.

Tabuľka 12 Návrh, dimenzovanie a inštalovaný výkon vykurovacej sústavy

Podlažie	Miestnosť	Označenie miestnosti	Q_c [W]	Potrebný výkon [W]	Inštalovaný výkon [W]
1.NP	zádverie	101	203	244	260
	technická miestnosť	102	169	203	200
	kúpeľňa I	103	213	256	290
	izba I	104	500	600	640
	obývačka	105	1088	1306	1510
	kuchyňa	106	432	519	390
	chodba	107	239	287	280
	šatňa I	109	59	71	90
2.NP	spálňa	201	530	636	644
	pracovňa	202	285	342	358
	izba II	203	564	677	728
	izba III	204	378	354	470
	schodište	205	210	252	240
	šatňa II	206	112	135	168
	wc	207	73	88	112
	kúpeľňa II	208	396	476	550
	chodba	209	162	195	240
Celkom			5613	6741	7170

8 STANOVENIE PARAMETROV OBJEKTU

8.1 Okrajové podmienky

Pre rodinný dom boli určené okrajové podmienky výpočtov podľa normy ČSN 730540-3, konkrétne príloha H. Stavba sa nachádza v lokalite mesta Plzeň s nadmorskou výškou 311 m n. m. spadá do teplotnej oblasti číslo dva a návrhová výpočtová oblasť je $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dĺžka vykurovacieho obdobia bola stanovená z normy ČSN EN ISO 13790.

Tabuľka 13 Okrajové podmienky výpočtu

Lokalita	Plzeň
Nadmorská výška	311 m n. m.
Vonkajšia návrhová teplota	$-15\text{ }^{\circ}\text{C}$
Počet vykurovacích dní	272

8.2 Stanovenie súčiniteľu prestupu tepla

Dôležitým krokom pre posudzovanie budovy z rôznych hľadísk ako napríklad posudzovanie strát, spotreby energie apod., je stanovenie súčiniteľu prestupu tepla. Tento súčiniteľ slúži k hodnoteniu kvality stavby, od ktorej závisí ekonomickosť vykurovania a prevádzka domu. Pre určenie prestupu tepla v jednotlivých konštrukciách bol vybraný program Teplo 2014 od firmy Svoboda software. Zloženie jednotlivých konštrukcií sa nachádza v tabuľke 10. Návrh skladby obálky musí spĺňať požiadavky z tepelno-izolačných vlastností a nesmie dochádzať ku kondenzácii vodných pár, pretože by v dome mohli vznikáť plesne. Norma ČSN 73 0540-2, uvádza požadované hodnoty súčiniteľu prestupu tepla.

8.3 Posúdenie konštrukcií

Stavba je realizovaná dvoma druhmi obvodových stien. V konštrukcii 1. NP bola použitá obvodová stena s fasádou a obvodová stena s dreveným obkladom, ktorá je o 0,1m silnejšia. V 2.NP je použitá obvodová stena len s dreveným obkladom. V tabuľke 15 je uvedená doporučená hodnota pre pasívne domy. Skladba stien bola navrhnutá tak, aby spĺňala požiadavky súčiniteľu prestupu tepla a s ohľadom na kondenzáciu vodných pár v konštrukcii.

Tabuľka 14 Požadovaná, doporučená a vypočítaná hodnota súčiniteľu prestupu tepla

Konštrukcia	Súčiniteľ prestupu tepla U [W/(m ² K)]		
	Požadovaná hodnota $U_{N,20}$	Doporučená hodnota $U_{rec,20}$	Vypočítaná hodnota U
Stena obvodová A	0,3	0,18 - 0,12	0,135
Stena obvodová B	0,3	0,18 - 0,12	0,149
Strecha šikmá do 45°	0,24	0,15 - 0,10	0,162
Podlaha	0,45	0,3	0,332
Strop pod nevykurovanou povalou	0,3	0,15 - 0,10	0,148
Stena vnútorná nosná	0,75	0,38 - 0,25	0,269
Stena vnútorná nenosná	0,75	0,38 - 0,25	0,359

Príklad zloženia obvodovej steny A je uvedený v tabuľke 16.

Tabuľka 15 Skladba obvodovej steny A

Konštrukcia	Materiál	Hrúbka d [m]
Stena obvodová A	Sadrokartón	0,012
	Isover Domo Comfort	0,06
	OSB desky	0,012
	Isover Maxil	0,14
	Isover EPS-F-Clima Sd	0,06

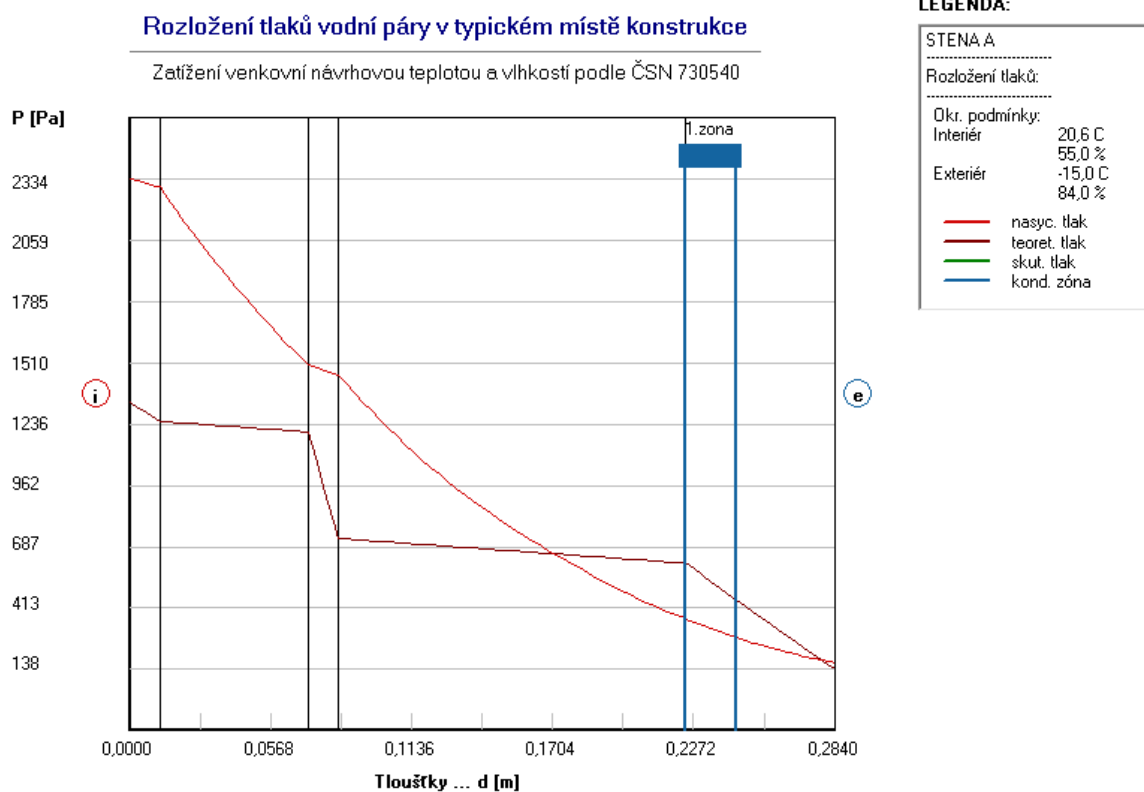
Tepelný odpor a súčiniteľ prestupu tepla:

- Tepelný odpor konštrukcie R : 6,528 [W/(m²K)]
- Súčiniteľ prestupu tepla konštrukcie U : 0,149 [W/(m²K)]

Celková bilancia vlhkosti:

- Množstvo skondenzovanej vodnej pary za rok $M_{c,a}$: 0,2335 [kg/m².rok]
- Množstvo vypariteľnej vodnej pary za rok $M_{ev,a}$: 5,7934 [kg/m².rok]

Ku kondenzácii v konštrukcii dochádza pri vonkajšej teplote nižšej než 0 °C. Konštrukcia vyhovuje požiadavkám, keďže množstvo skondenzovanej pary za rok je menšie ako množstvo pary, ktoré skondenzuje v konštrukcii.



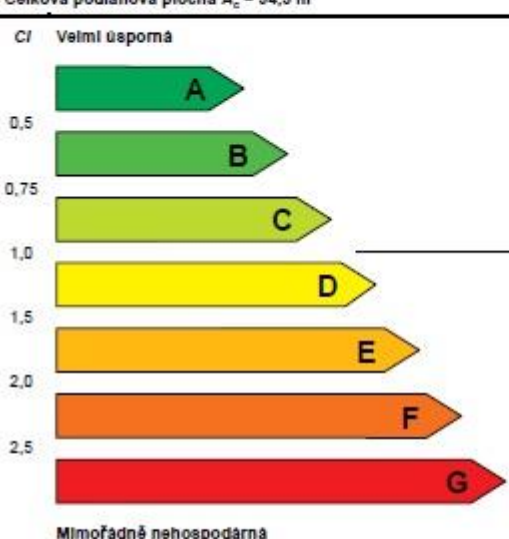
Obrázok 11 Kondenzácia vodnej pary v konštrukcii

8.4 Energetický štítok budovy, energetický štítok obálky budovy

K vypracovaniu energetického štítku budovy je potrebné určiť tepelné straty pre jednotlivé miestnosti v objekte, určené boli podľa normy ČSN EN 12831 a ČSN 73 0540 . Energetická náročnosť budovy je hodnotená stupnicou, ktorá obsahuje sedem bodov v rozmedzí A až G.

Pri skúmaní jednotlivých stavebných konštrukcií domu sa musia uvažovať aj výplňové otvory, ako sú dvere a okná. Obálku budovy uzatvárajú podlaha a strop.

Energetický štítok budovy obálky konštrukcie bol vytvorený pomocou programu Ztraty 2014. Výsledná hodnota obálky budovy je kategórie B, t.j. úsporná.

ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY						
(Typ budovy, místní označení) (Adresa budovy)				Hodnocení obálky budovy		
Celková podlahová plocha $A_c = 94,5 \text{ m}^2$				stávající	doporučení	
C/ Velmi úsporná 						
KLASIFIKACE						
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{em} ve $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$				$U_{em} = H_T / A$	0,24	
Požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy podle ČSN 73 0540-2				$U_{em,N}$ ve $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0,32	0,32
Klasifikační ukazatele C/ a jim odpovídající hodnoty U_{em}						
C/	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
U_{em}	0,16	0,24	0,32	0,48	0,64	0,80
Piatnosť štítiku do:			Datum vystavení štítiku:			
Štítek vypracoval(a):		(Jméno a příjmení)				
		(Kvalifikace)				

Obrázok 12 Energetický štítok obálky budovy

8.5 Tepelné straty

Podľa normy ČSN EN 12831 boli vypočítané tepelné straty pre každú miestnosť a jej návrhovú teplotu. Pri tepelných stratách je potrebné uvažovať aj stavebné otvory, ako sú okná, dvere apod. Súčtom tepelných strát prestupom $\Phi_{T,I}$ a tepelných strát vetraním $\Phi_{V,I}$ získame celkový návrhový výkon Φ_{HL} .

Celkový návrhový výkon Φ_{HL} 4,780 kW

- Súčet tepelných strát prestupom $\Phi_{T,I}$ 2,488 kW
- Súčtom tepelných strát vetraním $\Phi_{V,I}$ 2,292 kW

Tabuľka 16 Straty prestupom, straty vetraním, celkový výkon

Podlažie	Miestnosť	Označenie miestnosti	Strata prestupom [W]	Strata vetraním [W]	Celková strata [W]
1.NP	zádverie	101	222	60	282
	technická miestnosť	102	128	54	182
	kúpeľňa I	103	74	76	150
	izba I	104	269	228	497
	obývačka	105	426	438	864
	kuchyňa	106	239	170	409
	chodba	107	35	108	143
	schodište	108	75	84	159
	šatňa I	109	34	35	69
2.NP	spálňa	201	210	181	391
	pracovňa	202	69	128	198
	izba II	203	232	215	447
	izba III	204	180	140	320
	schodište	205	37	69	106
	šatňa II	206	26	46	72
	wc	207	17	29	46
	kúpeľňa II	208	169	112	282
	chodba	209	46	118	164
Celkom			191,4	374	4780

Pre modelovú budovu bol určený energetický štítok, ktorý je uvedený v kapitole 8.4.

9 URČENIE TEPELNEJ STABILITY

Pre budovu drevostavby bol vyhotovený výpočtový model objektu v simulačnom programe. Pre tento účel bol použitý program Simulace 2014, ktorý vyvinula firma Svoboda software.

Experimentálny model bol vymodelovaný podľa skutočných parametrov objektu. Do simulačnej časti bola vybraná tzv. kritická miestnosť. Obalové konštrukcie miestnosti boli presne zadané podľa skutočných rozmerov. Potrebné pre vyhodnotenie modelovej miestnosti boli hodnoty intenzity slnečného žiarenia a teploty vonkajšieho vzduchu. Priebeh dennej teploty bol získaný z meteorologickej stanice Plzeň – Košutka a tieto hodnoty boli priamo nastavené do tabuľky programu. Intenzita slnečného žiarenia dopadajúca na jednotlivé orientované plochy bola stanovená programom.

9.1 Tepelná stabilita miestnosti v zimnom období

Ako kritická miestnosť bola zvolená izba v 2.NP č.203. Jednotlivé rozmery a skladby konštrukcií boli dosadené do programu až po overení ich správností. Návrh bol zhotovený tak, aby sa čo najviac podobal skutočnej skladbe konštrukcie drevostavby. Do programu Simulace 2014 boli zadané všetky okrajové podmienky. U objektu neboli uvažované žiadne zdroje tepla. V izbe sa uvažuje stredné množstvo nábytku. Posudzovaný deň bol zvolený najchladnejší deň v roku 2014, a to pripadá na 29.12., kedy teplota vonkajšieho vzduchu dosiahla $-11,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Priesvitné konštrukcie boli nastavené nasledovne:

- rozmer okna je $2,34\text{m}^2$
- súčiniteľ prestupu tepla $1\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Tabuľka 17 Okrajové podmienky výpočtu

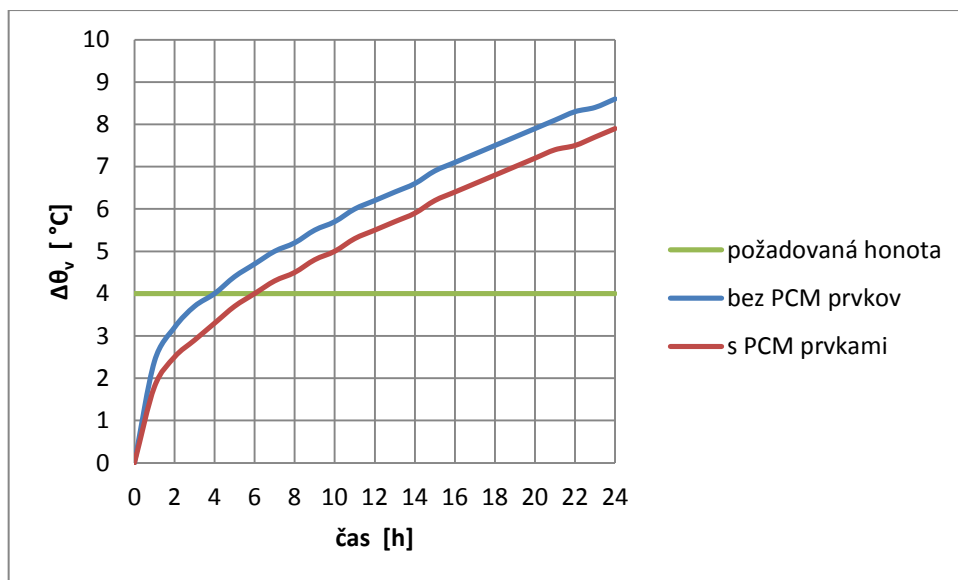
Vonkajšia návrhová teplota θ_e	$-15\text{ }^{\circ}\text{C}$
Návrhová vnútorná teplota θ_i	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Návrhová teplota vnútorného vzduchu θ_{ai}	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Počet hodnotených dní	1
Merné objemové teplo v miestnosti C_v	$1217\text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$

Simulácia bola spravená pre dva varianty. V prvom variante sa jedná len o prázdnu miestnosť. K druhému variantu boli do miestnosti pridané PCM materiály. Tak, že sa do simulácie pridali ako ďalšia nepriesvitná konštrukcia s nastavenými parametrami podľa výrobcu. Vybraný bol systém DELTA – COOL 24 od firmy Dörken.

PCM panely boli nastavené nasledovne:

- plocha $9,36 \text{ m}^2$
- súčiniteľ tepelnej vodivosti pre pevnú fázu $1,12 \text{ W/(m.K)}$
- súčiniteľ tepelnej vodivosti pre kvapalnú fázu $0,5 \text{ W/(m.K)}$
- špecifická tepelná kapacita pevnej fázy $2,7 \text{ kJ/(kg.K)}$
- špecifická tepelná kapacita kvapalnej fázy $2,2 \text{ kJ/(kg.K)}$

Keďže v miestnosti sa nachádza podlahové vykurovanie, tak v experimentálnej miestnosti s pobytom ľudí po prerušení vykurovania nemá byť pokles výslednej teploty v miestnosti vyšší ako $4 \text{ }^\circ\text{C}$.



Obrázok 13 Grafický priebeh výslednej teploty v miestnosti behom chladnutia

Priebeh poklesu výslednej teploty v miestnosti s pridanými PCM materiálmi je nižší. Vďaka akumulovanému teplu si miestnosť drží stabilitu a chladnutie je pomalšie. Pri variante bez PCM materiálov je rýchlejší pokles teploty v počiatku chladnutia. Potreba tepla pri prerušení vykurovania je vo variante s akumulačnými materiálmi menšia. Z výsledku teda vyplýva, že s použitím akumulačných panelov sa docieli úspora tepla. V grafickom priebehu je vidieť, že požiadavka poklesu výslednej teploty je splnená pre maximálnu dĺžku vy-

kurovacej prestávky štyri hodiny pre miestnosť bez akumulčných panelov a šesť hodín pre miestnosť s použitými akumulčnými prvkami.

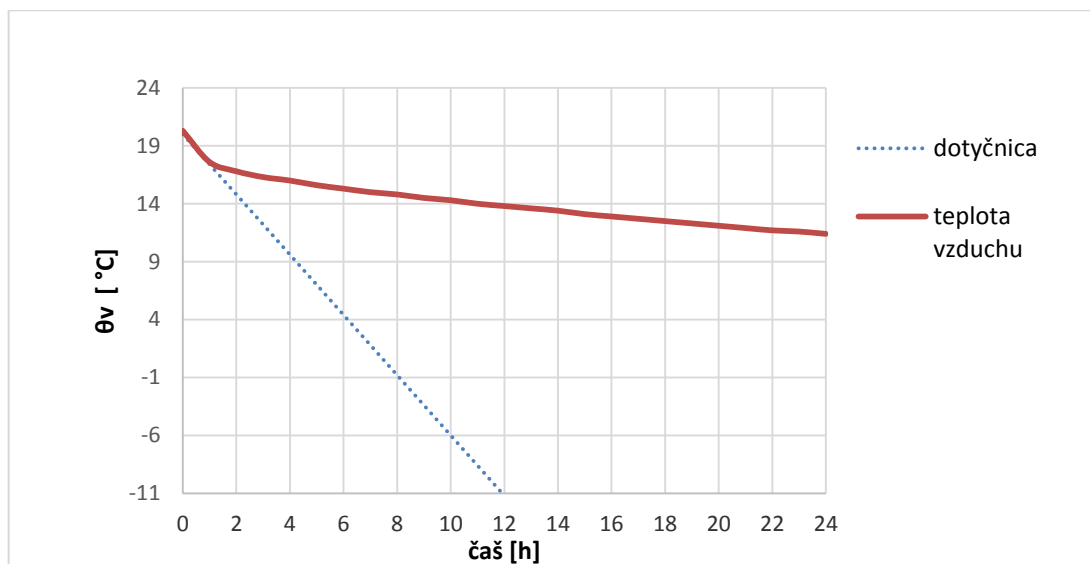
9.1.1 Časová konštanta

Z nasimulovaných dát bola pre jednotlivé varianty určená časová konštanta. Bolo potreba určiť inflexný bod, ktorý je v bode 23 hodín pre prvý variant a 22 hodín pre druhý variant. Pomocou lineárnej regresie boli určené rovnice dotyčnice k inflexnému bodu, ktoré sú v tvare:

$$1) y = -0,16t + 19,259$$

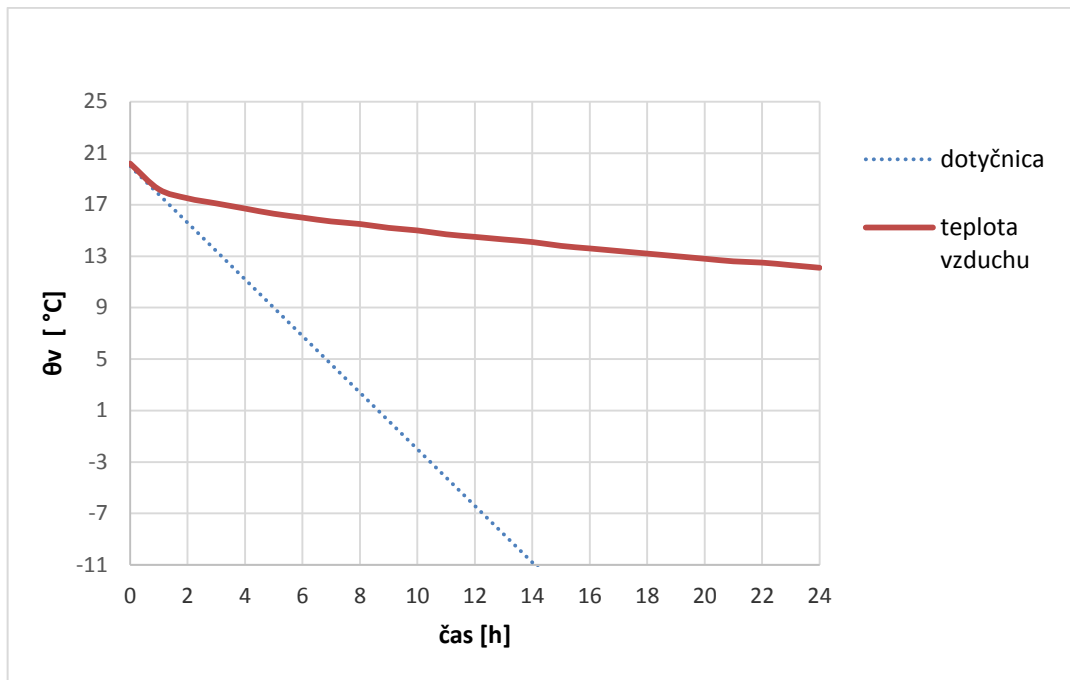
$$2) y = -0,17t + 19,259$$

Dosadením času do rovníc vzniknú dotyčnice k poklesu teplôt v miestnosti. Časovú konštantu odčítame v hodnote vonkajšieho vzduchu $-11,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obrázok 14 Grafický priebeh poklesu teploty v miestnosti bez pridaných akumulčných materiálov

Z grafického priebehu je zrejmé, že časová konštanta chladnutia kritickej miestnosti bez pridaných akumulčných materiálov je 12 hodín.



Obrázok 15 Grafický priebeh poklesu teploty v miestnosti s pridaním akumuláčnych materiálov

Z tohto grafického priebehu je možné určiť časovú konštantu chladnutia miestnosti s pridanými akumuláčnymi PCM materiálmi, ktorej hodnota je 14 hodín.

9.2 Tepelná stabilita miestnosti v letnom období

Pre zhodnotenie tepelnej stability miestnosti v letnom období bol vybraný najteplejší deň roku 2014, a to 10.6.2014, kedy maximálna teplota vzduchu bola 34,8 °C. Vyhodnotenie tepelnej stability miestnosti je v súlade s normou ČSN ISO 13 792. Do programu Simulace 2014, boli pre výpočet teplôt zadané hodnoty teploty z meteorologickej stanice Plzeň – Košutka. U objektu neboli uvažované žiadne vnútorné zdroje tepla. Boli stanovené opäť dva varianty posudzovania stability miestnosti pre letné obdobie. Prvý variant je pre miestnosť bez akumuláčnych PCM materiálov, v druhom variante sú už uvažované PCM materiály.

Priesvitné konštrukcie boli nastavené nasledovne:

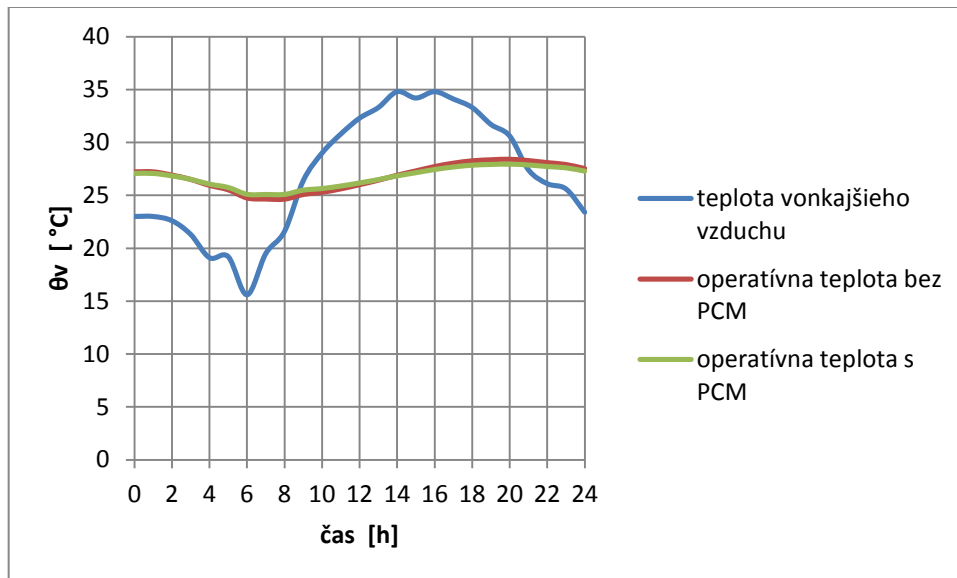
- rozmer okna je 2,34m²
- súčiniteľ prestupu tepla 1 W/(m²K)

Potom výsledné parametre charakterizujúce priesvitnú konštrukciu boli:

- celková priepustnosť slnečného žiarenia pre číre dvojsklo $g = 0,72$

- činiteľ prestupu snečného žiarenia $\tau_E = 0,64$

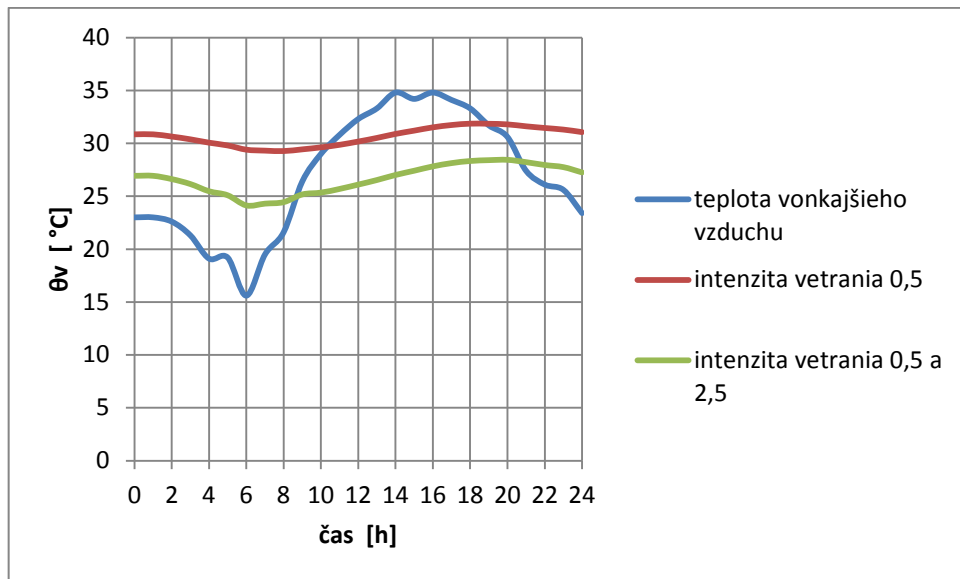
Hodnoty intenzity celkového snečného žiarenia pre jednotlivé orientácie boli prevzaté z normy ČSN 73 0540-3 konkrétne z Tab. H8. Hodnoty intenzity vetrania boli určené podľa normy ČSN 73 0540-3 konkrétne z Tab. H9



Obrázok 16 Grafický priebeh teplôt v priebehu modelového dňa

Z grafického priebehu teplôt môžeme vyhodnotiť, že najvyššia hodnota operatívnej teploty je 28,4 °C. Použitie PCM prvkov, výrazne neovplyvnilo výslednú operatívnu teplotu. Dôvodom môže byť, že použité panely nemajú až tak dobrú schopnosť akumulovať chlad. Pre tieto účely by bolo vhodné použiť iný druh PCM prvkov, ktoré by zastávali funkciu pasívneho chladenia.

Pre porovnanie bol ešte nasimulovaný experimentálny model, kde sa mení intenzita vetrania. Opäť boli nasimulované dva varianty. Jeden variant je s intenzitou vetrania 0,5 a druhý variant je nastavená podľa ČSN 73 0540-3 Tab.H9, kedy je intenzita kombináciou hodnôt 0,5 a 2,5. Jedná sa o vetranie kedy sú okná otvorené 50% v noci a 10% cez deň.



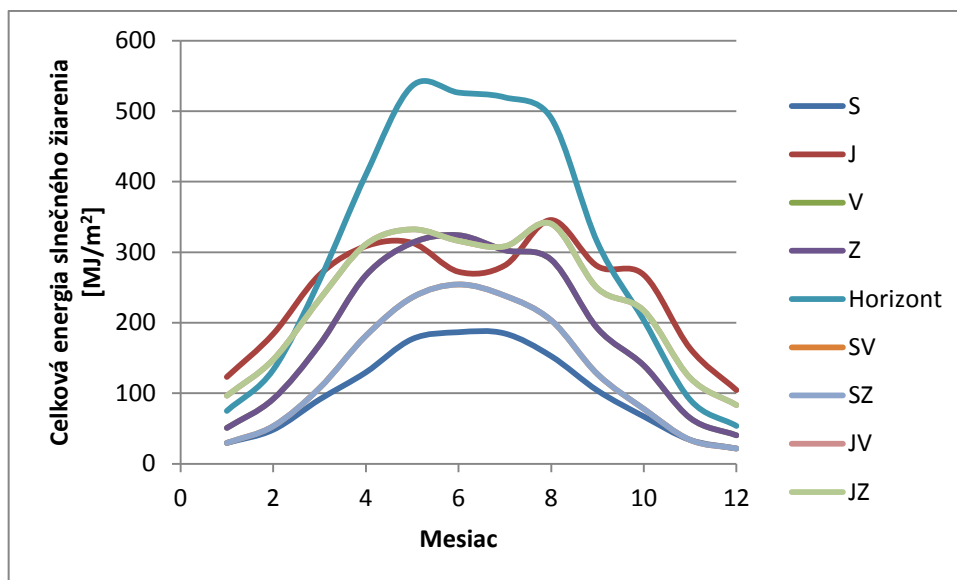
Obrázok 17 Grafický priebeh teplôt pri rôznej intenzite vetrania

Ako je možné vidieť z grafu teplota vnútorného vzduchu miestnosti sa pri rôznej intenzite vetrania líši. Nočnou výmenou vzduchu sa docielia priaznivé teploty interiéru. Rozdiel teplôt pri týchto výmenách vzduchu je 3,4 °C.

10 SPOTREBA ENRGIE V MODELOVEJ BUDOVE

Pre určenie spotreby energie v modelovej budove bol použitý program Energie 2014, výpočet je prevedený s súlade s normou ČSN 73 0540-2, ČSN EN 13 790 a ČSN EN 13789. Stanovenie celkovej ročnej potreby energie je uvedené v kapitole (4.4). Výpočet bol realizovaný pre dva varianty, a to modelový dom s navrhnutým systémom vykurovania, chladenia v ľahkých stavebných konštrukciách a pre modelový dom s pridanými PCM materiálmi.

Pre výpočet boli použité vonkajšie podmienky podľa TNI 730331. Priemerná teplota exteriéru je $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obrázok 18 Grafický priebeh slnečnej radiácie počas roka

Modelový dom, pre ktorý bola určená celková ročná potreba energie, bol navrhnutý s jednou vykurovacou zónou. Stanovením tejto zóny sa zanedbali vnútorné priečky domu. Celkový popis zóny sa nachádza v tabuľke 19.

Tabuľka 18 Základný popis zóny

Typ zóny pre určenie $U_{em,N}$	nová obytná budova
Typ zóny pre referenčnú budovu	rodinný dom
Typ pre hodnotenie	nová budova
Objem z vonkajších rozmerov	$477,04\text{ m}^3$
Podlahová plocha (celková vnútorná)	$78,86\text{ m}^2$
Celková podlahová plocha (vonkajšia)	$95,47\text{ m}^2$

Vnútorná teplota (zima/leto)	20,0 °C / 27,0 °C
Typ vykurovania	neprerušované
Chladenie v prevádzke	7,0 dní v týždni
Priemerné vnútorné zisky	168 W

Tabuľka 19 Hodnoty pre výpočet vnútorných ziskov

Produkcia tepla (osoby/spotrebiče)	1,5+3 W/m ²
Časový podiel (osoby/spotrebiče)	70+20 %
Minimálna prípustná osvetlenosť	50 lx
Priemerná účinnosť osvetlenia	40 %

Pre výpočet vnútorných ziskov boli použité hodnoty uvedené v tabuľke 20. Osvetlenie je ovládané manuálne. Vetrание v zóne je prirodzené s minimálnou hygienickou intenzitou vetrания v zóne 0,5 l/h.

Zóna je v teplých mesiacoch chladená chladiacim systémom. Návrhová vnútorná teplota v chladiacom režime je 27 °C a chladenie je funkčné sedem dní v týždni. Ako zdroj chladenia bol navrhnutý multi-splitový systém so vzduchom chladeným kondenzátorom. Chladiaci faktor zdroja chladu EER je 2,7.

Pre vykurovanie bol zvolený elektrický kotol. Pre stanovenie mernej dodanej energie na prípravu teplej vody je potrebné zadať mernú potrebu tepla spolu s parametrami zdrojov tepla a solárnych kolektorov.

Tabuľka 20 Parametre pre vykurovací systém a prípravu teplej vody

Účinnosť zdieľania tepla	91 %
Objem akumuláčnej nádoby	200 l
Merná tepelná strata	7,9 Wh/(l.deň)
Elektrický príkon čerpadiel	49,2 W
Merná potreba tepla na prípravu TV	10 kWh/(m ² .rok)
Účinnosť zdroja prípravy teplej vody	99 %

Celkový solárny zisk jednotlivými konštrukciami bol vypočítaný v súlade s normou ČSN ISO 13 790. Vzhľadom k výpočtovej náročnosti a komplikáciami s meteorologickými dátami, bol k tomu účelu použitý software Energie 2014.

Tabuľka 21 Celkový solárny zisk jednotlivými konštrukciami

Mesiac	1	2	3	4	5	6
	Q_s [MJ]					
Zisk vykurovanie	477,3	874,5	1538,1	2252,4	2556,2	2530,6
Zát'az (chladenie)	546	983,5	1721,3	2515,4	2857,5	2831,6
Mesiac	7	8	9	10	11	12
	Q_s [MJ]					
Zisk vykurovanie	2424,2	2491,7	1704,4	1345,3	644,9	372,8
Zát'az (chladenie)	2713,1	2781,8	1906,1	1505,4	729,9	430,2

10.1 Vnútoraná tepelná kapacita

Pre stanovenie časovej konštanty miestnosti bola použitá norma ČSN EN ISO 13 790. Najskôr bolo potrebné stanoviť vnútornú tepelnú kapacitu. Maximálna započítateľná hrúbka určenia faktoru využiteľnosti tepelných ziskov, resp. strát bola stanovená do hrúbky 0,1 m zo skladby konštrukcie od interiéru. Keďže výpočet je riešený pre celkovú zónu budovy, vnútorné skladby stien sa zanedbávajú. V tabuľke 23 sú uvedené jednotlivé materiály konštrukcií s hrúbkou vrstvy, ktorá je prepočítaná maximálnu započítateľnú hrúbku.

Tabuľka 22 Merná tepelná kapacita jednotlivých konštrukcií

Konštrukcia	Vrstva	d_j [m]	c_j [J/(kg.K)]	ρ_j [kg/m ³]	κ_j [J/(m ² K)]	C_m [J/K]
Stena obvodová A	Sadrokartón	0,012	1060	750	9540	2365627
	Isover Domo C	0,06	840	11,5	579,6	
	OSB dosky	0,012	1700	650	13260	
	Isover Maxil	0,016	800	75	960	
Spolu		0,1			24339,6	
Stena obvodová B	Sadrokartón	0,012	1060	750	9540	654617
	Isover Domo C	0,06	840	11,5	579,6	
Spolu		0,1			10390,1	

Strop	Sadrokartón	0,012	1060	750	9540	728688,9
	Isover Domo C	0,06	840	11,5	580	
	Isover Maxil	0,028	800	75	1680	
Spolu		0,1			11799,6	
Podlaha	Baumit Nivello	0,012	840	1680	128520	16200241,3
	Beton hutný	0,088	1020	2100	1067	
Spolu		0,1			129587	

Plošnú kapacitu materiálu vypočítame nasledovne:

$$\kappa_j = \rho_j \cdot d_j \cdot c_j$$

$$\kappa_1 = 750 \cdot 0,012 \cdot 750 = 6750 \text{ J/m}^2\text{K}$$

Potom výpočtom určíme tepelnú kapacitu konštrukcie (príklad strop) zo vzťahu:

$$C_m = \sum \kappa_j \cdot A_j$$

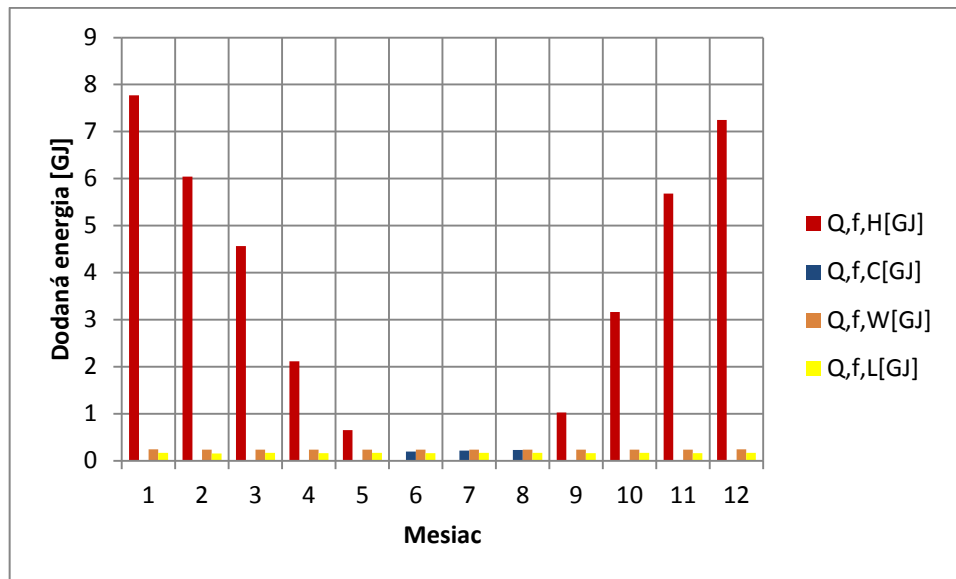
$$C_m = 11799,6 \cdot 61,8 = 728688,92 \text{ J/K}$$

10.2 Spotreba energie pre budovu ľahkými obvodovými konštrukciami

Pre určenie spotreby energie boli zadané skladby jednotlivých obalových konštrukcií a konštrukcií výplňových otvorov, podľa skutočnej skladby. Bolo treba zadať ich orientáciu, súčiniteľ prestupu tepla, priepustnosť slnečného žiarenia, sklon a plochu. Zóna nesusedí so žiadnym nevykurovaným priestorom, takže parametre pre túto časť sa nenastavujú. Z vypočítanej vnútornej tepelnej kapacity obvodových konštrukcií, bola stanovená časová konštanta zóny na 37,17 hodín.

Tabuľka 23 Merný tepelný tok pre vykurovanie

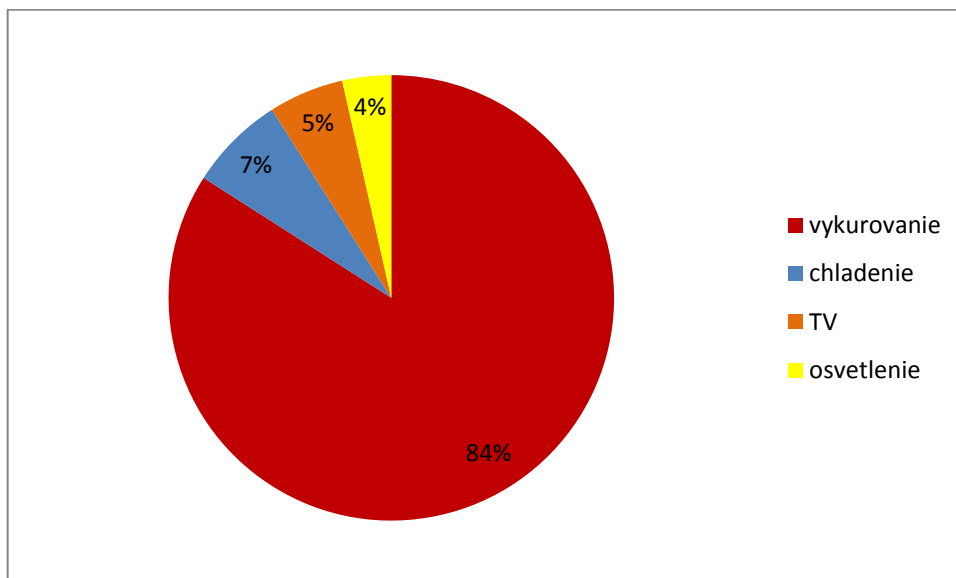
	Merný tok [W/K]	Podiel [%]
Merný tok vetraním H_v	33,059	22,40%
Merný (ustálený) tok zeminou H_g	41,05	27,81%
Merný tok od nevykurovaných priestorov H_u	0	0,00%
Merný tok tepelnými väzbami H_{tb}	0	0,00%
Merný tok do exteriéru konštrukciami $H_{d,c}$	73,503	49,79%
Celkový merný tok pre vykurovanie H	147,612	100,00%



Obrázok 19 Mesačné dodané energie do budovy

Na obrázku 19 je zobrazená spotreba energie jednotlivých systémov v mesačnom priebehu. Chladenie prebieha v mesiacoch jún až august.

Súčtom jednotlivých energií, získame potrebu dodanej energie budovy za rok. Na obrázku 20 je zobrazený koláčový graf, zastúpení jednotlivých častí dodávky energie. Najviac energie sa spotrebuje pre vykurovanie.



Obrázok 20 Celkové merné dodané energie do budovy

10.3 Spotreba energie pre budovu s použitými PCM materiálmi

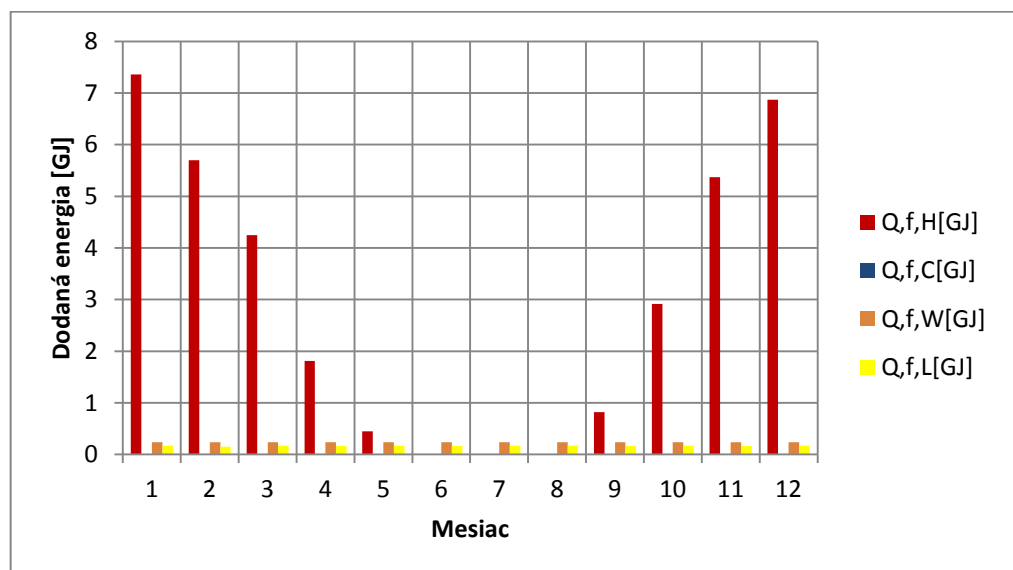
Pridaním PCM materiálov do stien konštrukcie sa zlepšia akumulčné vlastnosti steny. Boli pridané panely DELTA-COOL 24 od firmy Dörken. Hrúbka týchto panelov je 3 cm.

Pridaním PCM panelov do steny konštrukcie vznikla nová konštrukcia s lepšimi akumulčnými vlastnosťami. Pre zónu s touto stenou bolo potrebné stanoviť vnútornú tepelnú kapacitu. V tabuľke 25 sú uvedené materiály konštrukcie stien konštrukcií s hrúbkou, ktorá je taktiež prepočítaná na maximálnu započítateľnú hrúbku, ako je uvedené v kapitole 10.1.

Tabuľka 24 Merná tepelná kapacita pre obvodové konštrukcie s použitými PCM

Konštrukcia	Vrstva	d_j	c_j	ρ_j	κ_j	C_m
		[m]	[J/(kg.K)]	[kg/m ³]	[J/(m ² K)]	
Stena obvodová A	Sadrokartón	0,012	0,22	1060	750	13506675
	Vrstva pevná	0,004	1,12	2700	810	
	Vrstva kryštalická	0,026	0,56	2200	2100	
	Isover Domo C	0,06	0,43	840	11,5	
Spolu	0,1			138968,3		
Stena obvodová B	Sadrokartón	0,012	0,22	1060	750	87555575
	Vrstva pevná	0,004	1,12	2700	810	
	Vrstva kryštalická	0,026	0,56	2200	2100	
	Isover Domo C	0,06	0,43	840	11,5	
Spolu	0,1			138968,3		

Následne bola určená nová časová konštanta zóny s pridaním akumulčných panelov do stien, ktorá vyšla 54,3 hodiny.



Obrázok 21 Mesačné dodané energie do budovy s použitými PCM materiálmi

S použitím PCM materiálov nie je potreba chladit' zónu prídavným chladením. Chladienie v zóne bude pasívne, takže nie je pri ňom žiadna spotreba energie. K chladieniu zóny dochádza zberom chladu do akumuláčnych panelov počas noci.

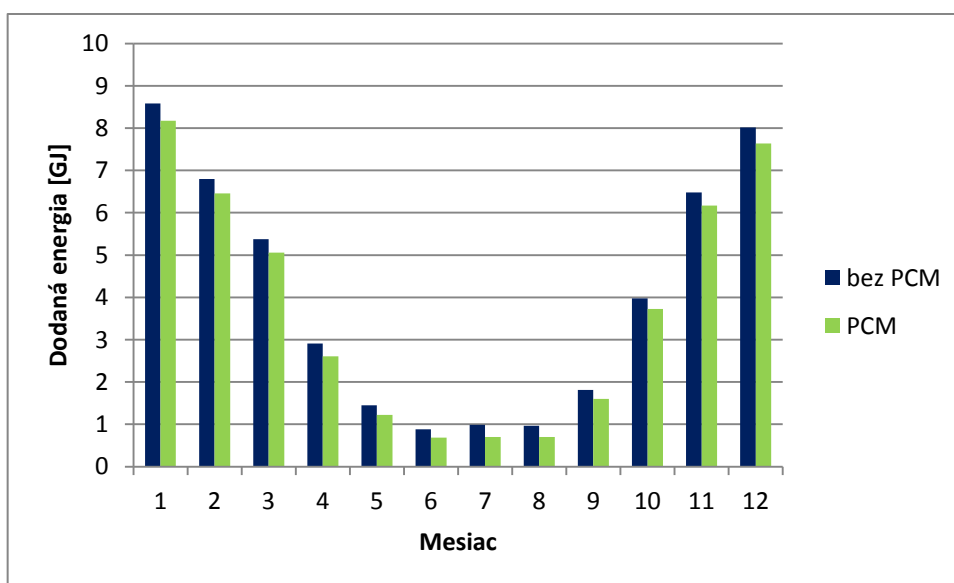
10.4 Záverečné porovnanie spotreby energie

V tabuľke 26 sa nachádza porovnanie celkovej ročnej dodanej energie pre jednotlivé prípady. Tretia hodnota je skutočná ročná spotreba energie z vyúčtovania energií za rok 2010 v rodinnom dome v Plzni. Hodnota celkovej ročnej dodanej energie pri tvorbe ENB je nasadená oproti reálnej spotreby budovy.

Tabuľka 25 Porovnanie celkovej ročnej dodanej energie

1	Celková ročná dodaná energia bez použitých PCM:	15,307 MWh
2	Celková ročná dodaná energia s použitím PCM:	12,422 MWh
3	Celková ročná dodaná energia za rok 2010:	10,288 MWh

Porovnanie celkovej dodanej energie je znázornené v obrázku 22. Z tohto grafického priebehu sa dá usúdiť, že množstvo dodanej energie s využitím PCM materiálov je menšie, a tým dochádza k zníženiu spotreby energie. V letných mesiacoch došlo k zníženiu energie vďaka tomu, že zónu už nie je potreba chladit' strojným chladením, ale dochádza k pasívnemu chladieniu pomocou PCM panelov, ktoré sa nočným vetraním ochladzujú.



Obrázok 22 Porovnanie celkovej dodanej energie do budovy

Celková ročná spotreba energie sa stanovila ako súčet jednotlivých dielčích energií dodanej energie potrebnej pre vykurovanie, chladenie, prípravu teplej vody a osvetlenia za jednotlivé mesiace.

Pre stanovenie celkovej spotreby energie by bolo potrebné najskôr vykonať meranie v určitej modelovej budove, potom v simulačnom prostredí nastaviť vstupné parametre simulácie tak, aby sa čo najviac podobali meraniu. Pre jednotlivé simulačné dni by bola potom určená podrobná energetická analýza.

ZÁVER

V teoretickej časti boli uvedené možnosti šírenia tepla v stavebných konštrukciách, požiadavky na vnútorné parametre prostredia a energetická náročnosť budov. Ďalej boli popísané spôsoby zvýšenia akumulčných vlastností konštrukcií budov, ktoré výrazne prospievajú k zníženiu spotrebe energie v budovách.

V praktickej časti práce boli vypočítané spotreby energie pre budovy s ľahkými obvodovými konštrukciami a pre budovy, do ktorých boli pridané PCM materiály. Taktiež bola spravená simulácia, ktorá znázorňuje chovanie miestnosti v letnom a zimnom období.

Pred vytvorením energetického modelu bolo potrebné najskôr určiť tepelné technické vlastnosti jednotlivých konštrukcií, podľa skutočných rozmerov budovy. Všetky konštrukcie boli navrhnuté tak, aby spĺňali požiadavky normy s ohľadom na kondenzáciu pár vo vnútri konštrukcie.

Zo simulácii bol stanovený priebeh chladnutia miestnosti a z neho bola následne určená časová konštanta chladnutia miestnosti. Pre určenie spotreby energie v zóne bolo potrebné učiť časovú konstantu zóny a vyhotoviť výpočet energetickej náročnosti budovy. Stanovenie energií bolo určené pre dva varianty. S použitím PCM materiálov sa tepelná energia akumuluje v budove, a tým dochádza k zníženiu spotreby energie na vykurovanie a chladenie. Akumulácia tepla v paneloch, pozitívne ovplyvňuje stav vnútorného prostredia.

Akumulačné PCM materiály sú dobrá investícia do budúcnosti. Je to technológia, ktorá je šetrná k životnému prostrediu a jej použitím je možno docieľiť úsporu energie pre vykurovanie a chladenie v budovách s nízkou akumuláciou tepla v stavebných konštrukciách.

ZOZNAM POUŽITÉJ LITERATURY

- [1] POKORNÝ, Marek. *Vedení tepla* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-2_Vedeni_tepla.pdf
- [2] ŘEHÁNEK, Jaroslav. *Tepelná akumulace budov*. 1. vyd. Praha: Informační centrum České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, c2002, 276 s. ISBN 80-86364-59-3.
- [3] ČSN EN 730540-2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky*. 2011.
- [4] DANIELS, Klaus. *Technika budov*. Mnichov: Oldenbourg Industrievelag, 2000. ISBN 80-88905-63-X.
- [5] ČSN EN ISO 7730. *Ergonomie tepelného prostředí: Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. 2006.
- [6] ČSN EN 730540-2. *Tepelná ochrana budov: Část : Výpočtové metody*. 2011.
- [7] VAVERKA, Jiří. *Tepelná stabilita místnosti* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/download.php?idx=84614>
- [8] METODICKÁ PŘÍRUČKA. *ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV* [online]. 2008. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument38864.html>
- [9] ČSN EN 15251. *Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky*. 2011.
- [10] ŠÁLA, Jiří. *Hodnocení energetické náročnosti budov - otázky a odpovědi* [online]. 2009 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-otazky-a-odpovedi_N1861
- [11] URBAN, Miroslav a Karel KABELE. *Nové požadavky na hodnocení energetické náročnosti budov od 1. dubna 2013* Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9745-nove-pozadavky-na-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-od-1-dubna-2013>. *Tzb-info* [online]. 2013 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9745-nove-pozadavky-na-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-od-1-dubna-2013>
- [12] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov: Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. 2009.

- [13] HEJHÁLEK, J.: *Stálá teplota v létě pomocí technologie PCM. Stavebnictví a interiér*, 2006.
- [14] OSTRÝ, Milan. *Využití akumulace tepla při zmenách skupenstva v budovách*. Brno: Vitium, 2013. ISBN 1213-418X.
- [15] MAILE, Tobias, Martin FISCHER a Vladimír BAZJANAC. Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective. *Cife* [online]. 2007 [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/WP107.pdf>
- [16] CHMÚRNÝ, Ivan. 2003. *Tepelná ochrana budov*. 2003. Bratislava: Jaga group. ISBN 8088905273.
- [17] ŠOUREK, . Simulační prostředí TRNSYS. In: *Tzb-info* [online]. 2004 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1956-simulacni-prostredi-trnsys>
- [18] *Heat Transfer Module* [online]. 2015 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.comsol.com/heat-transfer-module>
- [19] *Vytápění rodinného domu v Plzni* [online]. 2015 [cit. 2015-02-27]. Dostupné z: <http://www.fenixgroup.cz/cs/vytapeni-rodinneho-domu-v-plzni>
- [20] KULHÁNEK, František. 2006. *Stavební fyzika II*. Praha: ČVUT. ISBN 80-01-03408-9.
- [21] RECKNAGEL – SPRENGER – SCHRAMEK – Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Ouldenbourg Verlag GmbH, München, 2003. ISBN 3-8356—3104-7

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A ZKRATIEK

Symbol	Jednotka	Význam
<i>A</i>	m^2	Plocha
<i>C</i>	$J/(kg.K)$	Tepelná kapacita
<i>h</i>	$W/(m^2.K)$	Súčiniteľ prestupu tepla
<i>H</i>	W/K	Merný tepelný tok
<i>P</i>	W	Výkon
<i>Q</i>	J	Teplo
<i>q</i>	W/m^2	Hustota tepelného toku
<i>t</i>	s	Čas
<i>U</i>	$W/(m^2.K)$	Súčiniteľ prestupu tepla
<i>v</i>	1	Súčiniteľ priradenia vrstvy
<i>α</i>	1	Konštanta
<i>ε</i>	1	Súčiniteľ priradenia vrstvy
<i>θ</i>	$^{\circ}C$	Teplota
<i>κ</i>	$J/(m^2.K)$	Plošná tepelná kapacita
<i>λ</i>	$W/(m.K)$	Tepelná vodivosť
<i>ρ</i>	kg/m^3	Hustota
<i>τ</i>	s	Časová konštanta
<i>Φ</i>	W	Tepelná strata
<i>E_p</i>	GJ/rok	Celková dodaná energia

Skratka	Význam
ČSN	Česká technická norma
DR	Draught Rating
TUV	Teplá Užitková Voda
PD	Percentage of Dissatisfied
PMV	Predicted Mean Value
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
ENB	Energetická náročnost' budovy
PENB	Preukaz Energetickej Náročnosti Budov
TRNSYS	Transient System Simulation
MATLAB	MATrix LABoratory
COP	Coefficient of performance
NP	Nadzemné Podlažie
PCM	Phase Change Materials
CAD	Computer Aided Design
PDR	Parciálna diferenciálna rovnica

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 Vzostup a pokles teploty pri hodnotení tepelnej stability	26
Obrázok 2 PENB a Energetický štítok obálky budovy [11]	34
Obrázok 3 Princíp výpočtu energetickej náročnosti budov [11]	35
Obrázok 4 Využitie akumulácie tepla PCM v stavebných konštrukciách [14]	43
Obrázok 5 Postupnosť vytvárania a simulácie viac zónového objektu v TRNSYS [17]	46
Obrázok 6 Simulácia vykurovacieho okruhu v Comsol [18]	47
Obrázok 7 Juhovýchodný pohľad na modelový dom [19]	49
Obrázok 8 Pôdorys 1NP	50
Obrázok 9 Pôdorys 2NP	51
Obrázok 10 Model domu v Revit	52
Obrázok 11 Kondenzácia vodnej pary v konštrukcii	57
Obrázok 12 Energetický štítok obálky budovy	58
Obrázok 13 Grafický priebeh výslednej teploty v miestnosti behom chladnutia	61
Obrázok 14 Grafický priebeh poklesu teploty v miestnosti bez pridaných akumulačných materiálov	62
Obrázok 15 Grafický priebeh poklesu teploty v miestnosti s pridaním akumulčných materiálov	63
Obrázok 16 Grafický priebeh teplôt v priebehu modelového dňa	64
Obrázok 17 Grafický priebeh teplôt pri rôznej intenzite vetrania	65
Obrázok 18 Grafický priebeh slnečnej radiácie počas roka	66
Obrázok 19 Mesačné dodané energie do budovy	70
Obrázok 20 Celkové merné dodané energie do budovy	70
Obrázok 21 Mesačné dodané energie do budovy s použitými PCM materiálmi	71
Obrázok 22 Porovnanie celkovej dodanej energie do budovy	72

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 Činiteľ korekcie K_1 v závislosti na určujúcej teplote t_{ur}	14
Tabuľka 2 Činiteľ korekcie K_2 v závislosti na určujúcej teplote t_{ur}	15
Tabuľka 3 Teplotný činiteľ ξ v závislosti na určujúcej teplote t_{ur}	19
Tabuľka 5 Súčiniteľ prestupu tepla na vnútornej a vonkajšej strane konštrukcie a odpor na vnútornej a vonkajšej strane konštrukcie	20
Tabuľka 6 Tepelný odpor vzduchovej vrstvy R_{vv} v závislosti na hrúbke vzduchovej vrstvy d_{vv}	21
Tabuľka 7 Závislosť koeficientu A na rýchlosti vzduchu w_a	23
Tabuľka 8 Stupnica tepelných pocitov	25
Tabuľka 9 Klasifikačné triedy hodnotenia ENB podľa kategórie budovy a EP_A [9]	32
Tabuľka 10 Slovné vyjadrenie ENB.....	32
Tabuľka 11 Zoznam miestností s návrhovými parametrami	51
Tabuľka 12 Investičné náklady a výkon vykurovacej technológie	53
Tabuľka 13 Návrh, dimenzovanie a inštalovaný výkon vykurovacej sústavy	54
Tabuľka 14 Okrajové podmienky výpočtu	55
Tabuľka 15 Požadovaná, doporučená a vypočítaná hodnota súčiniteľu prestupu tepla.....	56
Tabuľka 16 Skladba obvodovej steny A.....	56
Tabuľka 17 Straty prestupom, straty vetraním, celkový výkon.....	59
Tabuľka 18 Okrajové podmienky výpočtu	60
Tabuľka 19 Základný popis zóny	66
Tabuľka 20 Hodnoty pre výpočet vnútorných ziskov	67
Tabuľka 21 Parametre pre vykurovací systém a prípravu teplej vody	67
Tabuľka 22 Celkový solárny zisk jednotlivými konštrukciami.....	68
Tabuľka 23 Merná tepelná kapacita jednotlivých konštrukcií.....	68
Tabuľka 24 Merný tepelný tok pre vykurovanie	69
Tabuľka 25 Merná tepelná kapacita pre obvodové konštrukcie s použitými PCM.....	71
Tabuľka 26 Porovnanie celkovej ročnej dodanej energie.....	72

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha PI: Preukaz energetickej náročnosti budovy s použitím PCM

PRÍLOHA P I: PREUKAZ ENERGETICKEJ NÁROČNOSTI BUDOV S POUŽITÍM PCM

PRŮKAZ ENERGETICKE NÁROČNOSTI BUDOVY

vytvářeny podle zákona č. 40/2009 Sb., o hospodáření energií, a vyhlášky č. 79/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: _____

PSČ, místo: _____

Typ budovy: _____

Plocha obálky budovy: 399,3 m²

Objemový faktor tvaru A/V: 0,94 m³/m²

Energeticky vztáhná plocha: 95,5 m²

