

Uplatnění simulačních metod pro optimalizaci návrhu vytápění budov s různou tepelnou akumulací

Bc. Ján Chodúr

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. Ján CHODÚR

Osobní číslo: A13521

Studijní program: N3902 Inženýrská informatika

Studijní obor: Integrované systémy v budovách

Forma studia: prezenční

Téma práce: Uplatnění simulačních metod pro optimalizaci návrhu vytápění budov s proměnnou tepelnou akumulací

Téma anglicky: The Validation of Simulation Methods for the Optimization of Heating Systems Design in Buildings with Variable Thermal Accumulation

Zásady pro vypracování:

1. Uvedte požadavky na budovy z hlediska vnitřních podmínek, tepelné stability a spotřeby energie.
2. Formulujte způsoby řešení vytápění budov z hlediska dosažení optimálních vnitřních podmínek s ohledem na spotřebu energie na vytápění.
3. Uvedte možnosti optimalizace návrhu vytápěcí soustavy v závislosti na tepelných parametrech budov.
4. Zvolte možnosti uplatnění simulačních metod při optimalizaci návrhu otopné soustavy.
5. Nastudujte vhodná dostupná simulační prostředí.
6. Na skutečné místnosti stanovte pomocí simulačních metod výsledný stav prostředí.
7. Teoretické výpočty ověřte měřením.

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.

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 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 oboznámiť sa v teoretickej časti s problematikou vykurovania budov, parametrami vnútorného prostredia, výpočtovými metódami pre návrh vykurovania. Ďalej práca popisuje zdroje tepla používané pre vykurovanie budov. Súčasťou teoretickej práce je štúdium vhodných dostupných simulačných metód. V praktickej časti diplomovej práce je v úvode popísaný konkrétny objekt zvolený pre meranie vnútorných parametrov, tepelne technické parametre konštrukcií a energetická náročnosť vykurovacieho systému. Ďalšia časť je venovaná meraniu parametrov vnútorného prostredia s teoretickými výpočtami a pomocou simulačných metód je stanovený výsledný stav prostredia.

Kľúčové slová: tepelná akumulácia, vykurovanie, simulačné metódy, SolidWorks, kľzáva teplota vonkajšieho vzduchu.

ABSTRACT

The purpose of the thesis in the theoretical part is studying the issue of heating in buildings, parameters of the internal environment and calculation methods for heating design. The thesis presents the heat source used for heating in buildings. A part of the theoretical section is the study of suitable available simulation methods. Specific object selected for measuring parameters of internal environment, heat insulation properties of structures and energy performance of heating system is described in the introduction of the practical part of the thesis. The other part is dedicated to describe measuring parameters of internal environment with the theoretical calculations. The final state of the environment is determined by simulation which is described in the end of this thesis.

Keywords: heat accumulation, heating, simulation methods, SolidWorks, running mean temperature.

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce pánovi Ing. Martinovi Zálešákovi, Csc, za odborné vedenie pri spracovaní celej práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať pánovi Ing. Stanislavovi Sehnáčkovi za pomoc so simuláciami. Poďakovanie patrí tiež mojej rodine a priateľke, ktorý ma počas celého štúdia podporovali.

OBSAH

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV.....	8
ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 PARAMETRE VNÚTORNÉHO PROSTREDIA.....	11
1.1 TEPELNÁ POHODA	11
1.1.1 PMV	12
1.1.2 PPD	13
1.1.3 Operatívna teplota	14
1.2 TEPELNÁ STABILITA	15
1.2.1 Tepelná stabilita v zimnom období.....	15
1.2.2 Tepelná stabilita v letnom období.....	16
1.3 KVALITA VNÚTORNÉHO VZDUCHU	17
1.3.1 Nebytové budovy	17
1.3.2 Bytové budovy	18
1.4 ENERGETICKÁ NÁROČNOSŤ BUDOV	19
1.4.1 Preukaz energetickej náročnosti.....	19
1.4.2 Klízáva teplota vonkajšieho vzduchu.....	20
2 SPÔSOBY RIEŠENIA VYKUROVANIA BUDOV.....	22
2.1 ZDROJE ENERGIE	22
2.2 ZDROJE TEPLA	23
2.2.1 Kotolne na tuhé palivá	23
2.2.2 Kotolne na kvapalné palivá.....	25
2.2.3 Plynové kotolne.....	25
2.2.4 Kotolne s nízkoteplotnými a kondenzačnými kotlami.....	26
2.2.5 Alternatívne zdroje.....	26
2.2.5.1 Tepelné čerpadlá	26
2.2.5.2 Solárne systémy	28
2.3 VYKUROVACIE SÚSTAVY.....	29
2.3.1 Teplovzdušné vykurovanie	29
2.3.2 Vykurovacie telesá	30
2.3.3 Prevažne sálavé vykurovacie plochy	32
3 OPTIMALIZÁCIA NÁVRHU VYKUROVANIA.....	35
3.1 TEPELNÉ STRATY.....	35
3.1.1 Návrhová tepelná strata prestupom tepla	35
3.1.1.1 Tepelné straty do vonkajšieho prostredia	36
3.1.1.2 Tepelné straty nevykurovaným priestorom	36
3.1.1.3 Tepelné straty do priľahlej zeminy	37
3.1.1.4 Tepelná strata z alebo do susediaceho priestoru s odlišnou teplotou ..	37
3.1.2 Návrhová tepelná strata vetraním.....	38
3.1.3 Súčiniteľ prestupu tepla.....	38
3.2 ČASOVÁ KONŠTANTA BUDOVY	39
3.2.1 Vnútoraná tepelná kapacita budovy.....	39
4 SIMULAČNÉ PROSTREDIA	41

4.1	SIMULAČNÝ TEST STAVEBNEJ ENERGETIKY (BESTEST)	41
4.1.1	SolidWorks.....	42
4.1.2	COMSOL Multiphysics	42
4.1.3	TRNSYS	43
4.1.4	ESP-r	44
4.1.5	OpenFOAM.....	45
4.1.6	ANSYS.....	45
II	PRAKTICKÁ ČASŤ	46
5	POPIS OBJEKTU	47
5.1	PRVÉ NADZEMNÉ PODLAŽIE	47
5.2	DRUHÉ NADZEMNÉ PODLAŽIE.....	48
5.3	POPIS MIESTNOSTI ZVOLENEJ PRE SIMULÁCIE A MERANIE.....	49
5.4	OKRAJOVÉ PODMIENKY VÝPOČTOV	50
5.5	TEPELNE TECHNICKÉ PARAMETRE	50
5.5.1	Skladba a vlastnosti konštrukcií	50
5.5.2	Súčiniteľ prestupu tepla.....	52
5.5.3	Tepelné straty	54
6	MERANIE PARAMETROV VNÚTORNÉHO PROSTREDIA	56
6.1	PRIEBEH MERANIA.....	56
6.2	POUŽITÉ PRÍSTROJE A SNÍMAČE	56
6.3	ROZMIESTNENIE SNÍMAČOV	58
7	NAMERANÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY	60
7.1	VYLÚČENIE NEKONZISTENTNÝCH MERANÍ	60
7.2	NEISTOTA MERANIA	60
7.3	OPERATÍVNA TEPLOTA	61
7.4	KÍZAVÁ STREDNÁ TEPLOTA	63
7.5	ČASOVÁ KONŠTANTA	65
7.5.1	Merný tepelný tok	66
7.5.2	Vnútorná tepelná kapacita.....	67
7.6	AKUMULAČNÁ DOBA MIESTNOSTI	68
7.6.1	Akumulované teplo	68
7.6.2	Tepelné straty miestnosti.....	70
8	SIMULÁCIE V ZVOLENEJ MIESTNOSTI.....	72
8.1	STATICKÁ SIMULÁCIA STAVU VNÚTORNÉHO PROSTREDIA.....	74
8.2	ČASOVÁ SIMULÁCIA	77
	ZÁVER	80
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	82
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	85
	ZOZNAM OBRÁZKOV	86
	ZOZNAM TABULIEK	88
	ZOZNAM PRÍLOH.....	89

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV

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>M</i>	W/m^2	Energetický výdaj
<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
α	1	Konštanta
ε	1	Súčiniteľ priradenia vrstvy
θ	$^{\circ}C$	Teplota
κ	$J/(m^2.K)$	Plošná tepelná kapacita
λ	$W/(m.K)$	Tepelná vodivosť
ρ	kg/m^3	Hustota
τ	s	Časová konštanta
Φ	W	Tepelná strata
ω	$W.h/(m^2.K)$	Jednotkové teplo

ÚVOD

V súčasnosti sú kladené čoraz vyššie nároky na tepelne izolačné vlastnosti budov a materiálov používaných pri výstavbe a teda znižovanie energetickej náročnosti budov. Dokazuje to aj neustále sa sprísňovanie požiadaviek na súčiniteľ prestupu tepla jednotlivých obalových konštrukcií, a tým znižovanie potreby energie na vykurovanie. Čoraz modernejšie sú drevostavby, ktoré majú dobré tepelne izolačné vlastnosti, proces výstavby je rýchly a mnohokrát aj menej nákladný ako stavby z klasických materiálov. Problémom pri vykurovaní týchto stavieb je rýchla reakcia stavby na zmenu vonkajšej teploty čomu by mala byť prispôsobená tiež vykurovacia sústava.

V minulosti sa pre zistenie správania sa vnútorného prostredia používali výpočtové metódy. Nárastom výkonu počítačov sa čoraz častejšie využívajú simulačné metódy pre stanovenie správania sa rôznych systémov. Jednou z možností využitia sú i simulácie v technike prostredia. V tomto prípade konkrétne určenie výsledného stavu prostredia, na ktorý pôsobí vykurovací systém. Je teda možné určiť správanie sa systému ešte pred samotnou inštaláciou.

Práca sa preto v teoretickej časti bude venovať parametrom vnútorného prostredia, spôsobom riešenia vykurovania budov a ich optimalizácii v závislosti na tepelných parametroch budovy. Ďalšia časť bude venovaná simulačným prostrediam a ich uplatneniu pri optimalizácii návrhu vykurovacej sústavy.

V praktickej časti práce budú odmerané parametre vnútorného prostredia konkrétneho objektu s podlahovým vykurovaním. Následne bude prevedené overenie výpočtovými metódami. Na modeli budovy vytvorenom v programe SolidWorks bude stanovený výsledný stav prostredia pre návrhové teploty. Keďže nie je možné zaistiť konštantné podmienky vonkajšieho prostredia pre porovnanie meraní a výpočtov zo simuláciami je potrebné previesť ako prvé meranie a podľa neho potom pre konkrétne hodnoty nastaviť podmienky simulácie.

Cieľom práce je stanoviť stav vnútorného prostredia v skutočnej miestnosti pomocou simulačných metód a následne overiť získané parametre teoretickými výpočtami a meraním.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PARAMETRE VNÚTORNÉHO PROSTREDIA

1.1 Tepelná pohoda

Je to stav, ktorého je dosiahnutého pri rovnováhe tepelnej bilancie človeka, kedy produkcia metabolického tepla, daného fyzickou aktivitou, je v rovnováhe s teplom odvádzaným z ľudského tela do okolitého prostredia pri dodržaní požadovaných rozmedzí asymetrie sálavej a konvekčnej zložky zdieľania tepla a priestorovej asymetrie operatívnej teploty. Inak povedané je to pocit, ktorý človek vníma pri pobyte v danom prostredí. Tepelnú pohodu ovplyvňuje veľa faktorov, ktoré môžeme rozdeliť nasledovne [1]:

1. Subjektívne – pocit človeka
2. Objektívne – faktory ktoré tepelne pôsobia na prostredie a sú merateľné
 - Teplota vzduchu
 - Účinná teplota okolitých stien
 - Relatívna vlhkosť
 - Rýchlosť prúdenia vzduchu

Z hľadiska vstupných parametrov prostredia sa zaoberáme pri návrhu tepelnej pohody ukazovateľmi PMV (predpovedanie stredného tepelného pocitu) a PPD (predpovedanie percenta nespokojných). Na miestny tepelný diskomfort majú vplyv aj nežiadané otepľovanie či ochladzovanie častí tela, prievan, vysoký vertikálny rozdiel teplôt medzi hlavou a členkami, príliš chladnou alebo teplou podlahou, vysokou asymetriou radiačnej teploty. [1]

Tepelným prostredím sa zoberá norma ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostredia. Táto norma predstavuje metódy predpovedania celkového tepelného pocitu a stupne diskomfortu osôb vystavených miernemu tepelnému prostrediu. Umožňuje analytické stanovenie a interpretáciu tepelného komfortu pomocou výpočtu ukazovateľov PMV a PPD. [2]

Žiaduce tepelné prostredie pre daný priestor môže byť vybrané medzi tromi kategóriami A, B, C podľa tabuľky (Tab. 1). Všetky kritériá majú byť uplatnené súčasne pre každú kategóriu.

Tab. 1. Kategória tepelného prostredia [2]

Katego- ria	Tepelný stav tela ako celku		Miestny diskomfort			
	PPD [%]	PMV	DR [%]	vertikálnym rozdielom teploty vzduchu	PD [%] teplou alebo chladnou podlahou	asymetriou radiaácie
A	<6	-0.2<PMV<+0.2	<10	<3	<15	<5
B	<10	-0.5<PMV<+0.5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0.7<PMV<+0.7	<30	<10	<15	<10

1.1.1 PMV

PMV je ukazovateľ, ktorý predpovedá stredný tepelný pocit na základe odovzdaných hlasov veľkej skupiny osôb, ktorá hodnotí svoj pocit pomocou sedembodovej stupnice tepelných pocitov (Tab. 2). Založená na tepelnej rovnováhe ľudského tela. Tepelná rovnováha nastáva, ak sa vnútorná tepelná produkcia tela rovná tepelnej strate v danom prostredí.[2]

Tab. 2. Stupnica tepelných pocitov

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

Vypočíta sa podľa nasledujúcej rovnice:

$$PMV = [0,33 \times e^{(-0,036 \cdot M)} + 0,028] \times L \quad (1)$$

kde M je metabolizmus (W)

L rozdiel energetického výdaja a odvedeného tepla [W]

Ukazovateľ PMV je odvodený pre podmienky ustáleného stavu, ale môže byť aplikovaný s dobrým výsledkom i pri menšom kolísaní jednej alebo viac premenných, ak sú použité časovo vážené priemery premenných za jednu predchádzajúcu hodinu.

Ukazovateľ PMV sa má použiť len pre hodnoty PMV v rozmedzí -2 až +2, a teda, ak je šesť hlavných parametrov vo vnútri rozmedzia:

• Metabolizmus	46W/m ² až 232 W/m ² (0,8 met až 4 met)
• Tepelný odpor odevu	0 m ² K/W až 0,310 m ² K/W (0 clo až 2 clo)
• Teplota vzduchu	10 °C až 30 °C
• Stredná radiačná teplota	10 °C až 40 °C
• Relatívna rýchlosť prúdenia vzduchu	0 m/s až 1 m/s
• Parciálny tlak vodnej pary	0 Pa až 2700 Pa

Hodnota metabolizmu sa odhadne s ohľadom na druh práce podľa ISO 8996 alebo prílohy B normy ČSN EN ISO 7730.

Tepelný odpor odevu a sedadla sa odhadne s ohľadom na ročné obdobie podľa ISO 9920 alebo prílohy C normy ČSN EN ISO 7730

PMV je možné použiť na overenie, či dané tepelné prostredie odpovedá kritériám komfortu a k stanoveniu požiadavky pre rôzne úrovne prijateľnosti. Položením PMV=0 vznikne rovnica umožňujúca predpoveď kombinácií činností, odevu a parametrov prostredia, ktoré v priemere vyvolajú tepelne neutrálny pocit. [2]

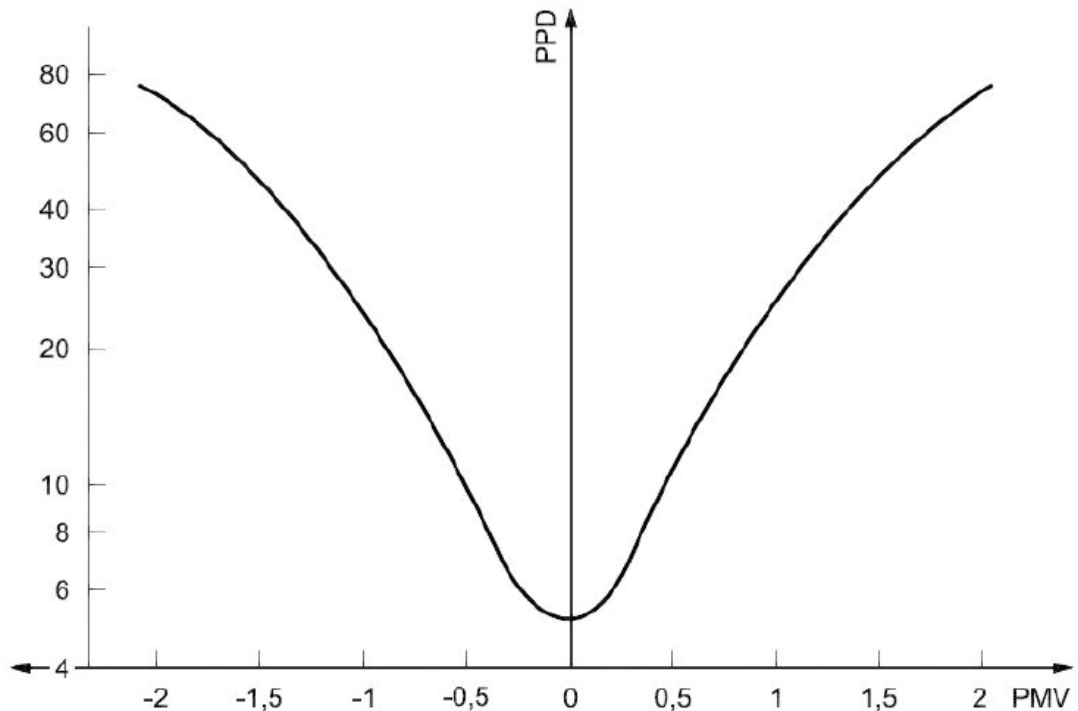
1.1.2 PPD

Ukazovateľ PPD predpovedá strednú hodnotu posúdenia vlastného tepelného pocitu u veľkej skupiny osôb vystavenej rovnakému prostrediu. Jednotlivé odovzdané hlasy sú však rôzne rozložené okolo tejto strednej hodnoty a preto je užitočné predpovedať počet osôb, ktoré sa budú pravdepodobne cítiť z dôvodov tepla alebo chladu nekomfortne.

PPD je ukazovateľ stanovujúci kvalitatívnu predpoveď percenta osôb nespokojných s tepelným prostredím, ktoré pociťujú ako príliš chladné alebo príliš teplé. Pre účely tejto medzinárodnej normy sú za nespokojných s tepelným prostredím považované osoby, ktoré budú voliť na sedembodovej stupnici (Tab. 2) horúco, teplo, chladno alebo zima.

Ak je určená hodnota PMV, vypočíta sa PPD pomocou nasledujúcej rovnice :

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



Obr. 1. PPD ako funkcia PMV [2]

PPD predpovedá počet osôb nespokojných s tepelným prostredím vo veľkej skupine ľudí. Zostatok skupiny sa bude cítiť tepelne neutrálne, ako v miernom teple alebo v miernom chlade. Predpovedané rozloženie odovzdaných hlasov je uvedené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 3). [2]

Tab. 3. Rozloženie individuálneho tepelného pocitu pre rôzne hodnoty stredného tepelného pocitu (založené na odpovedi 1300 osôb)

PMV	PPD	Predpoveď hlasovania osôb [%]		
		0	-1,0 alebo +1	-2, -1, 0, +1, alebo +2
+2	75	5	25	70
+1	25	30	75	90
+0,5	10	55	90	98
0	5	60	95	100
-0,5	10	55	90	98
-1	25	30	75	95
-2	75	5	25	70

1.1.3 Operatívna teplota

Je vypočítaná hodnota definovaná ako jednotná teplota uzatvoreného priestoru (priestoru o rovnakej teplote vzduchu i rovnakej strednej radiačnej teplote) čierneho z

hladiska radiácie, v ktorom by ľudské telo zdieľalo konvekciou i sálaním rovnaké množstvo tepla ako v skutočnom, teplotne nesúrodnom prostredí. [1]

$$\theta_o = A * \theta_a + (1 - A) * \theta_r \quad (3)$$

kde θ_o je operatívna teplota [°C]
 A koeficient závislí na rýchlosti prúdenia vzduchu podľa tabuľky (Tab. 4) [-]
 θ_a teplota vzduchu [°C]
 θ_r stredná radiačná teplota [°C]

Tab. 4. Závislosť koeficientu A na rýchlosti prúdenia vzduchu, w_a , [1]

w_a [m/s]	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
A [-]	0,50	0,53	0,6	0,65	0,7	0,75

Pri rýchlostiach prúdenia vzduchu menších ako 0,2 m/s je možné nahradiť operatívnu teplotu teplotou guľového teplomeru.

1.2 Tepelná stabilita

1.2.1 Tepelná stabilita v zimnom období

Požiadavka na tepelnú stabilitu kritickej miestnosti je, aby na konci doby chladnutia, t , vykazovala pokles výslednej teploty miestnosti v zimnom období, $\Delta\theta(t)$, v °C, podľa vzťahu xy. Pod pojmom kritická miestnosť sa rozumie pre účel stanovenia tepelnej stability v zimnom období miestnosť s najvyšším priemerným súčiniteľom prestupu tepla konštrukciou miestnosti U_m . Často je to rohová miestnosť pod strechou.

$$\Delta\theta_v(t) \leq \Delta\theta_{v,N}(t) \quad (4)$$

kde

$\Delta\theta_{v,N}(t)$ je požadovaná hodnota poklesu výslednej teploty v miestnosti v zimnom období, v °C, stanovená z tabuľky (Tab. 5) kde θ_i je návrhová vnútorná teplota podľa ČSN 73 0540-3 [3]

Tab. 5. Požadované hodnoty poklesu teploty v miestnosti v zimnom období [4]

Druh miestnosti (priestoru)	Pokles výslednej teploty
S pobytom ľudí po prerušení vykurovania:	3
-pri vykurovaní radiátormi, sálavými panelmi a teplo-vzdušne	
-pri vykurovaní kachľami podlahovým vykurovaním	4
Bez pobytu ľudí po prerušení vykurovania:	6
- budova masívna	
- budova ľahká	8
-pri predpísanej najnižšej výslednej teplote $\theta_{v,min}$	$\theta_i - \theta_{v,min}$
-pri skladovaní potravín	$\theta_i - 8$
-pri nebezpečí zamrznutia vody	$\theta_i - 1$
Nádrže s vodou (teplota vody)	θ_{i-1}

1.2.2 Tepelná stabilita v letnom období

Kritická miestnosť musí vykazovať najvyššiu dennú teplotu vzduchu v miestnosti v letnom období, $\Delta \theta_{ai,max}$, v °C, podľa vzťahu xy. Za kritickú miestnosť sa považuje v tomto prípade miestnosť s najväčšou plochou priamo oslnených výplní otvorov orientovaný na Z, JZ, J, JV, V, a to v pomere k podlahovej ploche príslušného priestoru. Pre posudzovanie objektu pre letné a zimné obdobie môžu byť priestory rozdielne.

$$\Delta \theta_{ai,max} \leq \Delta \theta_{ai,max,N} \quad (5)$$

kde

$\Delta \theta_{ai,max,N}$ je požadovaná hodnota najvyššej dennej teploty vzduchu v miestnosti v letnom období v °C, ktorá sa stanoví podľa tabuľky (Tab. 6).

Tab. 6. Požadované hodnoty najvyššej dennej teploty vzduchu v miestnosti $\Delta \theta_{ai,max,N}$ [4]

Druh budovy	Najvyššia denná teplota vzduchu v miestnosti v letnom období $\Delta \theta_{ai,max,N}$ [°C]	
Nevýrobné	27,0	
Ostatné s vnútorným zdrojom tepla	-do 25 W/m ³ vrátane	29,5
	-nad 25 W/m ³	31,5

U obytných budov je možné pripustiť prekročenie požadovanej hodnoty najviac o 2°C na súvislú dobu najviac 2 hodín počas normovaného dňa, pokiaľ s tým súhlasí investor.

Hodnotenie miestnosti sa určuje bez započítania vnútorných ziskov v miestnosti. Navrhovať chladenie miestnosti je doporučené len v prípadoch, kedy nie je preukázateľne možné stavebným riešením docieľiť splnenie požiadavky z tabuľky (Tab. 6) a to z dôvodu, že budovy so strojným chladením sú výrazne energeticky náročnejšie v porovnaní s bežnými stavbami. [4]

1.3 Kvalita vnútorného vzduchu

Na kvalitu vnútorného vzduchu má vplyv intenzita vetrania, ale i kvalita okolitého vzduchu.

Vetranie je kombináciou procesov, ktorých výsledkom je odstránenie znehodnoteného vzduchu z miestnosti a jeho nahradenie vzduchom požadovanej kvality. Znečistenie vnútorného vzduchu je spôsobené nahromadením nečistôt, ktoré pochádzajú predovšetkým z činnosti človeka a z interiéru miestnosti. Niektoré nečistoty pochádzajú z okolia budovy. Znečisťujúce látky môžu byť generované z jedného prípadne z viacerých zdrojov a to periodicky alebo nepretržite. [5]

Všeobecný index na kvalitu vzduchu neexistuje. Kvalita vzduchu sa vyjadruje prostredníctvom potrebnej úrovne vetrania alebo pomocou koncentrácie CO₂. Všeobecne je akceptované, že kvalitu vzduchu ovplyvňujú emisie z užívateľov a ich aktivít, z budov a ich zariadenia a zo samotných sústav techniky prostredia. Požadovaná výmena vzduchu je založená na zdravotných kritériách a na kritériách komfortu. Komfort súvisí s vnímanou kvalitou vzduchu. Neexistuje všeobecná zhoda v tom, ako rôzne zdroje emisií pôsobia spoločne. [6]

1.3.1 Nebytové budovy

Metóda založená na užívateľoch a súčastiach budovy

Skladá sa z dvoch zložiek, a to z vetrania pre znečistenie od užívateľov a z vetrania pre znečistenie od stavebných konštrukcií a systémov. Vetranie pre jednotlivé kategórie je suma týchto dvoch zložiek. [6]

Tab. 7. Požadovaná intenzita výmeny vzduchu na zriedenie emisií od užívateľov [6]

Kategória	Očakávané percento nepokojných [%]	Dávka vzduchu na osobu [l/(s.osoba)]
I	15	10
II	20	7
III	30	4
IV	>30	<4

Tab. 8. Intenzita vetrania pre emisie z budovy [2]

Kategória	Veľmi málo znečistená [l/s.m ²]	Málo znečistená [l/s.m ²]	Znečistená budova [l/s.m ²]
I	0,5	1.0	2.0
II	0.35	0.7	1.4
III	0.3	0.4	0.8

Metóda založená na výmene vzduchu na osobu alebo m² podlahovej plochy

Hodnoty vetrania na osobu sú založené na predpoklade, že jediným zdrojom znečistenia je užívateľ. Hodnoty vetrania na meter štvorcový sú založené na predpoklade, že jediným zdrojom znečistenia sú emisie z materiálov. [6]

Tab. 9. Príklady odporúčanej intenzity vetrania v nebytových budovách [6]

Kategória	Dávka vzduchu na osobu [l/s.osoba]	Dávka vzduchu pre znečistenie od budovy [l/s.m ²]		
		Veľmi málo znečistená budova	Málo znečistená budova	Znečistená budova
I	10	0,5	1	2
II	7	0.35	0,7	1,4
III	4	0.2	0,4	0,8

1.3.2 Bytové budovy

Dosiahnutie požadovanej kvality vzduchu závisí od 3 kritérií:

- Odsávanie znečisťujúcich látok z mokrých prevádzok
- Celkové vetranie všetkých miestností v budove
- Celkové vetranie všetkých miestností v budove podľa kritérií vetrania čerstvým vzduchom pre hlavné obytné miestnosti

Kvalita vzduchu je vyjadrená ako požadovaná úroveň vetrania. [6]

Tab. 10. Príklad intenzity vetrania pri bytových budovách [6]

Kate- gória	Intenzita výmeny vzduchu		Obývacie izby a spálne najmä množstvo vonkaj- šieho vzduchu		Množstvo odsávaného vzduchu [l/s]		
	[l/(s.m ²)]	[l/h]	[l/(s.osoba)]	[l/(s.m ²)]	Kuchyňa	Kú- peľne	Toa- lety
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1,0	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7

1.4 Energetická náročnosť budov

Energetická náročnosť budov je aktuálna téma, ktorú rieši zákon č. 406/2000 Sb. o hospodárení energií (v znení novely zákona č.177/2006). Podľa tohto zákona je stavebník, vlastník budovy alebo spoločenstvo vlastníkov povinný zaistiť splnenie požiadaviek na energetickú náročnosť budovy a dokladá ho preukazom energetickej náročnosti budovy.

Tieto požiadavky sú kladené na energetickú náročnosť budov pri ich výstavbe, pri zmene dokončenej budovy, energetickú klasifikáciu pri predaji alebo prenájme. [8]

Preukaz sa nemusí vyhotovovať k stavbám:

- Pre rodinnú rekreáciu
- S plochou pod 50 m²
- U stávajúcich objektov rodinných domov ak vlastník daný objekt nepredáva

1.4.1 Preukaz energetickej náročnosti

Preukaz energetickej náročnosti budov (PENB) slúži k vyhodnoteniu energetickej náročnosti budov – kvantifikuje všetky energie spotrebované pri štandardizovanej prevádzke hodnotenej budovy a zaraďuje budovu do príslušnej klasifikačnej triedy v rozsahu A (mimoriadne úsporné) až G (mimoriadne nehospodárne) podľa požadovanej normovanej hodnoty priemerného súčiniteľa prestupu tepla, $U_{em,N}$. Preukaz hodnotí všetku energiu pre prevádzku budovy, energiu na vykurovanie, prípravu teplej vody, chladenie, úpravu vzduchu vetraním a klimatizáciou a energiu na osvetlenie. [9]

Priemerný súčiniteľ prestupu tepla sa vypočíta:

$$U_{em} = \frac{H_t}{A} \quad (6)$$

kde H_t je Merný tepelný tok [W/K]
 A Plocha obalových konštrukcií [m²]

Tab. 11. Klasifikácia energetickej náročnosti podľa priemerného súčiniteľa prestupu tepla

Klasifikačná trieda	Priemerný súčiniteľ prestupu tepla, U_{em} [W/(m ² .K)]	Slovné vyjadrenie klasifikačnej triedy
A	$U_{em} \leq 0,5. U_{em,N}$	Veľmi úsporná
B	$0,5. U_{em,N} < U_{em} \leq 0,75. U_{em,N}$	Úsporná
C	$0,75. U_{em,N} < U_{em} \leq U_{em,N}$	Vyhovujúca
D	$U_{em,N} < U_{em} \leq 1,5. U_{em,N}$	Nevyhovujúca
E	$U_{em,N} < U_{em} \leq 2,0. U_{em,N}$	Nehospodárna
F	$U_{em,N} < U_{em} \leq 2,5. U_{em,N}$	Veľmi nehospodárna
G	$U_{em} > 2,5. U_{em,N}$	Mimoriadne nehos-

1.4.2 Kĺzavá teplota vonkajšieho vzduchu

Kĺzavá stredná teplota vonkajšieho vzduchu Θ_m je exponenciálne vážená kĺzavá stredná hodnota dennej strednej teploty vonkajšieho vzduchu Θ_{ed} . Vypočíta sa podľa vzťahu:

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) * \{\theta_{ed-1} + \alpha * \theta_{ed-2} + \alpha^2 * \theta_{ed-3} \dots\} \quad (7)$$

Rovnica sa dá zjednodušiť, pokiaľ je známa kĺzavá stredná teplota vzduchu predchádzajúceho dňa :

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) * \theta_{ed-1} + \alpha * \theta_{rm-1} \quad (8)$$

kde

θ_{rm} je kĺzavá stredná teplota vonkajšieho vzduchu pre vyhodnocovaný deň [°C]

θ_{rm-1} kĺzavá stredná teplota vonkajšieho vzduchu pre predchádzajúci deň [°C]

θ_{ed-1} denná stredná teplota vonkajšieho vzduchu pre predchádzajúci deň [°C]

θ_{ed-2}	denná stredná teplota vonkajšieho vzduchu dva dni pred vyhodnocovaným dňom, atď.. [°C]
α	konštanta medzi 0 a 1. Doporučená je hodnota 0,8. [-]

Konštanta α vyjadruje rýchlosť vyprchania vplyvu teploty. Čím vyššia je konštanta α , tým sú teploty predchádzajúcich dní dôležitejšie.[10], [11]

Ak predpokladáme, že spotreba energie závisí na kĺzavej strednej teplote vonkajšieho vzduchu môžeme odvodiť vzťah:

$$\theta_{rm} = -\frac{\frac{P}{t}}{U_{em} * A} + \theta_i \quad (9)$$

kde	P	spotrebovaná energia na vykurovanie [Wh]
	t	čas [h]
	U_{em}	priemerný súčiniteľ prestupu tepla obalových konštrukcií [W/(m ² .K)]
	A	plocha obalových konštrukcií [m ²]
	θ_i	vnútorná teplota vzduchu [°C]

Pomocou dosadzovacej metódy môžeme zo vzťahu 6 určiť konštantu α .

2 SPÔSOBY RIEŠENIA VYKUROVANIA BUDOV

Pre dosiahnutie optimálnych vnútorných podmienok a tepelnej pohody pri rôznych parametroch vonkajšieho prostredia musí byť budova vybavená adekvátnymi systémami. Voľba vhodných systémov závisí predovšetkým na konštrukcii budovy a tepelne technických vlastnostiach. V zimnom období je potrebné dodávať teplo na vykurovanie. Teplo sa spravidla vyrába premenou primárnej energie vo forme tuhých, kvapalných alebo plyných palív v spaľovacom procese. Medzi najvýznamnejšie prírodné palivá patria uhlie, zemný plyn a drevo. Tepelnú energiu je možné získať aj prostredníctvom tepla dodávaného diaľkovo alebo premenou elektrickej energie. Ak je primárna energia transformovaná na tepelnú energiu priamo v budove, hovoríme o lokálnom zásobovaní teplom. Táto premena môže byť realizovaná v jednotlivých miestnostiach alebo centrálnie v rámci celej budovy.

2.1 Zdroje energie

Zdroje energie môžeme rozdeliť na obnoviteľné zdroje energie a neobnoviteľné zdroje energie. Medzi obnoviteľné zdroje energie na vykurovanie sa radí hlavne slnečná energia. Slnko vyžaruje na Zem ročne $180 \cdot 10^{12}$ toe čo je približne 15000 krát viac ako celosvetová potreba energie. Ročná hodnota globálneho slnečného žiarenia je v ČR je približne $1000 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. V slnečných oblastiach je približne 2 až 3 krát vyššia. Neobnoviteľné zdroje energie sú fosílna palivá, ktoré sú stále využívané vo veľkej miere (zhruba 90% svetovej potreby energie).

Hlavnou vlastnosťou palív je spalné teplo, Q_s , v kJ/kg, kJ/Nm³ a výhrevnosť, Q_i , v kJ/kg, kJ/Nm³.

Spalné teplo je množstvo tepla uvoľneného pri úplnom spálení jednotkového množstva paliva (1 kg, 1 Nm³) za konštantného tlaku a teploty t_I , pričom všetky plynné produkty spaľovania ochladené na počiatočnú teplotu t_I sú v plynnom stave, okrem vodnej pary vytvorenej v priebehu reakcie, ktorá pri teplote t_I skondenzuje.

Výhrevnosť je množstvo tepla uvoľneného pri úplnom spálení jednotkového množstva paliva (1 kg, 1 Nm³) pri konštantnom tlaku a teplote t_I , pričom všetky plynné produkty spaľovania sú ochladené na počiatočnú teplotu t_I sú v plynnom stave. Hodnota výhrevnosti odpovedá hodnote spálneho tepla zmenšeného o výparné teplo vody pri teplote t_I .

Palivá sa delia podľa rôznych kritérií, podľa pôvodu sa dajú rozdeliť na fosílnu, umelú, obnoviteľnú a alternatívnu. Z hľadiska spaľovania je dôležité delenie podľa skupenstva. Podľa skupenstva sa dajú palivá rozdeliť na kvapalné, plynné a tuhé. Rozdelenie palív je uvedené v tabuľke (Tab. 12).

Tab. 12. Rozdelenie palív [12]

Stav paliva	Prírodné palivá	Umelé palivá
Pevné	uhlie, rašelina, drevo	koks, brikety, pelety, uholný prášok
Kvapalné	ropa	všetky destilačné produkty z ropy a skvapalneného uhlia
Plynné	Zemný plyn, plyn z ropného nadložja, dolný plyn	plyny vzniknuté odplynením (koksárenský), splynením (svietiplyn, generátorový plyn) a pri destilácii plynu (kvapalné plyny – propán, bután)

2.2 Zdroje tepla

Zdrojom tepla sa rozumie zariadenie, v ktorom sa ohrieva vykurovacie médium, ktoré následne rozvádza teplo po objekte do vykurovacích plôch a zariadení. Podľa spôsobu, ktorým získavame teplo potrebné k ohrievaniu média rozdelíme do dvoch skupín:

- Tradičné zdroje tepla
- Alternatívne zdroje tepla

Medzi tradičné zdroje tepla patria predovšetkým kotle na spaľovanie rôznych druhov palív a elektrické kotle. Alternatívnymi zdrojmi tepla sú napríklad tepelné čerpadlá a solárne panely.

Účinnosť kotlov je rozdelená do troch kategórií

2.2.1 Kotle na tuhé palivá

Stále sa môžeme stretnúť s okrskovými alebo domovými kotelňami na tuhé palivá, jedná sa predovšetkým o staršie zdroje, ktoré sú postupne nahradzované plynými s menšími nárokmi na obsluhu a nižšou úrovňou emisií. Spaľovanie tuhých palív pretrváva predovšetkým v kotelniach najmenších výkonov do 50 kW pre vykurovanie v oblastiach bez plynofi-

kácie. Pre tieto kotolne neplatia žiadne zvláštne normy. Kotle najmenších výkonov sa používajú predovšetkým na vykurovanie rodinných domov. Ide o zariadenia, ktoré spaľujú palivo v tuhej forme. Umiestňujú sa v samostatnej miestnosti (kotolni). Pri projektovaní budovy treba brať v úvahu skladovanie paliva. Ako palivo sa väčšinou používa:[12]

- Hnedé a čierne uhlie
- Koks
- Drevo a odpadné produkty z dreva
- Biomasa

Kotle sa vyrábajú v rôznych prevedeniach a výkonoch. Palivo môže byť prikladané ručne alebo automaticky zo zásobníku. Regulácia výkonu kotla sa u neautomatických kotlov prevádza riadením množstva privádzaného spaľovaného vzduchu do kotla. Táto regulácia je možná len v určitom rozmedzí výkonu kotla a to cca do 40% jeho menovitého výkonu, aby nedochádzalo k vzniku dechtu a poklesu účinnosti. Účinnosť kotlov na tuhé palivá sa pohybuje od 60 do 75%

Medzi najrozšírenejšie kotle na tuhé palivá patria:

Liatinové kotle

Sú vhodným riešením pre spaľovanie kusového dreva s vlhkosťou pod 30%, uhlia a koksu. Kotle nie sú vhodné pre spaľovanie drobného dreva a drevného odpadu. Tieto palivá rýchlo nahorievajú v celej vrstve a rýchlo uvoľňujú prchavé látky, ktoré nestačia v kotli vyhoriť. Výkon sa dá regulovať prakticky len množstvom paliva a reguláciou ťahu pomocou klapky spaľovacieho vzduchu. Vzhľadom k veľkému množstvu horúceho paliva je možnosť regulácie značne obmedzená. Vďaka nízkej tlakovej strate na strane spalín sú vhodné pre komíny s malým ťahom. Kotle majú nízku cenu, ktorá je vykúpená nízkou účinnosťou. Tá sa reálne pohybuje u kusového dreva na hranici 60 %. Kotle majú zvýšený nárok na obsluhu keďže disponujú len relatívne malou násypkou.

Oceľové kotle

Oceľové kotle s ručnou dodávkou paliva sú vhodné pre drobnejšie drevo a drevný odpad. Prevažne sa jedná o kotle odhorievacie s pohyblivým roštom. Vzhľadom k tomu, že nenahorievajú celá vrstva paliva v násypke je možné tieto kotle ľahšie riadiť reguláciou nasávania primárneho a sekundárneho vzduchu. Malý objem násypky paliva opäť znamená zvýšené nároky na obsluhu. Reálna účinnosť sa pohybuje na hranici 65 %.

Špeciálne oceľové kotle

Jedná sa o kotle takzvané splynovacie, predstavujú modernú technológiu spaľovania kusového dreva. Sú to kotle odhorievacie prevažne s odťahovým ventilátorom a pomerne vysokou účinnosťou spaľovania, ktorá sa pohybuje na hranici 75%. Kotle sú konštruované predovšetkým na spaľovanie kusového dreva s vlhkosťou do 20%, drevný odpad a drevné brikety. Výkon sa dá pomerne dobre regulovať v rozmedzí 50% až 100% menovitého výkonu vďaka regulácii dodávky spaľovacieho vzduchu ventilátorom. Vo väčšine prípadov majú až dvojnásobný objem násypnej šachty oproti bežným kotlom. Spolu s vyššou účinnosťou to znamená zníženie potreby obsluhy takéhoto kotla. Pre zvýšenie životnosti je nutné udržiavať teplotu vratnej vody nad 60°C. Ich cena je asi o tretinu vyššia ako u obyčajných kotlov.

Automatické kotle

Automatické kotle predstavujú najnovšiu technológiu spaľovania. Vďaka zásobníkom paliva o veľkých objemoch a automatickému doplňovaniu paliva umožňujú niekoľkodennú bez obslužnú prevádzku. Jedná sa predovšetkým o oceľové kotle s núteným i prirodzeným odťahom spalín. Určené sú predovšetkým na spaľovanie drobného drevného odpadu vo forme pilín štiepky alebo peliet a uhlia. [13],[15].

2.2.2 Kotelne na kvapalné palivá

Spaľovanie kvapalných palív nie je v Českej republike príliš rozšírené, pretože ceny vykurovacích olejov vychádzali v porovnaní s ostatnými druhmi paliva vyššie. V poslednej dobe sa cena vykurovacích olejov priblížila cenám plynu, čo vyvolalo väčší záujem o jeho spaľovanie predovšetkým v domácnostiach s menšími zdrojmi do 50 kW. U kotelni na kvapalné palivá nie sú tak prísne požiadavky ako u kotelni plynových, pretože nebezpečenstvo výbuchu je výrazne nižšie. Hlavné požiadavky sú kladené na zamedzenie vzniku požiaru a úniku paliva z dôvodu kontaminácie pôdy a spodných vôd. Kotle na kvapalné palivá spotrebovávajú značné množstvo vzduchu, ktoré predstavuje asi 15 m³ na 1 liter oleja. [12]

2.2.3 Plynové kotelne

Plynová kotelňa je osadená kotlami na spaľovanie plynného paliva, prevažne zemného plynu, prípadne LPG, bioplynu a podobných.

Hlavným prevádzkovým rizikom plynových kotolní je nekontrolovaný únik plynu, ktorý by mohol viesť k výbuchu. Väčšina opatrení je preto zameraných na vytvorenie podmienok aby sa predišlo tomuto riziku. Pre plynové kotolne platia nasledujúce normy a predpisy:

- Vyhláška Českého úradu bezpečnosti práce č. 91 zo dňa 12.2 1993 k zaisteniu bezpečnosti práce v nízkotlakových kotolniciach Sb.
- ČSN 38 6441 Odberné plynové zariadenia na svietiplyn a zemný plyn v budovách
- ČSN 07 0703 Plynové kotolne
- ČSN 73 5120 Objekty kotolní o výkone 3,5 MW a väčším. Spoločné ustanovenia

Pre kotolne s kotlovými jednotkami na zemný plyn v budovách so súčtom menovitých výkonov do 50 kW platí len ČSN 38 6441 Odberné plynové zariadenia. Podľa tejto normy musí byť plynový kotol inštalovaný vo vetrateľných priestoroch kde pripadá 8 m³ na 10 kW výkonu kotla.

Pre vykurovanie rodinných domov alebo bytov sa navrhujú teplovodné kotolne najnižšej výkonovej kategórie v rozsahu od 8 do 30 kW, len vo výnimočných prípadoch viac.[12]

2.2.4 Kotolne s nízkoteplotnými a kondenzačnými kotlami

Nízkoteplotný kotol je definovaný ako kotol, ktorý je možné trvalo prevádzkovať s teplotou vratnej vody od 35 do 40 °C, u ktorého môže za určitých okolností nastať kondenzácia vodnej pary obsiahnutej v spalinách.

Kondenzačný kotol je definovaný v norme ČSN EN 677 ako kotol, v ktorom pre bežných prevádzkových podmienkach a pri určitých prevádzkových teplotách vykurovacej vody skondenzuje dieľcia časť vodnej pary obsiahnutej v spalinách, tak aby sa za účelom vykurovania tiež využilo teplo uvoľnené pri izotermickej fázovej premene (latentné teplo) z tejto časti vodnej pary a ktorý spĺňa požiadavky na účinnosť tejto normy.

2.2.5 Alternatívne zdroje

2.2.5.1 Tepelné čerpadlá

Všeobecne sa tepelné čerpadlo chápe ako stroj, ktorého mechanicky alebo elektricky poháňané čerpadlo dodáva teplo odoberaním tepla zo zdroja v okolitom prostredí. Toto teplo následne slúži k vykurovaniu alebo výrobe teplej vody. V zemi, vo vode aj vo vzduchu je obsiahnuté veľké množstvo tepla, ktorého nízka teplotná hladina neumožňuje priame využitie pre vykurovanie alebo ohrev teplej vody. Ak chceme využiť teplo látok o nízkej teplote

(nízko potenciálne teplo), je potrebné ho previesť na teplotu vyššiu. Podobne ako vodné čerpadlo prečerpáva vodu z nižšej hladiny na vyššiu, tepelné čerpadlo robí to isté s teplom. Aby mohlo tepelné čerpadlo pracovať, musí byť v okolitom prostredí dostupný nízkoteplotný zdroj. Čím vyššia je teplotná hladina tepelného zdroja, tým efektívnejšie tepelné čerpadlo pracuje. Pre obytné domy sa dajú v zásade uvažovať nasledujúce zdroje tepla:

- Spodná voda
- Zem, tepelný výmenník v zemi
- Zem, podzemný vrt
- Okolité ovzdušie

V závislosti na zdrojoch tepla sa rozlišujú tepelné čerpadlá na systémy:

- Vzduch - vzduch
- Vzduch - voda
- Zem – voda
- Voda – voda

Vo väčšine prípadov ohrievajú tepelné čerpadlá vykurovaciu alebo úžitkovú vodu. Menej časté je ohrievanie vzduchu pre teplotovzdušné vykurovanie.[16]

Cyklus tepelného čerpadla sa skladá zo štyroch krokov:

Vyparovanie: Teplo z okolitého prostredia odoberá chladivo kolujúce v tepelnom čerpadle a tým sa odparuje (mení skupenstvo na plynné)

Kompresia: Kompresor stlačí o niekoľko stupňov ohriate plynné chladivo. Na základe fyzikálneho princípu kompresie (pri zvýšení tlaku stúpa teplota), zvýši teplotu získaného nízkopotenčního tepla na vyššiu teplotnú hladinu.

Kondenzácia: Takto zahriate chladivo pomocou druhého výmenníku predá teplo vode vo vykurovacom systéme, ochladí sa a skondenzuje.

Expanzia: Priechodom cez expanzný ventil putuje chladivo späť k prvému výmenníku, kde sa opäť ohreje.

Vykurovací faktor:

COP hodnotí účinnosť tepelného čerpadla za určitých prevádzkových podmienok

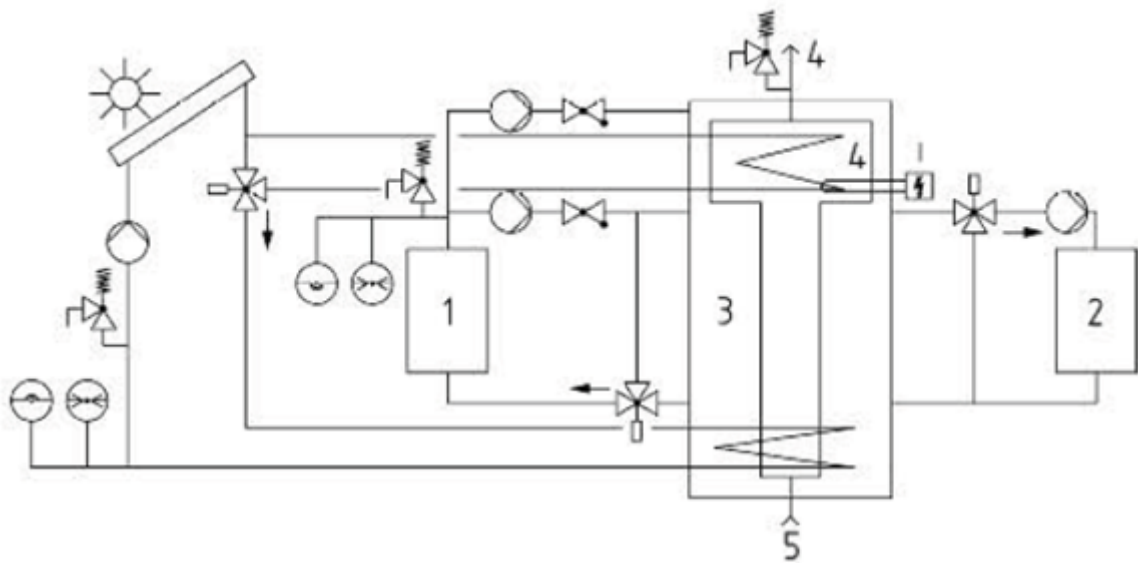
$$COP = \frac{\Phi_{HP,hw}}{P_{HP} + P_{HP,aux}} \quad (10)$$

Kde:	COP	vykurovací faktor tepelného čerpadla [-]
	$\Phi_{HP,hw}$	vykurovací výkon pre vykurovanie a ak je možné použiť pre prípravu teplej vody [W]
	P_{HP}	elektrický príkon kompresora [W]
	$P_{HP,aux}$	je príkon na viac pre prekonanie tlakovej straty vo výparníku a kondenzátore, odmrazovanie a reguláciu tepelného čerpadla [W]

[17]

2.2.5.2 Solárne systémy

Solárne systémy sa v súčasnosti využívajú primárne na ohrev teplej vody v rodinných domoch. Dajú sa však využiť taktiež na vykurovanie väčšinou. Systémy sú vo väčšine prípadov dimenzované tak, že slnečná energia sa využíva len k podpore vykurovania. Predovšetkým v prechodnom období na jar a v jeseni je možné pokryť potrebu tepla z väčšej časti slnečným žiarením. Hlavne v zimnom období je výkon kolektorov nedostačujúci nato, aby pokryli celú spotrebu tepla objektu. Hoci je v zásade možné celú spotrebu tepla pokryť zo slnečnej energie bol by potrebný predimenzovaný kolektor, čo by vo veľkej miere zvýšilo náklady solárny systém. Z ekonomického hľadiska je reálnejšie použiť kolektory v kombinácii s iným zdrojom tepla. [16]

**Legenda:**

- 1 tepelné čerpadlo
- 2 sústava rozvodu a zdieľania tepla
- 3 vodný vyrovnávací zásobník pre vykurovanie
- 4 zásobník teplej vody
- 5 prívod studenej vody
- I voliteľný elektrický záložný ohrev pre prípravu teplej vody

Obr. 2. Hydraulické zapojenie tepelného čerpadla s kombinovaným zásobníkom a solárnym systémom pre prípravu teplej vody [17]

Na obrázku (Obr. 2) je zapojenie tepelného čerpadla v kombinácii so slnečným kolektorom.

2.3 Vykurovacie sústavy

Na jednej strane sústavy ústredného vykurovania je zdroj tepla, ktorý zohrieva teplonosnú látku. Na druhej strane sústavy musí dôjsť k predaniu tepla z teplonosnej látky do okolitého prostredia miestnosti. Toto predávanie je realizované pomocou vykurovacích plôch a vykurovacích telies alebo teplovzdušne.

2.3.1 Teplovzdušné vykurovanie

Jednou z možností vykurovania priestorov predstavujú teplovodné teplovzdušné jednotky. Jedná sa o zariadenia, v ktorých sa vzduch v miestnosti zohrieva teplovodným výmenníkom. Prúdenie zaisťuje ventilátor v jednotke. Jednotky môžu pracovať len s obehovým vzduchom alebo miešať privádzaný čerstvý vzduch so vzduchom obehovým. Takýto

typ vykurovania je vhodný pre ľahké obvodové konštrukcie, a to z dôvodu rýchlej reakcie na zmenu vonkajšej teploty.

Pri návrhu sa vychádza z návrhového tepelného výkonu miestnosti so započítanou tepelnou stratou prestupom, infiltráciou a zátopovým tepelným výkonom. Cieľom je stanoviť teploty privádzaného vzduchu a jeho prietokov do jednotlivých miestností. Teplota prírodného vzduchu sa navrhuje do 50 °C, pri vyšších teplotách môže dochádzať k prepaľovaniu prachu v potrubí. Pre každú miestnosť sa vypočíta:

$$\Phi_{su} = \left(\frac{V_{su,i} \cdot \rho_p \cdot c_p}{3600} \right) \cdot (\theta_{su} - \theta_{int,i}) \quad (11)$$

Kde:	$V_{su,i}$	množstvo vzduchu, ktorý je privádzaný do miestnosti [m ³ /h]
	ρ_p	hustota vzduchu [kg/m ³]
	c_p	merná tepelná kapacita vzduchu [J/(kg.K)]
	ρ_p	je príkon navyše pre prekonanie tlakovej straty vo výparníku a kondenzátore, odmrazovanie a reguláciu tepelného čerpadla [W]

2.3.2 Vykurovacie telesá

Základné rozdelenie vychádza zo spôsobu predania tepla do prostredia. Ďalšie rozdelenie je podľa konštrukcie, umiestnenia, materiálu. Jedná sa prevažne o zdieľanie tepla konvekciou (ohrev vzduchu prúdením okolo telesa).

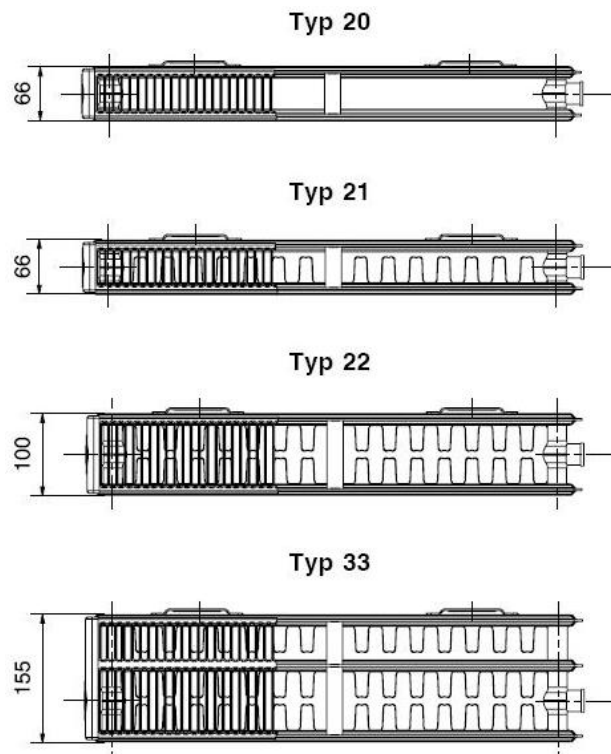
Článkové vykurovacie telesá:

Tieto telesá sa skladajú z článkov spojených závitovými vsuvkami alebo zvaraním. Počet článkov sa volí v závislosti na požadovanom výkone. Vyrábajú sa z rôznych materiálov rôznymi technologickými postupmi. Liatinové telesá sa vyznačujú dlhou životnosťou. Ocelové článkové telesá sa už nevyrábajú, stále sa s nimi môžeme stretnúť v stávajúcich starších budovách. Článkové vykurovacie telesá sú vhodné pre drevostavby a taktiež pre stavby s vysokou tepelnou akumuláciou.

Doskové vykurovacie telesá:

Tieto telesá patria v súčasnosti k najpoužívanejším. Sú tvorené jednou alebo viacerými doskami s hladkou alebo tvarovanou čelnou plochou. Dosky sa vyrábajú zvarením dvo-

jice prelisovaných plechových dosiek. Tieto dosky môžu byť doplnené lamelami, ktoré zväčšujú teplosmennú plochu, a tým zvyšujú výkon vykurovacieho telesa. Telesá majú malý vodný objem, čo umožňuje pružnú reguláciu. Vyrábajú sa s bočným pripojením, alebo v prevedení ventil kompakt so spodným pripojením vpravo, vľavo alebo uprostred.



Obr. 3. Niektoré typy doskových vykurovacích telies [19]

Trubkové vykurovacie telesá:

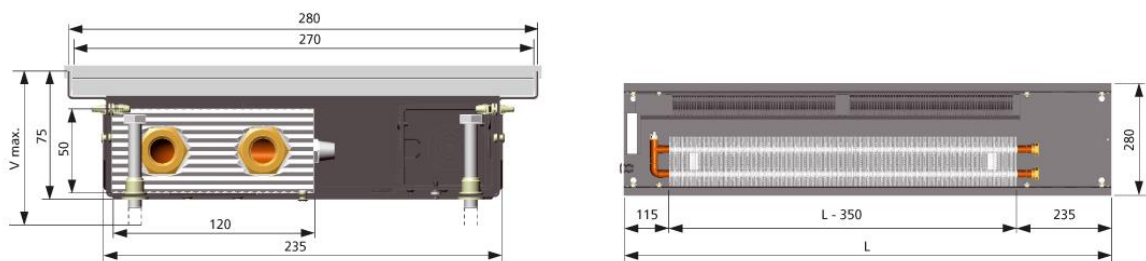
Tieto telesá sú tvorené trúbkami, ktoré môžu byť usporiadané rôznym spôsobom a môžu mať rôzne tvary a prierezy trúbok. Najbežnejšou ukážkou týchto telies sú takzvané kúpeľňové rebríky. Vyrábajú sa z oceľových profilov alebo zo zliatin hliníku. Niektorí výrobcovia umožňujú doplnenie telies o sadu pre kombinované vykurovanie, ktorá umožňuje telesu vykurovať miestnosť pomocou elektrického prúdu nezávisle na prevádzke ústredného kúrenia.

Konvektory:

Konvektor je vykurovacie teleso, ktoré zdieľa teplo do vykurovaného priestoru prevažne konvekciou. Skladá sa obvykle z výmenníku tepla a skrine opatrenou v hornej časti vdychovou mriežkou. Podľa umiestnenia ich rozdelíme:

- Povrchové
 - nástenné
 - nad podlahové
- Podlahové

Povrchový konvektor je tvorený skriňou, ktorá má v dolnej časti vykurovací register, z hornej strany je krytá mriežkou. Môžu byť vybavené ventilátorom pre lepšiu cirkuláciu vzduchu. Môžu byť zavesené na stene alebo stáť na stojanoch. V minulosti sa využívali na vykurovací register ocelové trubky a rebrá z ocelového alebo hliníkového plechu. V súčasnosti sa využívajú predovšetkým medené trubky s hliníkovými lamelami.



Obr. 4. Podlahový konvektor [18]

Podlahové konvektory sa volia u presklených plôch. Rozvod vykurovacieho média i konvektor sa zabuduje do konštrukcie.

2.3.3 Prevažne sálavé vykurovacie plochy

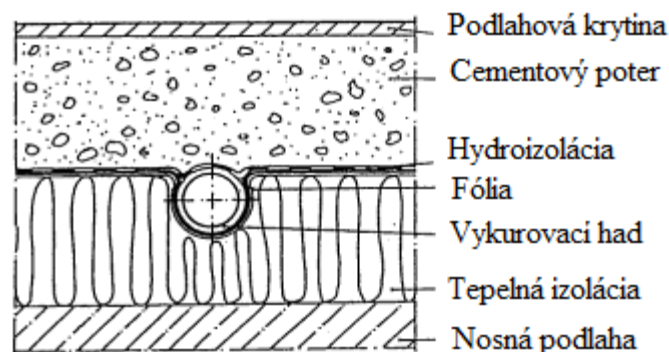
Vykurovacie plochy zdieľajú s okolím teplo prevažne sálaním (žiarením, radiáciou). Sálavé vykurovacie plochy delíme podľa niekoľkých kritérií:

- Podľa spôsobu prevedenia
 - suchým spôsobom
 - mokrým spôsobom
- Podľa tvarovania vykurovacieho hada
 - v tvare plošnej špirály
 - v tvare meandra

Suchý spôsob

U suchého spôsobu prevedenia je potrubie uložené do izolačnej vrstvy pod betónovú dosku. Od cementového poteru sú trubky oddelené špeciálnou vrstvou, hydroizolačnou fóliou. Kovová lamela pod fóliou zvyšuje pevnosť podlahy a umožňuje rovnomerný rozvod

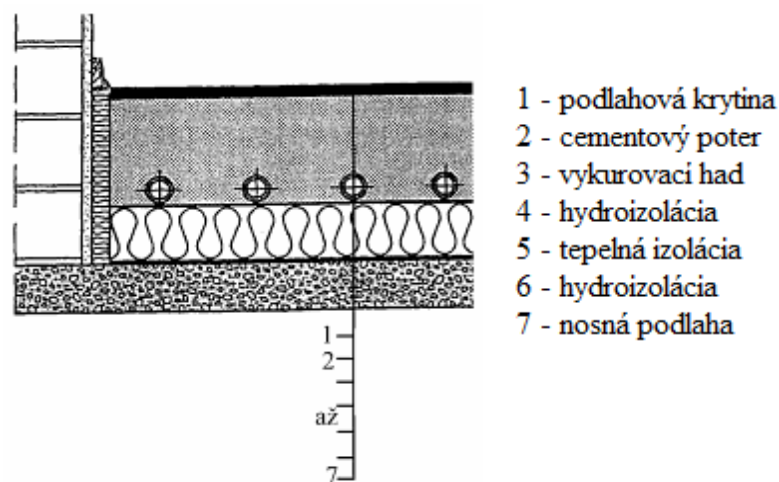
tepla. Podlaha vytvorená na suchý spôsob pracuje s vyššími teplotami vykurovacej vody. Prívodná teplota sa pohybuje v rozsahu 40 až 70 °C. Tento spôsob je vhodný tam, kde postačuje nižší merný tepelný výkon do 50 W/m².



Obr. 5. Detail uloženia trubky[20]

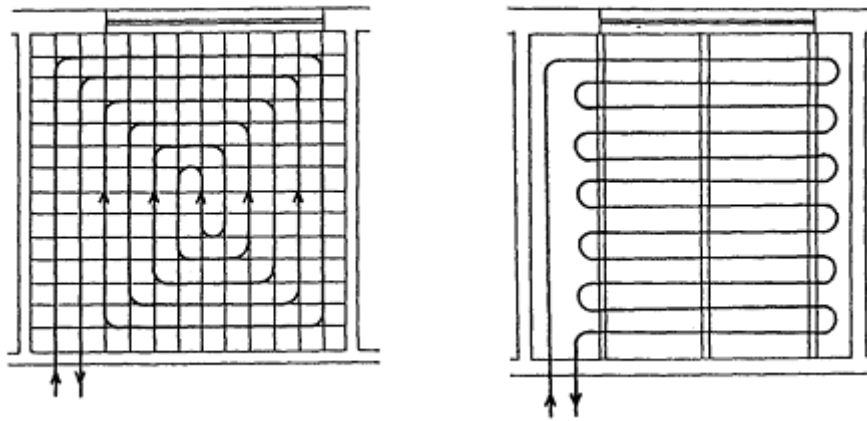
Mokrý spôsob:

Vykurovací had je priamo zaliaty v betónovej mazanine nad tepelne zvukovou izoláciou. Predpokladaná teplota prívodnej vody je 35 až 55°C a podlaha pracuje s merným tepelným tokom nad 50 W/m².



Obr. 6. Mokrý spôsob vytvorenia vykurovacej plochy [20]

Dôležitý je tiež spôsob tvarovania hada. U meandrového spôsobu kladenia (Obr. 7) klesá teplota vykurovacej vody od obvodovej konštrukcie k vnútornej stene, čo umožňuje rovnomernejšie rozloženie teplôt vo vykurovanej miestnosti. Oblúky sa tvarujú pod uhlom 180°, čo vyžaduje použitie potrubia menšieho priemeru.



Obr. 7. Vľavo kladenie hada v tvare plošnej špirály, vpravo meandrový spôsob kladenia [20]

Spôsob kladenia v podobe plošnej špirály ukazuje obrázok (Obr. 7). U tohto spôsobu kladenia je povrchová teplota podlahy po celej jej ploche rovnomerná. Nevýhodou je pokles vnútornej teploty vzduchu v horizontálnom smere od vnútornej konštrukcie k obvodovej konštrukcii. Pre uloženie trubiek do meandru sa väčšinou navrhujú trubky 18 x 2 a 20 x 2 mm, pretože tvarovanie umožňuje menší polomer pod uhlom 90°.

3 OPTIMALIZÁCIA NÁVRHU VYKUROVANIA

Rozhodujúcim parametrom pre návrh vykurovacieho systému je tepelná strata. Na tepelné straty musí byť dimenzovaná vykurovacia sústava a tepelný zdroj na vykurovanie. Pri stanovení potrebného výkonu zdroja tepla je možné vypočítať tepelnú stratu objektu ako celku. Avšak pri stanovení potrebného výkonu jednotlivých vykurovacích telies je potrebné stanoviť tepelnú stratu pre každú miestnosť zvlášť. Stanovenie výkonu zdroja tepla na základe výpočtu tepelných strát môže ušetriť významné investičné náklady a následne aj prevádzkové náklady. Vhodné dimenzovanie zdroja je dôležitým predpokladom pre dosiahnutie vysokej účinnosti. [21]

3.1 Tepelné straty

Tepelné straty budov sa skladajú z dvoch zložiek, a to tepelná strata prestupom a vetraním. Pri tepelnej strate prestupom je rozhodujúcim parametrom súčiniteľ prestupu tepla.[22]

Celková návrhová tepelná strata vykurovaného priestoru sa vypočíta:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (12)$$

kde	Φ_i je	Celková návrhová strata vykurovaného priestoru [W]
	$\Phi_{T,i}$	Návrhová tepelná strata prestupom tepla vykurovaného priestoru (i) [W]
	$\Phi_{V,i}$	Návrhová tepelná strata vetraním vykurovaného priestoru (i) [W]

3.1.1 Návrhová tepelná strata prestupom tepla

Je tepelná strata prestupom tepla do vonkajšieho prostredia plochami obklopujúcimi vykurovaný priestor a tepelná strata do odlišne vykurovaných alebo nevykurovaných priestorov v rámci vykurovaného priestoru. Návrhová tepelná strata prestupom tepla pozostáva z jednotlivých dielčích tepelných strát, a to tepelných strát priamo do vonkajšieho prostredia, tepelných strát do nevykurovaného priestoru, tepelných strát do priľahlej zeminy a tepelných strát do susedného priestoru vykurovaného na odlišnú teplotu.[22]

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (13)$$

kde

$H_{T,ie}$ je	súčiniteľ tepelnej straty prestupom do vonkajšieho prostredia [W/K]
$H_{T,iue}$	súčiniteľu tepelnej straty prestupom do nevykurovaného priestoru [W/K]
$H_{T,ig}$	súčiniteľu tepelnej straty prestupom do príľahlej zeminy [W/K]
$H_{T,ij}$	súčiniteľu tepelnej straty prestupom do odlišne vykurovaného priestoru [W/K]
$\theta_{int,i}$	vnútorná výpočtová teplota vykurovaného priestoru [°C]
θ_e	vonkajšia výpočtová teplota [°C]

3.1.1.1 Tepelné straty do vonkajšieho prostredia

Do súčiniteľu tepelnej straty do vonkajšieho prostredia sa zahŕňajú všetky stavebné časti a lineárne tepelné mosty, ktoré oddeľujú vykurovaný priestor od vonkajšieho prostredia. [22]

Vypočíta sa z rovnice:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l \quad (14)$$

kde	A_k je	Plocha stavebnej časti [m ²]
	U_k	súčiniteľ prestupu tepla stavebnej časti [W/(m ² .K)]
	e_k, e_l	korekčný činiteľ vystavenia poveternostným vplyvom [-]
	ψ_l	činiteľ lineárneho prestupu tepla lineárneho tepelného mosta [W/(m.K)]
	l_l	dĺžka lineárnych tepelných mostov [m]

3.1.1.2 Tepelné straty nevykurovaným priestorom

Ak je medzi vykurovaným priestorom a vonkajším prostredím nevykurovaný priestor, návrhový súčiniteľ tepelnej straty prestupom sa vypočíta:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_k + \sum_l \psi_l \cdot I_l \cdot b_u \quad (15)$$

kde:

b_k, b_u je teplotný redukčný súčiniteľ zahŕňajúci rozdiel medzi teplotou nevykurovaného priestoru a vonkajšej návrhovej teploty [-]

3.1.1.3 Tepelné straty do príľahlej zeminy

Tepelné straty podlahami a základovými stenami s priamym alebo nepriamym stykom s príľahlou zeminou závisia na viacerých činiteľoch. Zahŕňajú plochu a obvod podlahovej dosky, hĺbku podzemného podlažia pod úrovňou zeminou, tepelné vlastnosti zeminou. [22]

Hodnota tepelnej straty prestupom do zeminou sa vypočíta:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w \quad (16)$$

kde:

f_{g1} je korekčný činiteľ zohľadňujúci vplyv ročnej zmeny vonkajšej teploty. [-]

f_{g2} teplotný redukčný činiteľ zohľadňujúci rozdiel medzi ročnou priemernou vonkajšou teplotou a výpočtovou teplotou [-]

$U_{equiv,k}$ ekvivalentný súčiniteľ prestupu teploty stavebnej časti [W/(m².K)]

G_w korekčný činiteľ zohľadňujúci vplyv spodnej vody (musí sa uvažovať, pokiaľ je vzdialenosť medzi predpokladanou vodnou hladinou spodnej vody a úrovňou podlahy menší ako 1m) [-]

3.1.1.4 Tepelná strata z alebo do susediaceho priestoru s odlišnou teplotou

$$H_{T,iue} = \sum_k f_{i,j} \cdot U_k \cdot b_k \quad (17)$$

kde

$f_{i,j}$ je redukčný teplotný činiteľ korigujúci teplotný rozdiel susedného priestoru a vonkajšej výpočtovej teploty [-]

3.1.2 Návrhová tepelná strata vetraním

Vetranie je výmena vzduchu v uzatvorenom priestore za vonkajší – môže byť spojitý v čase, trvalý alebo prerušovaný, v opakujúcich sa časových intervaloch. Výmeny vzduchu je možné dosiahnuť samočinne pri prirodzenom vetraní (prevetrávaní, infiltrácii, aerácii). K prirodzenému vetraní sa využíva tlakových rozdielov spôsobených rozdielom hustôt vonkajšieho a vnútorného vzduchu. Pri nútenom vetraní sa vzduch privádza a odvádza ventilátormi. Systém núteného vetrania umožňuje vzduch upravovať.[22] [23]

Návrhová tepelná strata vetraním pre vykurovaný priestor (i) sa vypočíta:

$$\Phi_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (18)$$

kde $\Phi_{V,i}$ je návrhová tepelná strata vetraním [W]
 \dot{V}_i objemový prietok vzduchu [m³/s]
 ρ hustota vzduchu pri vnútornej výpočtovej teplote [kg/m³]
 c_p merná tepelná kapacita vzduchu pri vnútornej výpočtovej teplote [kJ/kg.K]
 $\theta_{int,i}$ vnútorná výpočtová teplota vykurovaného priestoru [°C]
 θ_e vonkajšia výpočtová teplota [°C]

3.1.3 Súčiniteľ prestupu tepla

Súčiniteľ prestupu tepla sa hodnotí súčasne dvoma spôsobmi. Pre jednotlivé konštrukcie a ako celok pre všetky konštrukcie pomocou priemerného súčiniteľa prestupu tepla. Oba požiadavky musia byť splnené súčasne, pokiaľ nie je výnimočne pripustené inak.[4]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \quad (19)$$

kde U je súčiniteľ prestupu tepla [W/(m².K)]

h_i	prestup tepla na vnútornej strane konštrukcie, $h_i = 8$ [W/(m ² .K)]
h_e	prestup tepla na vonkajšej strane konštrukcie, $h_e = 23$ [W/(m ² .K)]
d	hrúbka konštrukcie [m]
λ	súčiniteľ tepelnej vodivosti jednotlivých vrstiev [W/(m.K)]

3.2 Časová konštanta budovy

Časová konštanta zóny budovy vyjadrená v hodinách, charakterizuje tepelnú zotrvačnosť priestoru pre obidva režimy (vykurovania, chladenie). Časová konštanta budovy by nemala byť nižšia ako časová konštanta vykurovacej sústavy, a to z dôvodu reakcie na zmenu teploty. [24]

Vypočíta sa z rovnice:

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} \quad (20)$$

kde	τ je	časová konštanta zóny budovy [h]
	C_m	vnútorná tepelná kapacita budovy alebo zóny [J/K]
	$H_{tr,adj}$	reprezentatívna hodnota celkového merného tepelného toku prestupom prepočítaná na teplotný rozdiel medzi interiérom a vonkajším prostredím [W/K]
	$H_{ve,adj}$	reprezentatívna hodnota celkového merného tepelného toku vetraním prepočítaná na teplotný rozdiel medzi interiérom a vonkajším prostredím [W/K]

Reprezentatívne hodnoty $H_{ve,adj}$ a $H_{tr,adj}$ sú reprezentatívne pre rozhodujúce obdobie (vykurovanie alebo chladenie).

3.2.1 Vnútorná tepelná kapacita budovy

Pre mesačnú a sezónnu metódu sa tepelná kapacita zóny budovy, vypočíta sčítaním tepelných kapacít jednotlivých stavebných prvkov, ktoré sú v priamom kontakte s vnútorným vzduchom uvažovanej zóny [25]

$$C_m = \sum \kappa_j \cdot A_j \quad (21)$$

kde A_j je plocha j-teho prvku [m^2]
 κ_j vnútorná plošná tepelná kapacita j-teho prvku, určená v súlade s kapitolou 7 v EN ISO 13786:2007 alebo ako jednoduchšia možnosť v súlade s prílohou A v ISO 13786:2007 [$J/(m^2 \cdot K)$]

Maximálna započítateľná hrúbka do hodnoty vnútornej tepelnej kapacity je 0,1 m. Pre zvláštne využitie a typy budov môže byť na národnej úrovni alternatívne rozhodnuté použiť orientačné hodnoty odvodzujúce sa z typu konštrukcie.

Podľa prílohy A v norme ISO 13786:2007 sa plošná tepelná kapacita môže vypočítať ako:

$$\kappa_j = \sum_i \rho_i \cdot d_i \cdot c_i \quad (22)$$

kde ρ_i je hustota prvku i [kg/m^3]
 d_i hrúbka vrstvy i[m]
 c_i merná tepelná kapacita prvku i [$J/(kg \cdot K)$]

Vzťah (22) sa dá použiť pokiaľ platí podmienka:

$$\sum_i d_i = d_T \quad (23)$$

kde d_T je maximálna započítateľná hrúbka [m]. [25]

4 SIMULAČNÉ PROSTREDIA

V minulosti sa pre simulácie tepelného správania budov používali výpočtové metódy založené na empirických vzťahoch, prípadne sa zavádzali rôzne zjednodušenia. Nástupom výpočtovej techniky je možné zohľadňovať zložitejšie fyzikálne procesy. Simulačné prostredia dokážu riešiť so zodpovedajúcimi vstupmi problémy stavebnej fyziky s vysokým stupňom detailu. Pri projektovaní systémov techniky prostredia sa stále častejšie používajú simulačné nástroje. Nárast výpočtového výkonu počítačov umožňuje simulovať rôzne stavy. Počítačové simulácie sa využívajú pri projektovaní, výskume, dynamickom chovaní budov. Pri samotnom návrhu vykurovania je možné pomocou simulačných metód sledovať ich chovanie, či už ako statické, alebo dynamické simulácie. Simulovať sa dá napríklad sálanie tepla zo sálavých vykurovacích plôch a následné rozloženie teplôt v miestnosti.[26]

Väčšina nástrojov má na výber rozsiahlu škálu doplnkov pre konkrétnu aplikáciu v mnohých technických alebo vedných oboroch. Kapitola sa venuje simulačným prostrediam vhodným pre použitie v technike prostredia.

4.1 Simulačný test stavebnej energetiky (BESTEST)

BESTEST (Building Energy Simulation Test) je metóda pre testovanie, diagnostiku a overenie možností rôznych simulačných programov. Skladá sa z analytických riešení a testov, ktoré umožňujú daný simulačný program porovnať s referenčným modelom. Ide o projekt vyvíjaný medzinárodnou energetickou agentúrou IEA (International Energy Agency). Pre test sa využíva porovnávací model, ktorého parametre sú definované normou ANSI ASHRAE Standard 140:2011, ktorá ho schvaľuje ako štandardnú metódu skúšky pre posúdenie počítačového programu. Test obsahuje napríklad [27], [28]:

- Stavebnú fyziku vrátane obvodového plášťa a konštrukcie budovy
- Skúšky zdôrazňujúce modelovanie energetickej náročnosti
- Testy založené na analytických riešeniach pre klimatizačné systémy
- Porovnávacie, realistické testy pre klimatizačné systémy
- Analytické, kvázi analytické a porovnávacie testy pre určenie možností energetických simulačných programov pre simulovanie tepelných väzieb medzi zemou a podlahou

4.1.1 SolidWorks

SolidWorks je rozsiahly nástroj pre 3D konštruovanie, ktorý umožňuje vytvárať diely, zostavy a výkresovú dokumentáciu. Hlavnou nevýhodou programu je náročnosť na výpočtový výkon počítača a pamäť. Súčasťou software sú nástroje ako SolidWorks Motion, Routin, Flow Simulation a ďalšie.

Flow Simulation slúži pre simulácie prúdenia kvapalín, účinky ich síl a prenos tepla. Hlavné využitie programu je v oblastiach prúdenia plynov, prúdenia kvapalín v potrubiach, prenosu tepla v tuhých látkach a plynch a analýza chladenia uzavretých priestorov. Má integrovaný v 3D CAD systéme SolidWorks pre výpočet dynamiky kvapalín a plynov v reálnych podmienkach. Software obsahuje prídavné moduly HVAC, ktoré ponúkajú špecializované nástroje pre analýzu prenosu tepla žiarením, vnútorného prostredia, prenosu tepla vedením a prúdením a pokročilé analýzy tepelného prostredia. Software dokáže určiť parametre tepelného komfortu:

- PMV
- PPD
- Operatívna teplota

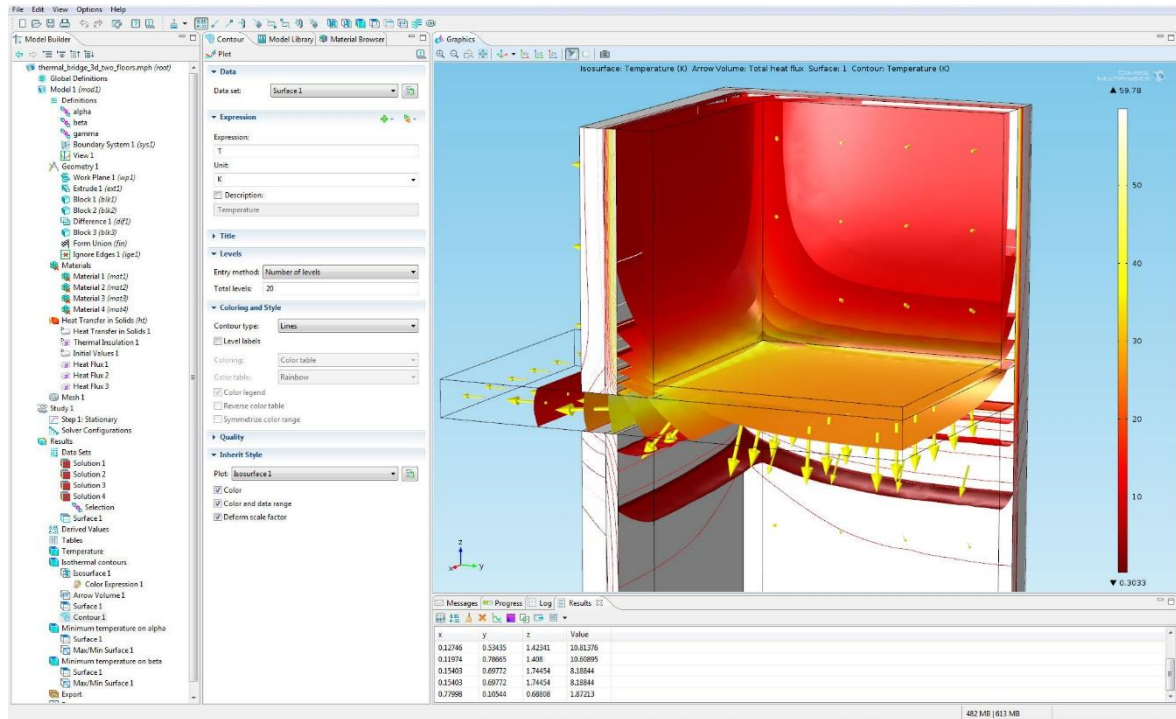
Pre účely diplomovej práce bol využitý nástroj Flow Simulation pre simuláciu operatívnej teploty. [29]

4.1.2 COMSOL Multiphysics

Program je určený k riešeniu inžinierskych úloh pomocou metódy konečných prvkov. Umožňuje modelovať a simulovať fyzikálne javy, základom programu je jadro programu Matlab. COMSOL Multiphysics je určený inžinierom, konštruktérom a vedeckým pracovníkom a používa sa v mnohých oblastiach vedy a techniky, elektromagnetizmu, dynamiky tekutín, prenosu tepla a stavebnej mechaniky. Pre oblasť stavebnej mechaniky obsahuje viacero modulov špecifických pre využitie v danej problematike, Heat Transfer, Structural Mechanics, Nonlinear Structural Material, Geomechanics, Fatigue, Multibody a Acoustic moduly.

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 bilancií.[30]



Obr. 8. Postredie programu Comsol Multiphysics [30]

4.1.3 TRNSYS

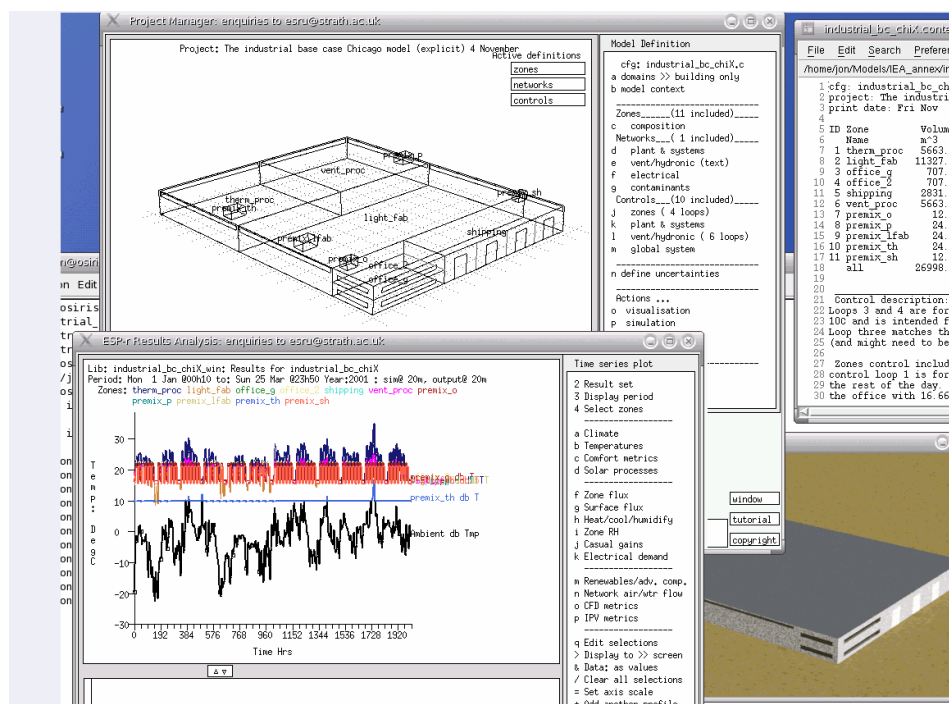
TRNSYS je simulačný program s modulárnou štruktúrou. Je to graficky založený software používaný pre simulácie prechodových systémov. Predovšetkým je určený pre riešenie energetickej náročnosti budov, fotovoltaických, vzduchotechnických a teplovodných systémov. Umožňuje riešiť algebrické a diferenciálne rovnice zadané vstupným súborom. Pomocou knižnic rozličných komponentov je možné modelovať rôzne situácie, ktorých výstupy môžu byť reprezentované ako matematické funkcie vstupov (časovo závislé hodnoty) a parametrov (hodnoty nezávislé na čase).

Súčasťou programu je niekoľko nástrojov. TRNSYS3D je doplnok pre program Google SketchUp, ktorý umožňuje užívateľom kresliť viac zónové budovy vrátane tieňovania vnútorných pohľadov zariadení a vkladať geometrie priamo z programu SketchUp do TRNBuild. TRNBuild je rozhranie pre vytváranie a editovanie všetkých geometrických informácií potrebných pre model budovy. TRNSED umožňuje užívateľom vytvárať grafické rozhrania pre špecifické aplikácie a využiť ich pre užívateľov TRNSYS. [31], [32]

4.1.4 ESP-r

ESP-r je integrovaný nástroj energetického modelovania pre simulácie tepelného, vizuálneho a akustického výkonu v budove a vplyvu emisií na životné prostredie. Pre vykonávanie hodnotenia je systém vybavený pre modelovanie tepla, prúdenia vzduchu, vlhkosti a toku energie. Systém je určený primárne pre operačný systém Linux pod licenciou GNU General Public Licence, ale je možné ho spustiť taktiež na platformách Windows. [33]

Program ESP-r sa skladá z niekoľkých programov, každý prispieva k riadeniu určitého procesu v priebehu simulácie. Všetky tieto nástroje sú riadené automaticky v Project Manažérovi ďalej len PM. Jednotlivé procesy je možné spustiť samostatne bez PM, analýzy výsledku potom bežia v textovom režime, kde je možné ľahko exportovať výsledky formou tabuliek. Aplikácie sa dajú spúšťať v grafickom i textovom režime. Režim využívajúci grafické menu je jednoduchý a prehľadný na ovládanie, výsledné správy sa zobrazujú v rolacom okne, ovládanie aplikácie zaisťuje kontrolné menu. Textový režim je vhodný pre vzdialené ovládanie cez sieť, alebo v rámci podniku. Je možné takto ovládať a spracovávať modely aj ich hodnotenie. Odpadá tu však grafické spracovanie pohľadov a grafov. Výhodou tohto softwaru je možnosť importovať CAD súbory. Táto podpora sa týka súborov DXF, kompatibilita je tiež z nástrojom AutocadXzip. Tiež je možný export ESP-r do programu Autocad, je ale nutné dodržanie istej konvencie pri definovaní vrstiev a ďalších.



Obr. 9. Prostredie programu ESP-r [34]

4.1.5 OpenFOAM

OpenFOAM je program, ktorý je k dispozícii zadarmo. Vývoj programu je zastrešovaný neziskovou organizáciou OpenFOAM. Má širokú škálu funkcií pre riešenie prúdenia tekutín, chemických reakcií, prenosu tepla v materiáloch a ďalších. Program ako otvorený systém má výhodu v možnosti upravovania zdrojového kódu samotnými užívateľmi. Obsahuje cez 80 riešiteľov pre rôzne aplikácie, ktoré simulujú špecifické problémy.

4.1.6 ANSYS

Software ANSYS ponúka komplexnú softvérovú sadu, ktorá pokrýva celé spektrum fyziky určených predovšetkým k určení chovania produktov v reálnom prostredí a ich návrhu. Jedným z nástrojov je ANSYS Fluent, určený pre simulácie prenosu tepla a ďalších. ANSYS Fluent obsahuje široké možnosti fyzikálneho modelovania potrebného pre modelovanie prúdenia, prenosu tepla a reakcií na priemyselné aplikácie. [35]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POPIS OBJEKTU

Objektom je rodinný dom, ktorý sa nachádza v Slovenskej republike, a to v obci Stará Myjava vzdialenej asi 5 km od hranice s Českou republikou.

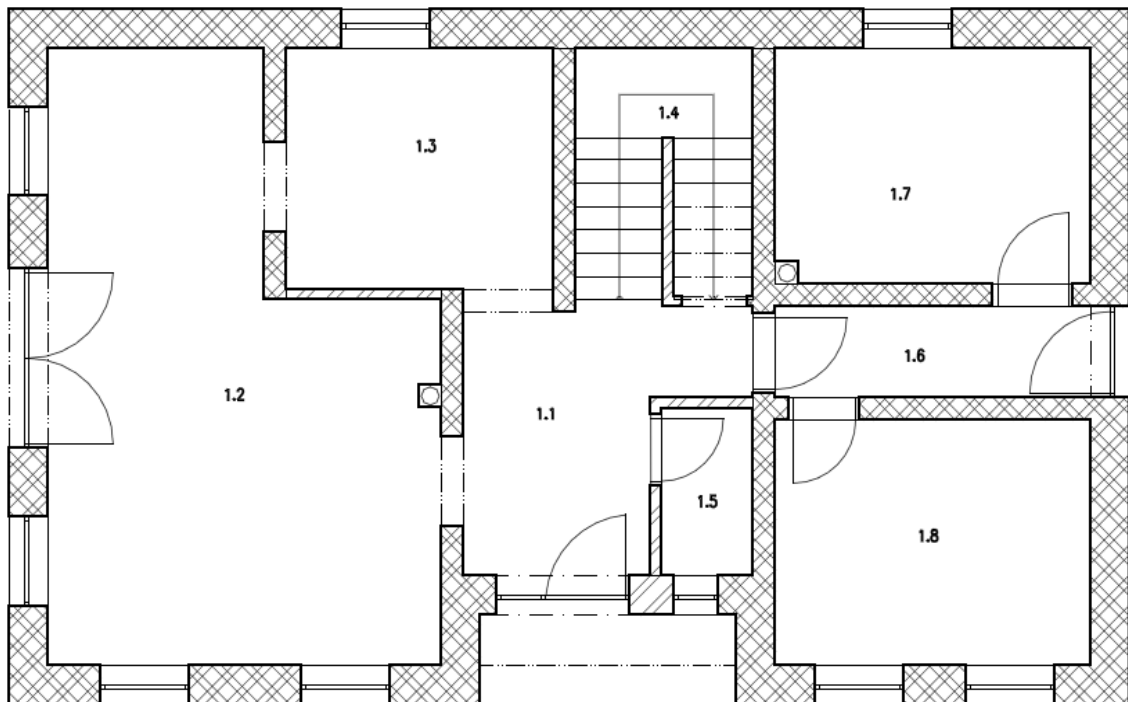
Dom disponuje jedným hlavným vchodom a jedným bočným vchodom určeným prevažne na prístup do kotle. Hlavný vchod domu je orientovaný na južnú stranu.



Obr. 10. Juhozápadný pohľad na objekt

5.1 Prvé nadzemné podlažie

Na prvom podlaží sa nachádza obývačka spojená s jedálňou a prechodom bez dverí s kuchyňou. Vedľa kuchyne sa nachádza schodisko pre prístup do druhého nadzemného podlažia. V chodbe pred hlavným vstupom je umiestnená toaleta. V ďalšej časti prvého nadzemného podlažia je skládka paliva, ktorú je v budúcnosti možné využiť ako ďalšiu izbu keďže je tam samostatná vetva podlahového kúrenia a kotelňa. Pôdorys prvého nadzemného podlažia je zobrazený na obrázku (Obr. 11). Zakótovaný pôdorys je zobrazený v prílohe (Príloha P I).



Obr. 11. Pôdorys prvého nadzemného podlažia

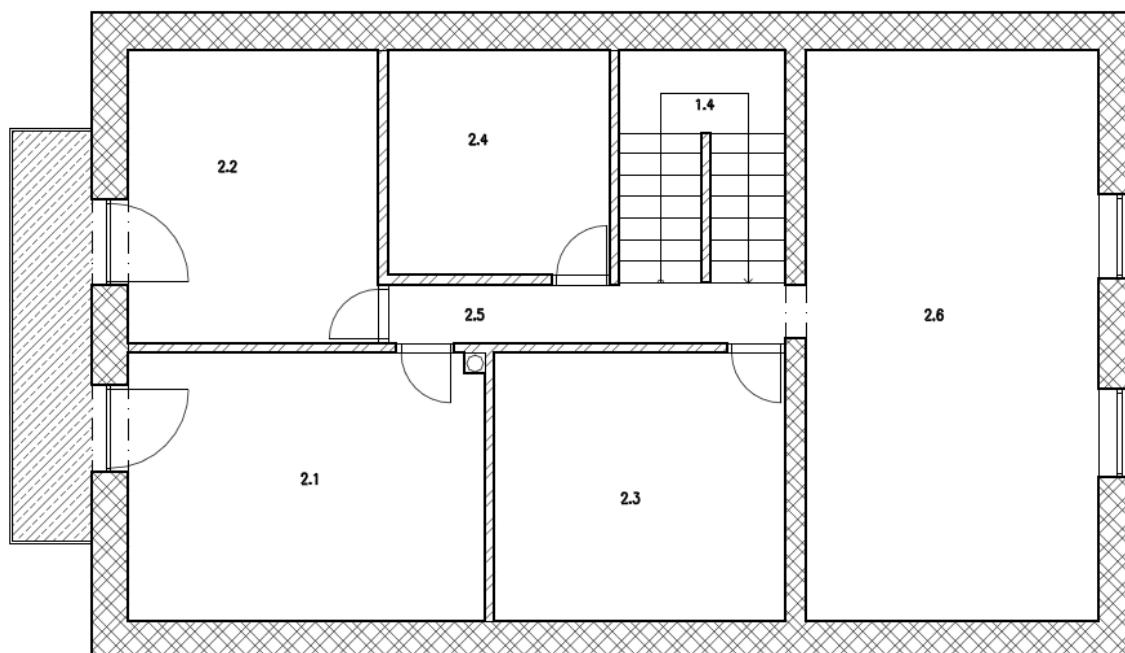
Legenda miestností sa nachádza v tabuľke (Tab. 13)

Tab. 13. Legenda miestností 1.NP

Poschodie	Číslo miestnosti	Názov miestnosti	Plocha, A, [m ²]
1.NP	1.1	Predsieň	7,3
	1.2	Obývačka	24,9
	1.3	Kuchyňa	8,0
	1.4	Schodisko	5,8
	1.5	WC	1,9
	1.6	Chodba	3,8
	1.7	Kotolňa	9,3
	1.8	Izba	9,7

5.2 Druhé nadzemné podlažie

Na druhom nadzemnom podlaží je umiestnená spoločenská miestnosť, tri miestnosti určené ako spálne a kúpeľňa spojená s toaletou. Pôdorys druhého nadzemného podlažia je zobrazený na obrázku (Obr. 12) a v prílohe (Príloha P I).



Obr. 12. Pôdorys druhého nadzemného podlažia

Tab. 14. Legenda miestností 2.NP

Poschodie	Číslo miestnosti	Názov miestnosti	Plocha, A, [m ²]
2.NP	2.1	Spálňa	13,9
	2.2	Izba	11,4
	2.3	Izba	10,1
	2.4	Kúpeľňa	7,2
	2.5	Chodba	3,4
	2.6	Spoločenská miestnosť	24,4

5.3 Popis miestnosti zvolenej pre simulácie a meranie

Miestnosť zvolená pre meranie a simuláciu stavu vnútorného prostredia je na prvom nadzemnom podlaží, a to konkrétne obývačka spojená s jedálňou, je to miestnosť číslo 1.2 na obrázku s pôdorysom prvého nadzemného podlažia (Obr. 11). V miestnosti je rozvod podlahového kúrenia rozdelený na dve samostatné vetvy. Ďalším zdrojom tepla pre miestnosť budú v budúcnosti krbové kachle, ktoré zatiaľ nie sú realizované, preto sa nenačádzajú ani vo výkrese. V miestnosti sú umiestnené terasové dvere orientované na západ so šírkou 2010mm a výškou 2400 mm. Ďalšie otvorové výplne tvoria štyri okná, každé so

šírkou 1000mm a výškou 1500 mm. Svetlá výška miestnosti je 2540 mm a plocha podlahy 24,9 m².

5.4 Okrajové podmienky výpočtov

Keďže sa daný objekt nachádza v Slovenskej republike okrajové podmienky výpočtov sú získané zo slovenskej technickej normy, a to konkrétne STN 73 0540-3 prílohy A. Lokalita umiestnenia stavby má nadmorskú výšku 330 m n. m. spadá do prvej teplotnej oblasti s výpočtovou teplotou -13°C. Dĺžka vykurovacieho obdobia a priemerné mesačné teploty pre výpočet sú získané taktiež zo slovenskej normy a to STN EN ISO 13790-NA.

Lokalita	Myjava
Nadmorská výška	330 m n. m.
Vonkajšia výpočtová teplota	-13 °C
Počet vykurovacích dní	233

5.5 Tepelne technické parametre

V kapitole sú popísané vlastnosti konštrukcii z hľadiska súčiniteľa prestupu tepla a kondenzácie vodnej pary v konštrukciách. V ďalšej časti sú stanovené tepelné straty objektu a tepelný výkon. Výpočty sú realizované pomocou software Stavební fyzika. Výsledky výpočtov súčiniteľa prestupu tepla konštrukcii boli ďalej použité pri nastavovaní parametrov konštrukcií v simulácii.

5.5.1 Skladba a vlastnosti konštrukcií

Skladba konštrukcií má vplyv hlavne na konečnú spotrebu energie na vykurovanie (chladenie). Je preto veľmi dôležité aké materiály sú pri stavbe domu použité. V podstate sa konštrukcie dajú rozdeliť do dvoch skupín. Jedna skupina vystavená vonkajším podmienkam, druhá susediaca s nevykurovaným alebo inak vykurovaným prostredím. V tomto prípade sú v styku s vonkajším prostredím len obvodová stena, šikmá strecha a podlaha v prvom nadzemnom podlaží. Interiérové steny sú postavené v dvoch hrúbkach, keďže obe susedia s inak vykurovaným prostredím je potrebné vziať do úvahy aj ich skladbu.

Skladba jednotlivých konštrukcií je udaná v tabuľke (Tab. 15). Materiáli sú zadané smerom z interiéru do exteriéru.

Tab. 15. Skladba konstrukcí

Konstrukcia	Názov	Materiál	d [m]
Stena obvodová	Omietka	Baumit MPI 25	0,015
	Tehla	Porotherm P+D 44	0,440
Podlaha	Poter	Betón	0,060
	Podlahový polystyrén	Isover EPS 100S	0,090
	Izolácia	IPA	0,0051
	Železobetón	Železobetón	0,150
Strecha šikmá	Sadrokartón	Sadrokartón	0,0125
	Vzduch	Uzatvorená vzduchová dutina	0,005
	Parozábrana	Jutafol N110 Special	0,00022
	Izolácia	Isover Unirol-Plus	0,050
	Izolácia	Isover Unirol-Plus	0,180
	Fólia	Jutadach 95	0,0002
Strop pod nevykurovanou poväľou	Sadrokartón	Sadrokartón	0,0125
	Vzduch	Uzatvorená vzduchová dutina	0,050
	Parozábrana	Jutafol N Special	0,00022
	Izolácia	Isover Unirol-Plus	0,050
	Izolácia	Isover Unirol-Plus	0,180
	OSB doska	OSB doska	0,020
Stena vnútorná nosná	Omietka	Baumit MPI 25	0,015
	Tehla	Porotherm P+D	0,240
	Omietka	Bauimt MPI 25	0,015
Stena vnútorná nenosná	Omietka	Baumit MPI 25	0,015
	Tehla	Porotherm P+D 44	0,115
	Omietka	Bauimt MPI 25	0,015
Strop	Ľahčéný strop	Miako 230 mm	0,230
	Betón	Poter	0,050

Dôležitou vlastnosťou konštrukcií je tiež súčiniteľ tepelnej vodivosti, λ , ktorý je potrebný pri výpočte súčiniteľu prestupu tepla. Ďalšie vlastnosti stavebných konštrukcií použité pri výpočtoch sú merná tepelná kapacita, c , a objemová hmotnosť, ρ .

Tab. 16. Tepelne technické parametre materiálov

Materiál	λ [W/(m.K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg.K)]
Porotherm P+D 24	0,380	900	960
Porotherm P+D 44	0,174	800	960
Baumit MPI 25	0,470	1290	790
Miako	0,862	800	800
Železobetón	1,430	2300	1020
Poter	1,230	2100	1020
Podlahový polystyrén	0,090	21	1270

5.5.2 Súčiniteľ prestupu tepla

Súčiniteľ prestupu tepla jednotlivých konštrukcií bol stanovený v programe Teplo od firmy Svoboda software v zložení konštrukcií uvedenom v tabuľke (Tab. 15). Je to dôležitý parameter. Skladba obálky budovy musí byť navrhnutá tak, aby spĺňala požiadavky z hľadiska tepelne izolačných vlastností a zároveň aby nedochádzalo k hromadeniu skondenovaných vodných pár v konštrukcii, ideálne aby ku kondenzácii vôbec nedochádzalo.

Požadované hodnoty súčiniteľa prestupu tepla stavebných konštrukcií stanovuje norma ČSN 73 0540-2, požadované a vypočítané hodnoty sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 17).

Tab. 17. Požadované a vypočítané hodnoty súčiniteľa prestupu tepla

Konštrukcia	Súčiniteľ prestupu tepla U [W/(m ² K)]	
	Požadovaná hodnota $U_{N,20}$	Vypočítaná hodnota U
Stena obvodová	0,30	0,370
Podlaha	0,45	0,380
Strecha šikmá	0,24	0,158
Strop pod nevykurovanou povalou	0,30	0,154
Stena vnútorná nosná	2,70	1,050
Stena vnútorná nenosná	2,70	1,780

Okná a dvere teda otvorové výplne obálky budovy majú súčiniteľ prestupu tepla udaný výrobcom s hodnotou 1,3 W/(m².K). Touto hodnotou spĺňujú požiadavku normy na hodnotu 1,5 W/(m².K).

Z tabuľky (Tab. 17) vyplýva, že obvodová stena nespĺňa požiadavku normy, ktorá požaduje hodnotu nižšiu ako $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Z tohto dôvodu musí byť fasáda dodatočne zateplená. Návrh skladby konštrukcie obvodovej steny je uvedený v tabuľke (Tab. 18)

Tab. 18. Zmena konštrukcie obvodovej steny po zateplení

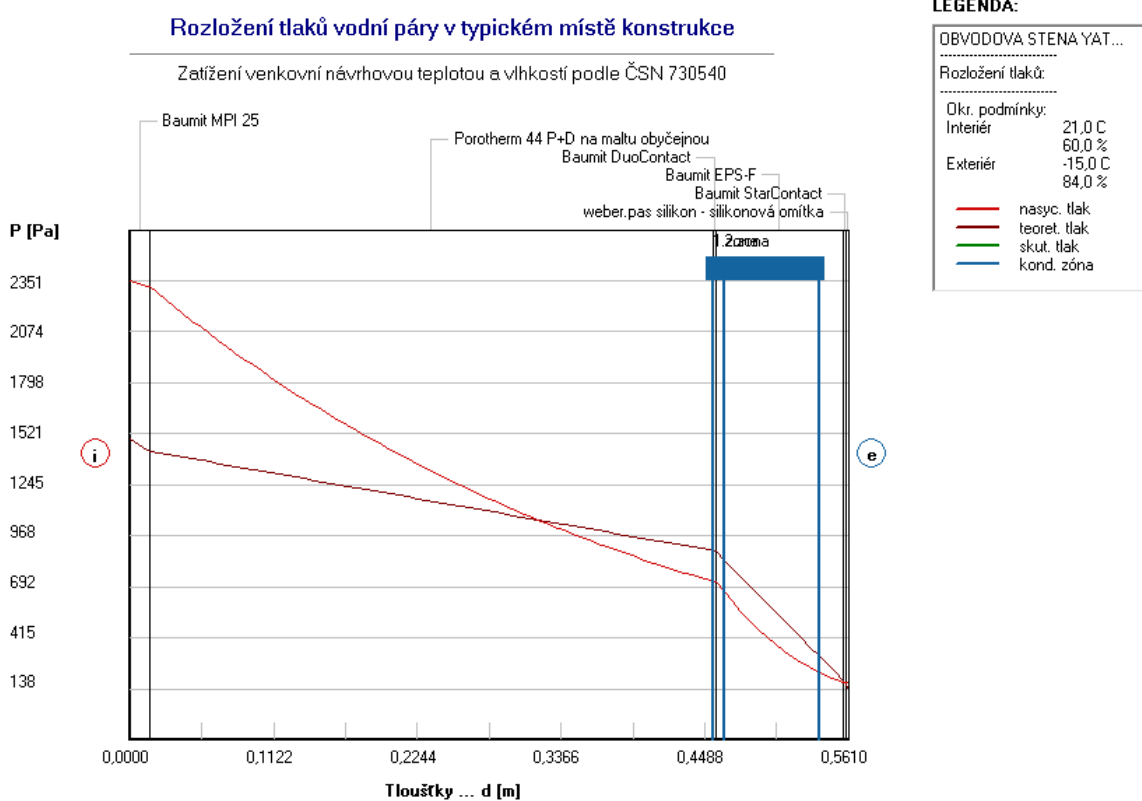
Konštrukcia	Názov	Materiál	d [m]
Stena obvodová	Omietka	Baunit MPI 25	0,015
	Tehla	Porotherm P+D 44	0,440
	Lepiaca hmota	Baunit DuoContact	0,010
	Polystyrén	EPS	0,100
	Stierkovacia hmota	Baunit DuoContact	0,002
	Fasádna omietka	Silikónová omietka	0,002

Hrúbka izolácie bola zvolená na základe požiadavky normovanej hodnoty priemerneho súčiniteľu prestupu tepla, $U_{em,N}$, obálky budovy. Požiadavku budova spĺňa až po navrhovanej hrúbke zateplenia. Súčiniteľ prestupu tepla obvodovej steny sa po zateplení zmení na $0,193 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Hodnota zároveň spĺňa požadovaný súčiniteľ prestupu tepla pre vonkajšiu stenu. K vystaveniu energetického štítok budovy sú potrebné hodnoty :

- $U_{em,N}$ 0,40 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
- U_{em} 0,39 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Energetický štítok budovy C - Vyhovujúca budova

Pre účely simulácie a výpočtov boli použité vypočítané hodnoty z aktuálneho stavu budovy.

Z hľadiska kondenzácie vodných pár v konštrukciách je podstatné aby bolo množstvo skondenzovanej vodnej pary za rok nižšie ako množstvo odparenej vodnej pary za rok. V tomto prípade dochádza ku kondenzácii vodnej pary len v konštrukcii obvodovej steny:



Obr. 13. Rozloženie tlakov vodnej pary

Na obrázku (Obr. 13) je zobrazená oblasť kondenzácie vodnej pary (1. zóna).

- Množstvo skondenzovanej vodnej pary za rok $M_{c,a}$: 0,0277 kg/(m².rok)
- Množstvo vyparitelnej vodnej pary za rok $M_{ev,a}$: 1,2678 kg/(m².rok)

Konštrukcia je považovaná za vyhovujúcu, keďže množstvo vyparitelnej vodnej pary za rok niekoľkonásobne prekračuje množstvo pary, ktoré v konštrukcii skondenzuje.

5.5.3 Tepelné straty

Tepelné straty boli určené podľa normy ČSN EN 12831 pre každú miestnosť zvlášť pre návrhové teploty. Ide o straty prestupom tepla a vetraním v miestnosti. Celková návrhový výkon, Φ_{HL} , sa určí súčtom jednotlivých strát:

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,I} + \sum \Phi_{V,I}$$

- Tepelné straty prestupom $\Phi_{T,I} = 5,438$ kW
- Tepelné straty vetraním $\Phi_{V,I} = 2,71$ kW

$$\Phi_{HL} = 5,438 + 2,71 = 8,14 \text{ kW}$$

Celkový návrhový výkon je rovný približne 8,2 kW. Podrobné výsledky pre jednotlivé miestnosti sú uvedené v tabuľke (Tab. 19)

Tab. 19. Návrhový výkon

Poscho- die	Číslo miestnosti	Názov miestnosti	Straty prestupom [W]	Straty vetraním [W]	Návrhový výkon [W]
1. NP	1.1	Predsieň	306	39	345
	1.2	Obývačka	1487	543	2030
	1.3	Kuchyňa	297	171	462
	1.4	Schodisko	208	122	330
	1.5	WC	97	49	146
	1.6	Chodba	195	86	280
	1.7	Kotolňa	357	151	508
	1.8	Izba	584	225	809
2. NP	2.1	Spálňa	372	266	638
	2.2	Izba	352	186	538
	2.3	Izba	177	178	355
	2.4	Kúpeľňa	298	130	428
	2.5	Chodba	35	0	35
	2.6	Spoločenská miestnosť	693	416	1109
Spolu			5438	2710	8114

S návrhovým výkonom súvisí spotreba energie na vykurovanie. Tá bola stanovená pomocou software Energie 2014. Pri výpočtoch bol zvolený celý dom ako jedna zóna. Ročná energia potrebná na vykurovanie budovy bola stanovená na 22,8 MWh

6 MERANIE PARAMETROV VNÚTORNÉHO PROSTREDIA

6.1 Priebeh merania

Keďže je obývačka spojená s chodbou a kuchyňou prechodmi bez dverí bolo pred zahájením merania potrebné vytvoriť provizórne dvere k docieleniu čo najmenej infiltrácie vzduchu z a do susedných miestností. Susedné miestnosti boli v priebehu meranie nevykurované. Dvere boli vytvorené kombináciou OSB dosky (2 cm) a minerálnej vlny (5 cm) o hrúbke 7 cm.

Meranie prebiehalo od 2.2.2015 do 6.2.2015 v miestnosti na obrázku (Obr. 11) označenej číslom 1.2, ktorá bude slúžiť ako obývací izba. Meranie je rozdelené do troch častí, a to temperovanie na konštantnú teplotu 7°C merané 2.2 až 4.2, 5.2 ohrev na teplotu 20°C a následné chladnutie. Počas merania sa vyskytol problém s oslnením guľového teplomeru a niektorých snímačov povrchovej teploty, čo spôsobovalo navýšenie snímanej veličiny. U guľového teplomeru to bolo na teplotu 20°C pri temperovaní.

6.2 Použité prístroje a snímače

Počas meraní boli použité na zaznamenávanie dát ústredne ALMEMO 8690-9A a ALMEMO 2390-8 od spoločnosti AHLBORN (Obr. 14) .



Obr. 14. Vľavo ústredňa ALMEMO 8690-9A, vpravo ALMEMO 2390-8 [36]

Typ 8690-9A disponuje s 9 univerzálnymi vstupmi a 2 výstupmi. Dáta boli zaznamenané na externú pamäť prostredníctvom konektoru ZA1940SD, v ktorom bola pamäťová karta. Typ 2390-8 disponuje s 5 univerzálnymi vstupmi a 2 výstupmi. Má k dispozícii vlastnú pamäť, takže nebolo potrebné ďalšie externé zariadenie na záznam. Všetky vstupy oboch ústrední boli obsadené snímačmi uvedenými v tabuľke (Tab. 20).

Tab. 20. Použité snímače

Názov	Typ	Meraná veličina	Jednotka
Guľový teplomer	ZA 9030FS2	Stredná radiačná teplota	°C
Snímač intenzity osvetlenia	FLA 613-VL	Intenzita osvetlenia	Lux, KLux
Termočlánok	ZA 9020-FS	Teplota	°C
Snímač vlhkosti	FHA 646-E1	Vlhkosť	%H
		Teplota rosného bodu	°C
		Pomer zmesi	gk
		Teplota	°C
Termoanemometer	FVA935-TH4	Rýchlosť prúdenia	m/s
		Teplota	°C
Snímač tepelného toku	ZA 9007-FS	Tepelný tok	W/m ²

Povrchová teplota bola meraná s infračervený teplomer AMiR 7814-20B.



Obr. 15. AMiR 7814-20B

Na vyhotovenie termosnímkov bola použitá termokamera Fluke Ti45.



Obr. 16. Termokamera Fluke
Ti45 [37]

6.3 Rozmiestnenie snímačov

Na statív bol umiestnený guľový teplomer, snímač teploty vzduchu, vlhkosti a rýchlosti prúdenia vzduchu (Obr. 17). Ďalej bol na sklo a podlahu umiestnený snímač tepelného toku prichytený pomocou lepiacej pásky. Povrchové teploty boli merané na severnej, južnej a vnútornej stene pomocou termočlánkov ZA9020-FS. Termočlánky boli umiestnené aj na podlahe a strope. Pomocou infračerveného snímača teploty bola pred umiestnením snímačov odmeraná povrchová teplota každej steny na viacerých miestach a vybraté miesto s priemerovou teplotou. Jeden termočlánok bol umiestnený vo vonkajšom prostredí určený na meranie vonkajšej teploty.



Obr. 17. Umiestnenie snímačov – vľavo umiestnenie na statíve, vpravo hore snímanie povrchovej teploty, vpravo dole umiestnenie snímača tepelného toku na okne

7 NAMERANÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Kapitola je venovaná vyhodnocovaniu merania a porovnaním s teoretickými výpočtami.

7.1 Vylúčenie nekonzistentných meraní

Z dôvodu oslnenia guľového teplomeru cez otvorové výplne bolo nutné vylúčiť merania veličiny y . Priemerná hodnota $\bar{y} = 7,76^\circ\text{C}$. Pre ukážku výpočtu bola vybratá hodnota v čase 84030 sekúnd $y_j=14,78^\circ\text{C}$, ktorá bola ovplyvnená slnečným žiarením. Počet nemarených hodnôt $n=4914$.

Príklad výpočtov pre vylúčenie nekonzistentných meraní:

$$y_j - \bar{y} = 14,78 - 7,76 = 7,02$$

$$(y_j - \bar{y})^2 = 7,02^2 = 49,27$$

$$\frac{y_j - \bar{y}}{s_y} = \frac{y_j - \bar{y}}{\sqrt{\frac{1}{n} * \sum (y_j - \bar{y})^2}}$$

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum (y_j - \bar{y})^2} = \sqrt{\frac{1}{4914} * 21431,17} = 2,09$$

Merania sú vylúčené podľa chueventovho kritéria, teda všetky merania, ktoré splňujú nasledujúcu podmienku:

$$\frac{y_j - \bar{y}}{s_y} \geq z, \quad z = 3,29 \quad (24)$$

$$\frac{y_j - \bar{y}}{s_y} = \frac{7,02}{2,09} = 3,36 > z$$

Toto meranie bolo vylúčené. Podľa vyššie uvedeného bol výpočet prevedený pre každú nameranú hodnotu a vylúčené hodnoty podľa poslednej podmienky.

7.2 Neistota merania

Neistota merania je stanovená pre teplotu guľového teplomeru. Meraná veličina je označená ako y_j . Priemerná teplota guľového teplomeru pri meraní temperovania je $\bar{y} =$

7,39. Presnosť guľového teplomera ZA 9030 FS2 je $z_i=0,05\text{K}$. Pravdepodobnosť súčasného pôsobenia pre rovnomerné rozdelenie $m=1,73$.

Pri určovaní štandardnej neistoty typu B sa vychádza z dielčích neistôt jednotlivých zdrojov, $u_b(z_i)$. V tomto prípade je uvažovaný ako jediný zdroj neistoty guľový teplomer.

$$u_B(z_i) = \frac{z_i}{m} \quad (25)$$

$$u_B(z_i) = \frac{0,05}{1,73} = 0,0289$$

Štandardná neistota typu A je určená bez hodnôt meranej veličiny, ktoré boli vylúčené:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum \Delta y_j^2}{n * (n - 1)}} \quad (26)$$

$$u_A = \sqrt{\frac{7807,23}{4649 * (4649 - 1)}} = 0,01847$$

Kombinovaná štandardná neistota:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (27)$$

$$u_C = \sqrt{0,01847^2 + 0,0289^2} = 0,034$$

Rozšírená štandardná neistota je uvažovaná na konfidenčnom intervale 95% :

$$u = k * u_C$$

$$u = 2 * 0,034 = 0,068$$

Z vyššie uvedených výpočtov je meraná veličina $\bar{y} = 7,39 \pm 0,07 \text{ } ^\circ\text{C}$.

7.3 Operatívna teplota

Výpočet operatívnej teploty bol prevedený pre odmerané povrchové teploty jednotlivých plôch v čase. Operatívna teplota je vynesená a porovnaná s nameranými hodnotami v grafe (Obr. 18). Povrchové teploty a plochy stien sú uvedené v tabuľke (Tab. 21). Na okne nebol umiestnený termočlánok, preto bolo ako prvé potrebné vypočítať povrchovú teplotu skla.

Tab. 21. Namerané a vypočítané povrchové teploty a plochy stien

Konštrukcia	Orientácia	Plocha, A , (m^2)	Povrchová teplota, θ_{pi} ($^{\circ}C$)
Stena	juh	8,50	9,2
	západ	9,63	8,6
	sever	6,32	9,4
	vnútorná	24,59	9,3
Strop		24,93	9,0
Podlaha		24,93	9,1
Okná		10,62	7,6

Na výpočet povrchovej teploty je potrebná teplota exteriéru, teplota interiéru a hustota tepelného toku cez sklo okna alebo súčiniteľ prestupu tepla skla. Všetky tieto hodnoty boli odmerané, takže je možné vypočítať povrchovú teplotu skla. Príklad výpočtu z nameranej hustoty tepelného toku a teplôt:

$$\theta_i = 9,6 \text{ } ^{\circ}C$$

$$\theta_e = -0,2 \text{ } ^{\circ}C$$

$$q = 16,1 \text{ W/m}^2$$

$$h_i = 8 \text{ W/m}^2K$$

$$U = \frac{q}{\theta_i - \theta_e}$$

$$U = \frac{16,1}{9,6 + 0,2} = 1,64 \text{ W/m}^2K$$

$$\theta_{pi} = \theta_i - \frac{U}{h_i} * (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_{pi} = 9,6 - \frac{1,64}{8} * (9,6 + 0,2) = 7,6 \text{ } ^{\circ}C$$

Príklad výpočtu operatívnej teploty:

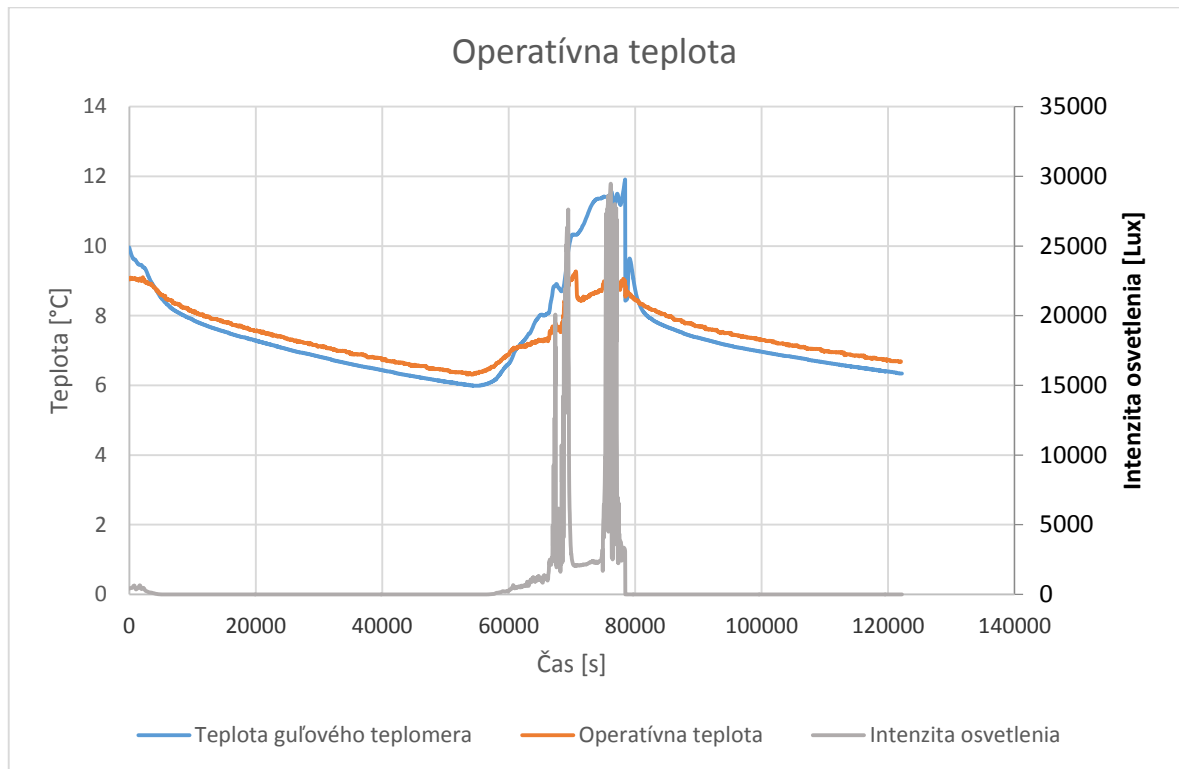
Koeficient $w = 0,5$, keďže rýchlosť prúdenia vzduchu je nižšia ako $0,2 \text{ m/s}$.

$$\theta_r = \frac{\sum \theta_{pi} * A_i}{\sum A_i}$$

$$\theta_r = \frac{981,1}{109,52} = 8,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_o = \theta_r - w * (\theta_r - \theta_a)$$

$$\theta_o = 8,95 - 0,5 * (8,95 - 9,6) = 9,28 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Obr. 18. Porovnanie vypočítanej a operatívnej teploty s teplotou guľového teplomeru

Rozdiel operatívnej teploty nameranej guľovým teplomerom a vypočítanej podľa povrchových teplôt jednotlivých konštrukcií je veľmi malý, nepresnosti v meraní mohli nastať kvôli umiestneniu termočlánkov a snímača tepelného toku na jednotlivé povrchy. Navýšenie teploty v čase od 60000 do 80000 sekúnd bolo spôsobené oslnením guľového teplomeru. V grafe sú hodnoty s vylúčenými nekonzistentnými meraniami podľa podkapitoly 7.1.

7.4 Kľzavá stredná teplota

Cieľom výpočtu je stanoviť konštantu, α , vyjadrujúcu rýchlosť vyprchania vplyvu teploty. Norma ČSN EN 15 251 stanovuje doporučenú hodnotu $\alpha=0,8$. Pri konkrétnej budove bola overená táto konštant, avšak skladba konštrukcií sa dá považovať za bežne používanú. Podstatná zmena by nastala pri čoraz rozšírenejších stavbách z ľahkých konštrukcií.

Kľzavá stredná teplota bola určená pre temperovanie zo spotreby energie potrebnej na udržiavanie konštantnej teploty po dobu 24 hodín. Spotreba v daný deň 3.2. bola 9 kWh.

Následne bolo potrebné určiť straty tepla. Pre tento prípad boli určené z programu Ztráty 2014 pre konkrétne teploty namerané pri temperovaní. Priemerný súčiniteľ prestupu tepla pre priemernú vnútornú teplotu 8,3°C meraného dňa bol stanovený na 0,45 W/(m².K). Plocha obalových konštrukcií A=79,3 m².

Príklad výpočtu priemerného súčiniteľa prestupu tepla, U_{em} , :

$$U_{em} = \frac{H_t}{A}$$

$$U_{em} = \frac{36,3}{79,3} = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Výpočet klzavej strednej teploty:

$$\theta_{rm} = -\frac{P}{U_{em} \cdot A} + \theta_i$$

$$\theta_{rm} = -\frac{\frac{9000}{24}}{0,45 * 79,3} + 8,3 = -2,088 \text{ °C}$$

Z klzavej strednej teploty bolo následne možné určiť konštantu α . V tabuľke (Tab. 22) sú uvedené teploty namerané o 7:00, 14:00 a 21:00 hodín pre sedem predchádzajúcich dní od dátumu merania a vypočítaná stredná denná teplota pre daný deň.

Tab. 22. Stredná denná teplota pre 7 predchádzajúcich dní

Deň	2.2.	1.2.	31.1.	30.1.	29.1.	28.1.	27.1.
Čas	θ_{ed-1} [°C]	θ_{ed-2} [°C]	θ_{ed-3} [°C]	θ_{ed-4} [°C]	θ_{ed-5} [°C]	θ_{ed-6} [°C]	θ_{ed-7} [°C]
7:00	-6,4	-7,0	-5,0	-1,0	-2,0	-5,0	-5,0
14:00	1,6	2,0	2,0	0,0	0,0	2,0	-1,0
21:00	-2,0	-5,0	-3,0	-1,0	-2,0	-2,0	-3,0
θ_{ed} [°C]	-2,20	-3,75	-2,25	-0,75	-1,50	-1,75	-3,00

Konštanta, α , bola stanovená zo vzťahu (6) pomocou funkcie riešiteľ v programe MS Excel

$$\alpha = 0,725.$$

Z jedného merania sa nedajú vyvodzovať závery a závislosť tejto konštanty na tepelne akumuláčnych parametroch budovy. Tieto závislosti by bolo možné určiť ďalšími me-

raniami v budovách s rôznymi tepelne akumuláčnými vlastnosťami. Možnosťou je tiež využitie simulačných programov pomocou, ktorých by sa dali nasimulovať podmienky pre rôzne typy konštrukcií.

Stanovenie závislostí by mohlo viesť k úsporám energií, kedy by bolo možné prediktívne riadenie dodávky tepla v závislosti na kĺzavej strednej teplote vonkajšieho vzduchu vypočítanej podľa konštanty α určenej pre danú budovu.

7.5 Časová konštanta

Časová konštanta je vypočítaná podľa normy ČSN EN ISO 13790 a porovnaná s nameranými hodnotami počas chladnutia. Merný tepelný tok, H_H , bol stanovený pre kĺzavú strednú teplotu vonkajšieho vzduchu vypočítanú v kapitole (7.4 Kĺzavá stredná teplota)

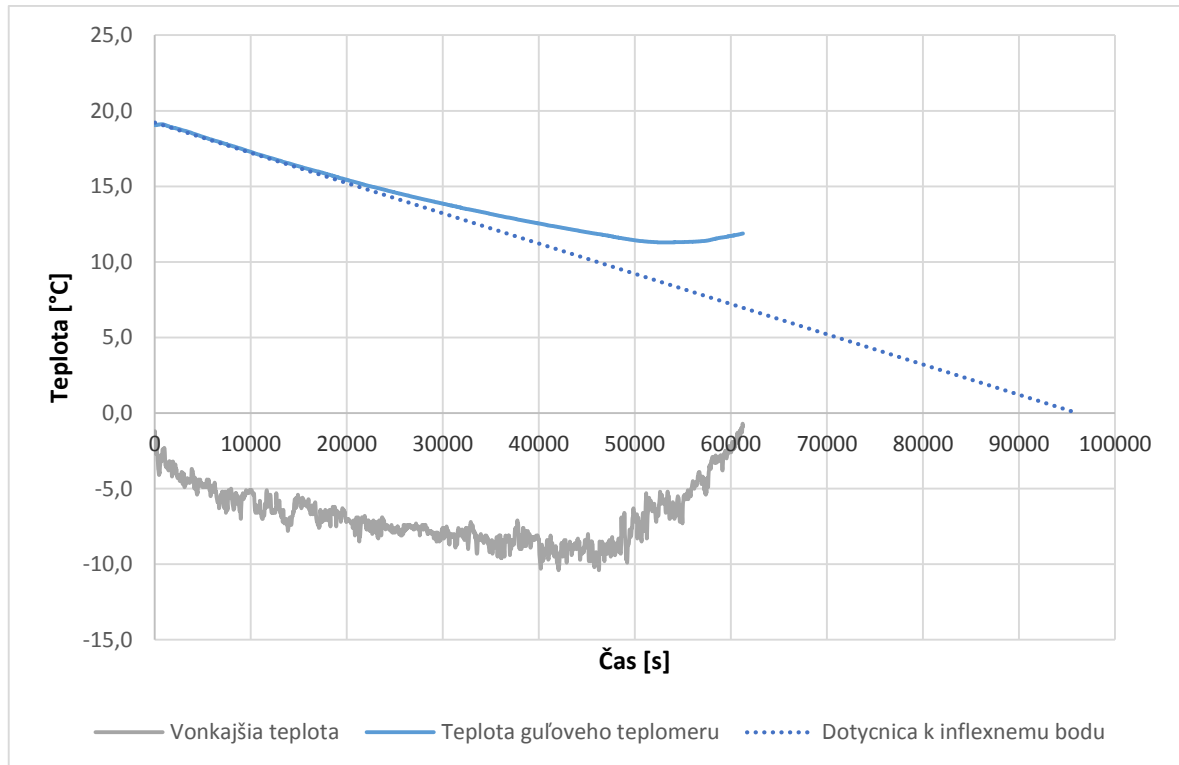
Teoretický výpočet časovej konštanty:

$$\tau_H = \frac{\left(\frac{C_m}{3600}\right)}{H_H}$$
$$\tau_H = \frac{\left(\frac{8419517,5}{3600}\right)}{86,72} = 26,97 \text{ h}$$

Časová konštanta bola pre porovnanie určená tiež z nameraných hodnôt. Z nameraných údajov bol určený inflexný bod, ktorý sa nachádza v čase 1770 sekúnd. Pomocou niekoľkokobodovej lineárnej regresie bola určená rovnica dotyčnice k inflexnému bodu v tvare:

$$y = -0,0002t + 19,259$$

Po dosadení času do rovnice dotyčnice vznikla priamka, z ktorej bol odčítaný čas pre teplotu rovnú 0°C. Teplota pre odčítanie časovej konštanty bola zvolená na základe priemernej teplôt ďalších dní, priemerná teplota vonkajšieho vzduchu sa pohybovala na úrovni 0°C



Obr. 19. Grafické znázornenie odčítanej časovej konštanty z grafu

Dotyčnica ku krivke poklesu teploty pretína osu s teplotou 0 °C v čase 96030 sekúnd:

$$\tau_H = 26,68 \text{ h}$$

Z grafu (Obr. 19) môžeme pozorovať chladnutie miestnosti v čase. Chladnutie prebiehalo prevažne po tme, takže nebolo ovplyvňované slnečným žiarením. Rozdiel medzi nameranou a vypočítanou časovou konštantou je malý. Keďže z časových dôvodov meranie prebehlo len raz, nedajú sa vyvodzovať závery závislostí.

7.5.1 Merný tepelný tok

Pre výpočte časovej konštanty bolo potrebné určiť ustálený merný tepelný tok H_H , ktorý je súčtom merného tepelného toku prestupom, H_T , a merného tepelného toku vetraním, H_V . Hodnoty boli určené v programe Ztráty 2014. V tomto prípade boli stanovené tepelné straty aj pre vnútorné konštrukcie keďže vykurovaná bola len miestnosť, v ktorej prebiehalo meranie. Teploty okolitých miestností boli na 2.NP bola stanovená na 2°C. V susediacich miestnostiach na 1.NP na hodnotu 5°C. Predpokladom bolo, že okná sú dokonalo tesné, za H_V je dosadená 0. Výsledky výpočtu sú uvedené v tabuľke (Tab. 23). Parametre vonkajšieho prostredia boli upravené podľa kĺzavej strednej teploty. Plochy stien boli vypočítané z vnútorných rozmerov miestnosti.

Tab. 23. Merný tepelný tok prestupom

Názov konštrukcie	A_j [m ²]	U [W/(m ² .K)]	Korekcia [-]	ΔU [W/(m ² .K)]	H_T [W/K]
Stena obvodová	24,3	0,37	e=1	0,1	11,42
Okno	10,6	1,30	e=1	0,1	14,84
Podlaha	24,9	0,36	Gw=1	0	10,07
Stena vnútorná nosná	18,5	1,05	fi=0,49	0,1	10,32
Strop	24,9	2,17	fi=0,71	0,1	40,07
Spolu					86,72

7.5.2 Vnútorná tepelná kapacita

Ďalším parametrom, ktorý bolo potrebné stanoviť pre výpočet časovej konštanty je vnútorná tepelná kapacita. Do maximálnej započítateľnej hrúbky určenia faktoru využiteľnosti tepelných ziskov alebo strát bola započítaná hrúbka 0,1m. Norma ČSN EN ISO 13790 uvažuje vo výpočte všetky konštrukcie v kontakte s vnútorným vzduchom to znamená že uvažuje i vnútorné konštrukcie bez tepelnej straty. Vypočítané hodnoty sú uvedené v tabuľke (Tab. 24). Jednotlivé materiáli vrstiev konštrukcií sú uvedené v tabuľke (Tab. 15). Hrúbka vrstvy d_j je prepočítaná na maximálnu započítateľnú hrúbku.

Tab. 24. 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	Omietka	0,015	790	1290	15287	1957766,0
	Tehla	0,085	960	800	65280	
Spolu		0,100			80567	
Podlaha	Poter	0,060	1020	2100	128520	3226711,3
	Polystyrén	0,040	1270	21	1067	
Spolu		0,100			129587	
Stena vnútorná nosná	Omietka	0,015	790	1290	15287	1641440,3
	Tehla	0,085	960	900	73440	
Spolu		0,100			88727	
Strop	Ľahčený strop	0,100	800	800	64000	1593600,0
Spolu						8419517,5

Príklad výpočtu vnútornej plošnej tepelnej kapacity:

$$\kappa_j = \rho_j * d_j * c_j$$

$$\kappa_1 = 1290 * 0,015 * 790 = 15286,5 \text{ J/m}^2\text{K}$$

Príklad výpočtu vnútornej tepelnej kapacity jednej konštrukcie:

$$C_m = \sum \kappa_j * A_j$$

$$C_m = 80566,5 * 24,3 = 1957766 \text{ J/K}$$

7.6 Akumulačná doba miestnosti

Akumulačná doba miestnosti bola stanovená podľa normy ČSN 06 0220. Jednotlivé dielčie výpočty potrebné pre určenie akumuláčnej doby miestnosti sú rozdelené v podkapitolách.

$$\tau_m = \frac{Q_{mn}}{\Phi_{cn}} \quad (28)$$

$$\tau_m = \frac{193081}{1523,8} = 127 \text{ h}$$

Pomocou akumuláčnej doby je možné riešiť úlohy dynamických stavov systémov. Akumulačná doba nie je skutočná doba, ale zjednodušuje výpočty. Je to hlavná veličina vyjadrujúca akumuláčnej a tepelné vlastnosti miestnosti.

7.6.1 Akumulované teplo

Pre výpočet tepla akumulovaného v stavebných konštrukciách boli použité hodnoty z tabuľky (Tab. 25) a návrhové teploty pre interiér a exteriér. Hrúbky materiálov a ostatné tepelne technické parametre sú uvedené v kapitole 5.5 Tepelne technické parametre. Prvé parametre, ktoré bolo potrebné určiť sú tepelné odpory a to z vnútornej plochy konštrukcie do vonkajšieho prostredia, R_{vi} , z vonkajšej plochy do vonkajšieho prostredia, R_{ve} , a z vnútornej plochy vrstvi do vnútorného prostredia, R_{vm} .

Príklad výpočtu R_{vi} pre obvodovú stenu:

$$R_{vi} = \frac{1}{h_e} + \sum_{h=v}^{h=p} \frac{d_h}{\lambda_h} \quad (29)$$

$$R_{vi} = \frac{1}{23} + \frac{0,015}{0,47} + \frac{0,44}{0,174} = 2,604 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Príklad výpočtu R_{ve} pre obvodovú stenu:

$$R_{vi} = \frac{1}{h_e} + \sum_{h=v+1}^{h=p} \frac{d_h}{\lambda_h} \quad (30)$$

$$R_{vi} = \frac{1}{23} + \frac{0,44}{0,174} = 2,572 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Príklad výpočtu R_{vm} pre vnútornú stenu nosnú:

$$R_{vm} = \frac{1}{h_i} + \sum_{h=1}^{h=v-1} \frac{d_h}{\lambda_h} \quad (31)$$

$$R_{vm} = \frac{1}{8} + \frac{0,015}{0,47} + \frac{0,24}{0,38} = 0,789 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Z tepelných odporov sa ďalej vypočíta súčiniteľ teplotnej úrovne vrstvy, ε_v , pre konštrukcie kontaktné s vonkajším prostredím a súčiniteľ priradenia vrstvy, ν_v , pre vnútorné konštrukcie.

Príklad výpočtu, ε_v , pre obvodovú stenu:

$$\varepsilon_v = 0,5 * U_k * (R_{vi} + R_{ve}) \quad (32)$$

$$\varepsilon_v = 0,5 * 0,37 * (2,604 + 2,572) = 0,95$$

Pre vnútorné jednovrstvové konštrukcie bez tepelných strát je súčiniteľ priradenia vrstvy rovný 0,5. V tomto prípade sa dá hovoriť skôr o symetrii skladby konštrukcie vnútorných stien, kedy jadro steny je postavené z tehál a omietka na každej strane má rovnakú hrúbku a zloženie. Táto úvaha sa dá overiť výpočtom:

$$\nu_v = \frac{1}{1 + \frac{R_{vm}}{R_{ve}} * \frac{\theta_{ej} - \theta_{en}}{\theta_{vn} - \theta_{en}}} \quad (33)$$

$$\nu_v = \frac{1}{1 + \frac{0,789}{0,789} * \frac{21 + 13}{21 + 13}} = 0,5$$

Merná tepelná kapacita, c_v , je pre účely tohto výpočtu premenená na jednotku [W.h/kg.K] a to delením 3600.

Tab. 25. Teplo akumulované v konštrukciách

Konštrukcia	Vrstva	c_v [Wh/(kg.K)]	ε_v [-]	v_v [-]	ω_k [Wh/(m ² K)]	A_k [m ²]
Stena obvodová	Omietka	0,219	0,95	1	92,90	24,3
	Tehla	0,267				
Podlaha	Poter	0,283	0,72	1	92,05	24,9
	Polystyrén	0,353				
	Betón	0,283				
Stena vnútorná nosná	Omietka	0,219	1	0,5	33,05	18,5
	Tehla	0,267				
	Omietka	0,219				
Strop	Ľahčený strop	0,222	1	0,3	20,99	24,9
	Poter	0,283				

Príklad výpočtu jednotkového tepla, ω_k :

$$\omega_k = \sum_{v=1}^{v=p} c_v * \rho_v * d_v * \varepsilon_v * v_v \quad (34)$$

$$\omega_k = 0,219 * 1290 * 0,015 * 0,95 * 1 + 0,267 * 800 * 0,44 * 0,95 * 1$$

$$\omega_k = 92,9 \text{ W.h/m}^2.\text{K}$$

Teplo akumulované v stavebných konštrukciách sa vypočíta:

$$Q_{mk} = (\theta_{vn} - \theta_{en}) * \sum_{k=1}^{k=p} \omega_k * A_k \quad (35)$$

$$Q_{mk} = (21 + 13) * 5679 = 193081 \text{ W.h}$$

Akumulované teplo sa vypočíta ako súčet tepla akumulovaného v stavebných konštrukciách a tepla akumulované vo vnútornom vybavení miestnosti. Pre konkrétny objekt nie je uvažované vnútorné vybavenie miestnosti a preto $Q_{mk}=Q_{mn}$.

7.6.2 Tepelné straty miestnosti

Boli určené výpočtom podľa normy ČSN 06 0220. Pre potrebu normy sa odporúča počítať straty zo vzťahu:

$$\Phi_{cn} = (H_{mo} + H_{ma}) \cdot (\theta_{in} - \theta_{en}) \cdot \frac{h_i \cdot A_c}{h_i \cdot A_c - H_{mo}} \quad (36)$$

$$\Phi_{cn} = (32,08 + 10,33) \cdot (20 + 13) \cdot \frac{8 \cdot 49,14}{8 \cdot 49,14 - 10,33} = 1523,8 \text{ W}$$

Súčiniteľ tepelnej straty prestupom, H_{mo} , sa vypočíta:

$$H_{mo} = \sum_{j=1}^{j=r} U_j \cdot A_j \quad (37)$$

$$H_{mo} = 0,37 \cdot 24,3 + 0,38 \cdot 24,9 + 10,36 \cdot 1,3 = 32,1 \text{ W/K}$$

Súčiniteľ tepelnej straty vetraním, H_{ma} , sa vypočíta:

$$H_{mo} = c_a \cdot n \cdot V_m \quad (38)$$

$$H_{mo} = 0,36 \cdot 0,5 \cdot 57,4 = 10,3 \text{ W/K}$$

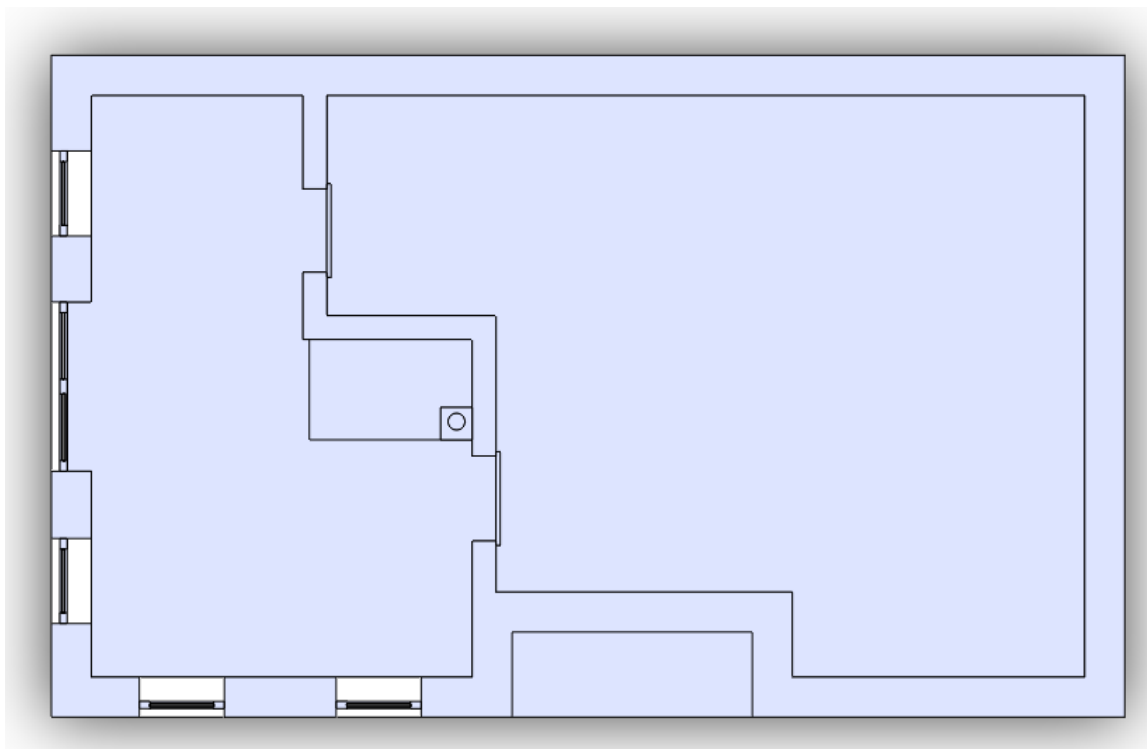
8 SIMULÁCIE V ZVOLENEJ MIESTNOSTI

Model domu a vybranej miestnosti bol vytvorený programe SolidWorks 2012.



Obr. 20. Model domu vytvorený programom SolidWorks 2012 (juhozápadný pohľad na dom)

Pre vytvorenie modelu boli odmerané skutočné rozmery miestnosti a hrúbky stien. Rozmery otvorových výplní boli určené z rozmerov udávaných výrobcom. Každému materiálu boli priradené vlastnosti podľa tabuľky (Tab. 16). Pri modelovaní bolo postupované tak, ako pri realizácii skutočného objektu. Prvá bola vytvorená základová doska o hrúbke 15 cm. Ďalšia potrebná súčasť modelu sú obvodové a vnútorné steny 1.NP s otvorovými výplňami. Pre vytvorenie stien bol nakreslený pôdorys a následne boli steny vytiahnuté do potrebnej výšky. Pôdorys stien 1.NP vytvoreného programom SolidWorks je zobrazený na obrázku (Obr. 21) a v prílohe (PI) so zakótovanými rozmermi. Vnútorné steny a otvorové výplne sú umiestnené len okolo miestnosti zvolenej pre meranie a simulácie.

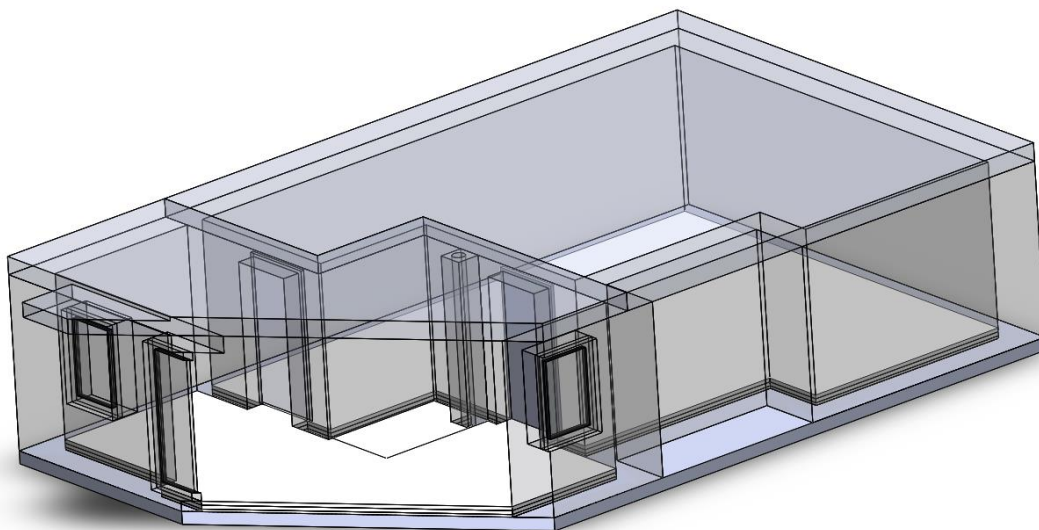


Obr. 21. Obvodové a vnútorné steny domu

Poslednou podstatnou časťou obvodového plášťa je strop a konštrukcie 2:NP. Strop má hrúbku 28 cm a v modeli je reprezentovaný platňou s parametrami nastavenými pre ľahčený strop. 2. NP pozostáva len z obvodových stien a strechy. Okrem miestnosti zvolenej pre simuláciu zostali ostatné miestnosti namodelované bez vnútorných stien a otvorových výplní.

Na 1.NP bolo potrebné vytvoriť tepelnú izoláciu podlahy a podlahové vykurovanie s cementovým poterom. V skutočnej miestnosti je potrubie kúrenia vložené v systémových doskách. Preto sa podlaha skladá z troch prvkov. Ako prvá vrstva je tepelná izolácia (polystyrén), na ktorej sú uložené systémové dosky a cementový poter.

Okná a terasové dvere v modeli sa skladajú zo skla vsadeného v ráme. Sklo má nastavenú hrúbku izolačného dvoj-skla 3 cm použitého pri konkrétnych typoch okien v dome. Hrúbka rámu je 8,5 cm. šírka vonkajšieho ostenia okien je taktiež totožná s reálnym stavom.

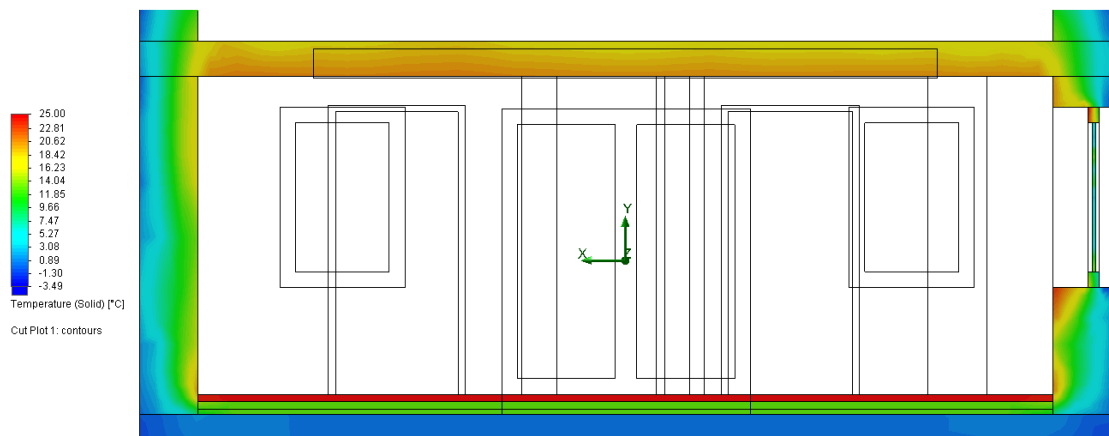


Obr. 22. Rez miestnosťou

Simulácie boli ďalej realizované pomocou doplnku Flow Simulation. Pre statické simulácie bol použitý rovnaký model ako pre simuláciu časovú. Model je v značnej miere zjednodušený z dôvodu zníženia potrebného výpočtového času. Počítač použitý pre výpočty disponuje procesorom Intel Core i7-4770k Quad-Core, 3,5GHz a pamäťou ram Corsair 16GB KIT DDR3 1866MHz.

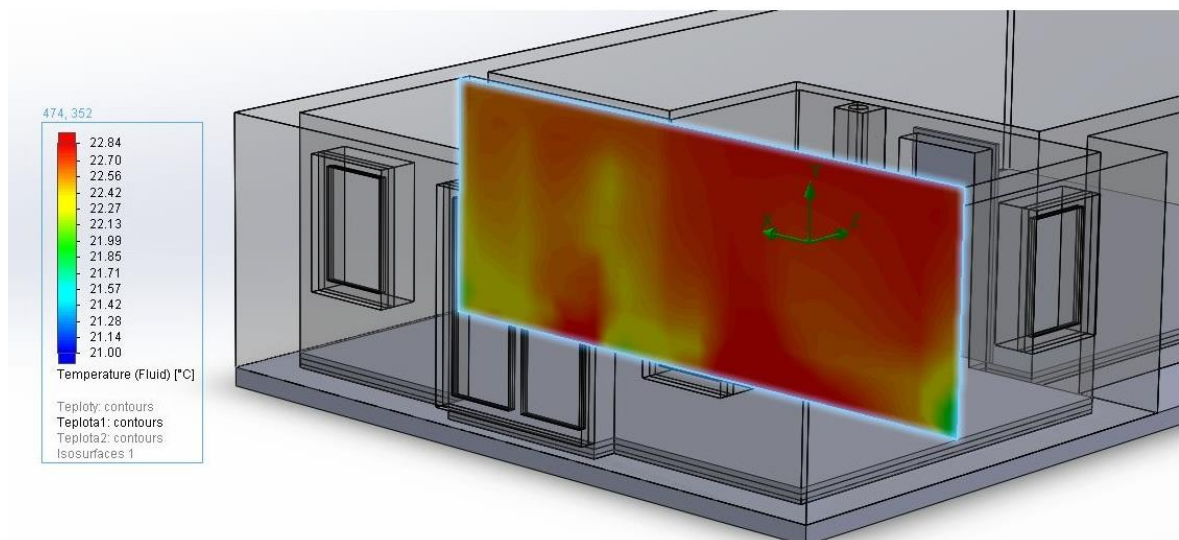
8.1 Statická simulácia stavu vnútorného prostredia

Na stanovenie výsledného stavu prostredia je dostačujúca statická simulácia, ktorá bola nastavená pre návrhovú teplotu vnútorného vzduchu 20°C. Podlahe bol nastavený výkon 2030 W vypočítaný pre návrhovú teplotu vonkajšieho vzduchu – 13°C. Statické simulácie nie sú časovo náročné, preto bola zvolená najvyššia možná výpočtová mriežka. Výpočet statickej simulácie trval približne štyri hodiny.



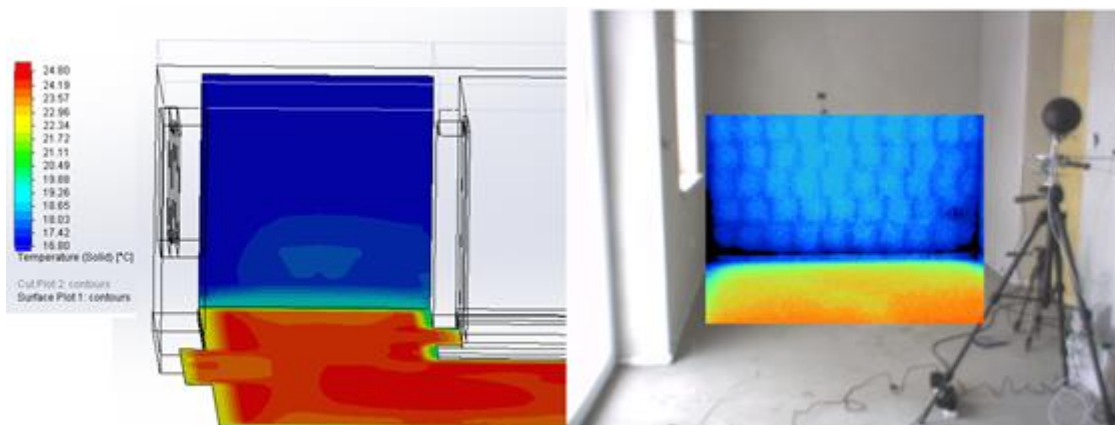
Obr. 23. Rozloženie teplôt v materiáloch

Na obrázku (Obr. 23) je zobrazené rozloženie teplôt v materiáloch. Povrchy jednotlivých stien dosahujú teplotu okolo 18,5 °C



Obr. 24. Rozloženie teplôt v miestnosti

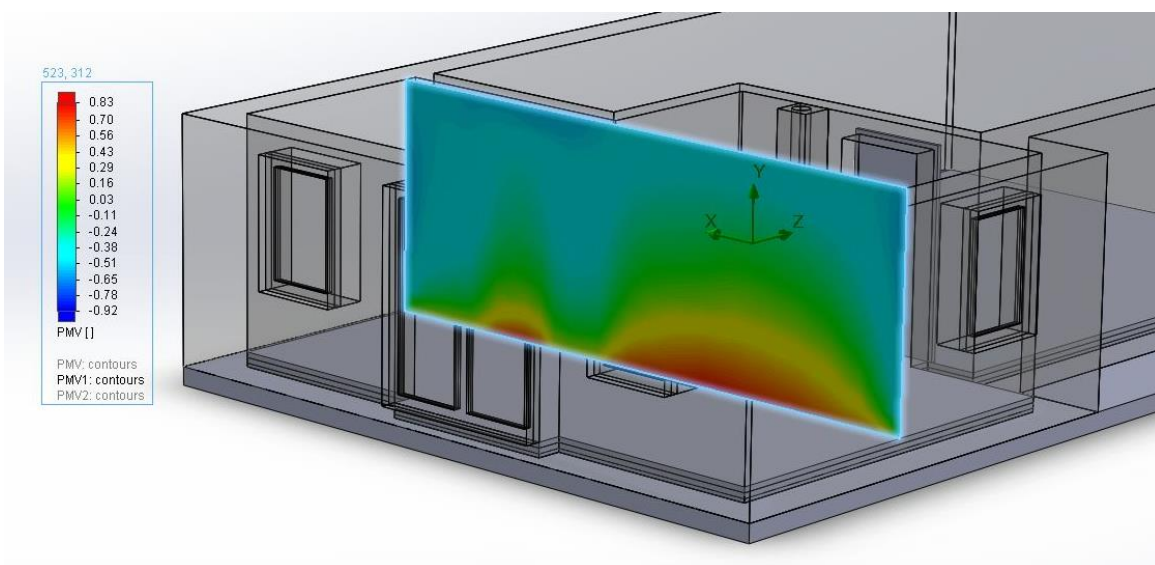
Na obrázku (Obr. 24) je zobrazené rozloženie teplôt v miestnosti. Pri podlahovom vykurovaní môžeme pozorovať pomerne rovnomerné rozloženie teploty v celej miestnosti. Rozdiel medzi najchladnejším a najteplejším vzduchom v miestnosti je len na úrovni približne 2 °C. Takže sa pri podlahovom vykurovaní minimalizuje vertikálne rozloženie teplôt, ktoré má vplyv na hodnotenie tepelného komfortu.



Obr. 25. Porovnanie snímku z termokamery so simuláciou

Na obrázku (Obr. 25) je zobrazené porovnanie teploty povrchu severnej steny v simulácii so snímkami z termokamery. Na snímke vpravo je zobrazená snímka z termokamery, na ktorej je možné pozorovať i škáry medzi tehľami kde je nižšia povrchová teplota. Povrchová teplota v rohoch miestnosti je na termosnímkach veľmi nízka a mohli by tu vznikať plesne. Aj z tohto dôvodu je potrebné stavbu zatepliť. Stena v simulácii bola vytvorená ako jeden celok, takže pozorovanie zmeny teploty v škárach medzi tehľami nie je možné.

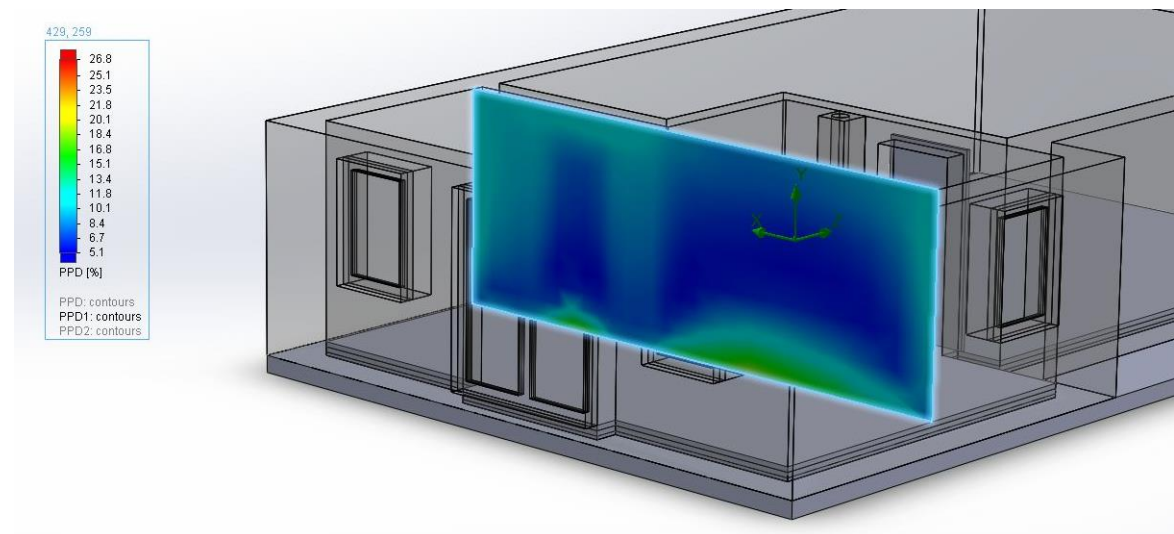
Doplnok programu SolidWorks - Flow Simulation umožňuje výpočet parametrov komfortu PPD a PMV.



Obr. 26. Predpoveď stredného tepelného pocitu v miestnosti

V miestnosti sa bude stredný tepelný pocit pohybovať v rozmedzí od -1 do 1. V spodnej časti pri podlahe môže byť mierne teplo, naopak pri strope mierne chladno. Z obrázku

môžeme pozorovať v akej výške miestnosti bude tepelný pocit neutrálny. Pre sediaceho človeka bude prostredie príjemné.

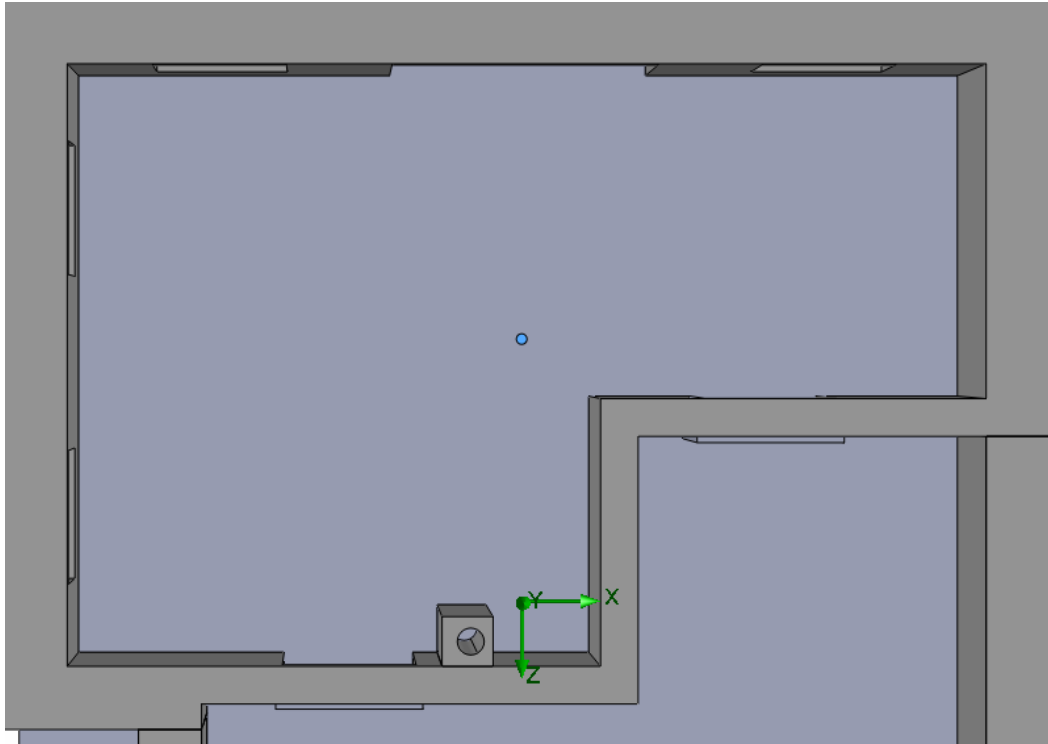


Obr. 27. Predpoveď počtu nespokojných

Na obrázku (Obr. 27) je zobrazená predpoveď počtu nespokojných s tepelným prostredím.

8.2 Časová simulácia

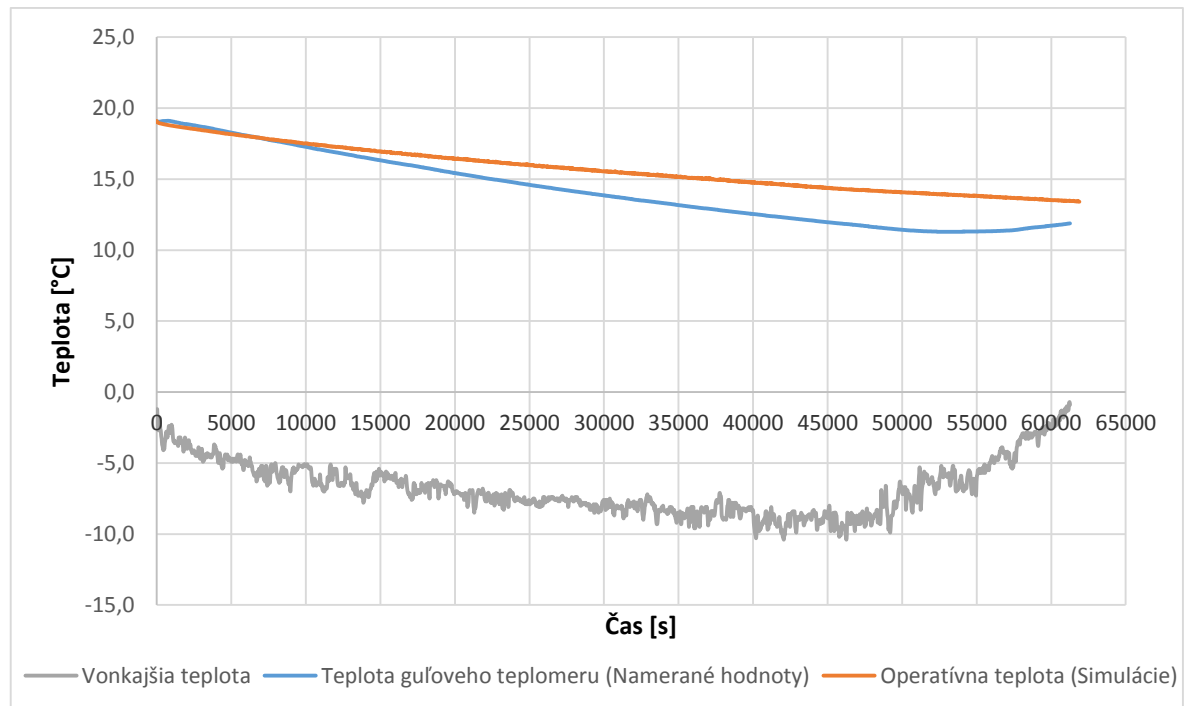
Časová simulácia bola navrhnutá pre chladnutie miestnosti. Vzhľadom na časovú náročnosť výpočtov bol model podstatne zjednodušený oproti skutočnému stavu. Časový krok výpočtu bol nastavený na 30 sekúnd. Celkový simulovaný čas je 62000 sekúnd. Vonkajšia teplota bola nadstavená podľa merania z daného dňa. Počiatočná teplota podlahy teda podlahového vykurovania bola 25°C. Teplota vzduchu v ostatných miestnostiach budovy bola nastavená na 5°C. Pre stanovenie operatívnej teploty bol v miestnosti vložený bod, ktorý má polohu zhodnú s polohou guľového teplomera pri meraní.



Obr. 28. Poloha bodu pre zistenie operatívnej teploty

Bod je vložený na miesto, kde bol umiestnený počas merania guľový teplomer z dôvodu čo najpresnejšieho porovnania výsledku simulácie s nameranými hodnotami teploty guľového teplomeru.

Priebeh chladnutia miestnosti a porovnanie s nameranými hodnotami je zobrazené na obrázku (Obr. 29).



Obr. 29. Graf chladnutia miestnosti

Z obrázka je možné pozorovať chladnutie miestnosti, ktoré sa mierne líši od nameraných hodnôt. Rozdiel môže byť spôsobený zjednodušením modelu domu. Ďalším možným dôvodom nepresností je nastavenie kroku výpočtov na 30 sekúnd. Celá simulácia chladnutia trvala približne 20 dní. Z dôvodu časovej náročnosti a nedostatku času nebolo možné simuláciu opakovať a tak zistiť možné príčiny nepresností.

ZÁVER

V teoretickej časti boli popísané požiadavky na parametre vnútorného prostredia a energetická náročnosť budov. Ďalej boli popísané spôsoby riešenia vykurovania budov s ohľadom na spotrebu energie a výpočtové metódy pre návrh vykurovacej sústavy. Posledná kapitola teoretickej časti je venovaná simulačným prostrediam a ich uplatneniu pri návrhu vykurovacej sústavy a ďalších systémov techniky prostredia.

Náplňou praktickej časti práce bolo stanovenie parametrov vnútorného prostredia pomocou simulácií a následné overenie meraním a výpočtami na skutočnej miestnosti. Pri meraní parametrov vnútorného prostredia sa vyskytli problémy so slnečnou radiáciou, ktorá ovplyvňovala teplotu guľového teplomeru preto bolo potrebné vylúčiť nekonzistentné merania. Pre teplotu guľového teplomera bola určená rozšírená štandardná neistota merania.

Pred samotným vytvorením modelu bolo potrebné určiť tepelne technické vlastnosti jednotlivých konštrukcií a odmerať skutočné rozmery miestnosti. Bolo zistené, že skladba obvodovej steny v súčasnom prevedení nevyhovuje požiadavkám normy na súčiniteľ pre-stupu tepla a bola navrhnutá úprava zateplením konštrukcie.

Výpočtami bola určená časová konštanta miestnosti, ktorá sa zhoduje s časovou konštantou určenou meraním. Pre časovú konštantu bolo potrebné stanoviť merný tepelný tok prestupom pre podmienky počas merania. Z nameranej spotreby elektrickej energie a vonkajšej teploty bola stanovená konštanta α vyjadrujúca rýchlosť vyprchania vplyvu teploty predchádzajúcich dní. Výsledok výpočtu je podobný s odporúčaniami normy voliť túto konštantu ako hodnotu 0,8. Avšak podstatná zmena by nastala pri stavbe z ľahkých konštrukcií, kedy by budova reagovala na zmenu vonkajšej teploty omnoho rýchlejšie a tým by sa zmenila i táto konštanta. Akumulačná doba miestnosti bola stanovená pre návrhové hodnoty teploty vzduchu. Súvislosť medzi konštantou α a tepelne technickými parametrami nebolo možné stanoviť z merania v jednej miestnosti. Na stanovenie závislostí by bolo možné využiť simulačné metódy.

V programe SolidWorks bol vytvorený model domu na ktorom bol následne stanovený pomocou doplnku Flow Simulation výsledný stav vnútorného prostredia pomocou statickej simulácie, kde je vidieť rozloženie teplôt v materiáloch a v miestnosti pri

ohreve podlahovým vykurovaním. Chladnutie miestnosti bolo stanovené tiež pomocou časovej simulácie. Keďže chladnutie miestnosti prebiehalo v simulácii odlišne, časová konštanta nebola z dát získaných simuláciami určená. Výpočtový čas potrebný pre stanovenie chladnutia pri dostupnom výkone počítača bol približne 20 dní, takže nebolo možné v časovom harmonograme diplomovej práce simuláciu opakovať a zistiť tak možné dôvody nepresností. Pre stanovenie závislostí tepelne akumulčných vlastností a konštanty α bude potrebný ďalší výskum.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] *Modelování operativní teploty: TZB - info* [online]. VEVERKOVÁ, Zuzana a Karel KABELE. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1422-modelovani-operativni-teploty>
- [2] 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.
- [3] ČSN EN 730540-3. *Tepelná ochrana budov: Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. 2005.
- [4] ČSN EN 730540-2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky*. 2011.
- [5] TZB portál: správa budov, stavebníctvo, voda-plyn-kúrenie. KAPALO, Peter a Alena PAULÍKOVÁ. *TZB portál* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.tzbportal.sk/kúrenie-voda-plyn/vetranie-kvalita-vzduchu-v-kancelarskych-priestoroch-v-normativnom-legislativnom>
- [6] 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.
- [7] INŽINIERSKE SLUŽBY SPOL. S.R.O. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://www.insl.sk/files/documents/obmedzte_hluk_insl.pdf
- [8] *Předpis č. 177/2006 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů*. 2006. In: . Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-177>
- [9] *MPO: Průkaz energetické náročnosti budov* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument119528.html>
- [10] ČSN 060220. *Tepelné soustavy v budovách: Dynamické stavy*. 2006.
- [11] NICOL, J.Fergus a Michael A HUMPHREYS. *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. Dostupné také z: http://www.researchgate.net/profile/Fergus_Nicol/publication/222402882_Adaptive_thermal_comfort_and_sustainable_thermal_standards_for_buildings/links/0046352c83c9f02be5000000.pdf
- [12] VALENTA, V. a kol.: 2007. *Topenářská příručka 1,2*. 1. vydání. Praha: Agentura ČSTZ, 378 s. ISBN 978-80-86028-13-2.

- [13] *Kotelny s kotli na drevo a pelety: TZB - info* [online]. 2008. LYČKA, Zdeněk. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5117-kotelny-s-kotli-na-drevo-a-pelety>
- [14] RECKNAGEL – SPRENGER – SCHRAMEK – Taschenbuch fur Heizung und Klimatechnik. Ouldenbourg Verlag GmbH, Munchen, 2003. ISBN 3-8356—3104-7
- [15] VALENTA, V. a kol.:. 2007. *Topenářská příručka 3*. 1. vydání. Praha: Agentura ČSTZ, 378 s. ISBN 978-80-86028-13-2.
- [16] QUASCHNING, Volker. 2010. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [17] ČSN EN 15450. *Tepelné soustavy v budovách: Navrhování tepelných soustav s tepelnými čerpadly*. 2011.
- [18] *Podlahový konvektor: Licon* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://archiv.licon.cz/pkoc-728.html>
- [19] *Aquacentrum* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.aquacentrum.sk/index_print.php?stranka=produkt&kat=radiatory&id=korado&typ=&print=1
- [20] BAŠTA, Jiří a Roman VAVŘIČKA. Podlahové vytápění (II): *TZB-info* [online]. 15.2.2006 [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3442-podlahove-vytapeni-ii>
- [21] *Tepelné ztráty: Energetický poradce PRE* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/cs/uspory-energie/tepelne-ztraty/>
- [22] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách: Výpočet tepelného výkonu*. 2005.
- [23] CHYSKÝ, Jaroslav. 1993. *Větrání a klimatizace*. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Česká Matica technická, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.
- [24] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov: Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. 2009.
- [25] ČSN EN ISO 13786. *Tepelné chování stavebních dílců: Dynamické tepelné charakteristiky - Výpočtové metody*. 2008.
- [26] MIHÁLKA, Peter. *Modelovanie lokálneho prestupu tepla a vodnej pary v budove*. Dostupné také z: <http://www.tobprojekt.sk/files/PhD-praca---Mihalka.pdf>. Dizertační práce. Ústav stavebnictva a architektúry SAV. Vedoucí práce Ing. Peter Matiašovský, Csc.
- [27] *Building Energy Software Tools Directory: BESTEST* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=85/pagename=alpha_list

- [28] 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.
- [29] *Produkty: SolidWorks* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.solidworks.cz/produkty/>
- [30] COMSOL Multiphysics. *Heat Transfer Software: Study Conduction, Convection, and Radiation* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.comsol.com/heat-transfer-module>
- [31] *TRNSYS: Transient System Simulation Tool* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://trnsys.com/>
- [32] *TRNSYS - TESS: Thermal Energy System Specialists* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.tess-inc.com/trnsys>
- [33] *ESP-r* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>
- [34] *ESP-r: Multi-platform Building Energy Software Tool* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm
- [35] *ANSYS Fluent* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics/Fluid+Dynamics+Products/ANSYS+Fluent>
- [36] *Ahlborn: ALMEMO 8690-9A* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.ahlborn.cz/pristroje/datalogery-almemo/almemo-8690-9a.html>
- [37] *Caméras infrarouges IR FlexCam® Fluke Ti40 et Ti45, Caméra thermique* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.fluke.com/fluke/frfr/thermographie/Fluke-Ti40-Series.htm?PID=56187>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratka	Význam
ČSN	Česká technická norma
DR	Draught Rating
PD	Percentage of Dissatisfied
PENB	Preukaz Energetickej Náročnosti Budov
PMV	Predicted Mean Value
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
TRNSYS	Transient System Simulation
OpenFOAM	Open Field Operation And Manipulation
COP	Coefficient of performance
IEA	International Energy Agency
NP	Nadzemné Podlažie

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1. PPD ako funkcia PMV [2].....	14
Obr. 2. Hydraulické zapojenie tepelného čerpadla s kombinovaným zásobníkom a solárnym systémom pre prípravu teplej vody [17].....	29
Obr. 3. Niektoré typy doskových vykurovacích telies [19].....	31
Obr. 4. Podlahový konvektor [18]	32
Obr. 5. Detail uloženia trubky[20].....	33
Obr. 6. Mokry spôsob vytvorenia vykurovacej plochy [20].....	33
Obr. 7. Vľavo kladenie hada v tvare plošnej špirály, vpravo meandrový spôsob kladenia [20].....	34
Obr. 8. Postredie programu Comsol Multiphysics [30].....	43
Obr. 9. Prostredie programu ESP-r [34]	44
Obr. 10. Juhozápadný pohľad na objekt	47
Obr. 11. Pôdorys prvého nadzemného podlažia	48
Obr. 12. Pôdorys druhého nadzemného podlažia	49
Obr. 13. Rozloženie tlakov vodnej pary	54
Obr. 14. Vľavo ústredňa ALMEMO 8690-9A, vpravo ALMEMO 2390-8 [36].....	56
Obr. 15. AMiR 7814-20B	57
Obr. 16. Termokamera Fluke Ti45 [37]	58
Obr. 17. Umiestnenie snímačov – vľavo umiestnenie na statíve, vpravo hore snímání povrchovej teploty, vpravo dole umiestnenie snímača tepelného toku na okne	59
Obr. 18. Porovnanie vypočítanej a operatívnej teploty s teplotou guľového teplomeru.....	63
Obr. 19. Grafické znázornenie odčítanej časovej konštanty z grafu	66
Obr. 20. Model domu vytvorený programom SolidWorks 2012 (juhozápadný pohľad na dom).....	72
Obr. 21. Obvodové a vnútorné steny domu	73
Obr. 22. Rez miestnosťou	74
Obr. 23. Rozloženie teplôt v materiáloch	75
Obr. 24. Rozloženie teplôt v miestnosti.....	75
Obr. 25. Porovnanie snímku z termokamery so simuláciou	76
Obr. 26. Predpoveď stredného tepelného pocitu v miestnosti	76

Obr. 27. Predpoveď počtu nespokojných	77
Obr. 28. Poloha bodu pre zistenie operatívnej teploty.....	78
Obr. 29. Graf chladnutia miestnosti.....	79

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1. Kategória tepelného prostredia [2]	12
Tab. 2. Stupnica tepelných pocitov	12
Tab. 3. Rozloženie individuálneho tepelného pocitu pre rôzne hodnoty stredného tepelného pocitu (založené na odpovedi 1300 osôb).....	14
Tab. 4. Závislosť koeficientu A na rýchlosti prúdenia vzduchu, w_a , [1].....	15
Tab. 5. Požadované hodnoty poklesu teploty v miestnosti v zimnom období [4].....	16
Tab. 6. Požadované hodnoty najvyššej dennej teploty vzduchu v miestnosti $\Delta\theta_{ai, max, N}$ [4]	16
Tab. 7. Požadovaná intenzita výmeny vzduchu na zriedenie emisií od užívateľov [6]	18
Tab. 8. Intenzita vetrania pre emisie z budovy [2]	18
Tab. 9. Príklady odporúčanej intenzity vetrania v nebytových budovách [6]	18
Tab. 10. Príklad intenzity vetrania pri bytových budovách [6]	19
Tab. 11. Klasifikácia energetickej náročnosti podľa priemerného súčiniteľa prestupu tepla	20
Tab. 12. Rozdelenie palív [12].....	23
Tab. 13. Legenda miestností 1.NP	48
Tab. 14. Legenda miestností 2.NP	49
Tab. 15. Skladba konštrukcií	51
Tab. 16. Tepelne technické parametre materiálov	52
Tab. 17. Požadované a vypočítané hodnoty súčiniteľa prestupu tepla	52
Tab. 18. Zmena konštrukcie obvodovej steny po zateplení.....	53
Tab. 19. Návrhový výkon	55
Tab. 20. Použité snímače	57
Tab. 21. Namerané a vypočítané povrchové teploty a plochy stien	62
Tab. 22. Stredná denná teplota pre 7 predchádzajúcich dní	64
Tab. 23. Merný tepelný tok prestupom.....	67
Tab. 24. Merná tepelná kapacita jednotlivých konštrukcií.....	67
Tab. 25. Teplo akumulované v konštrukciách	70

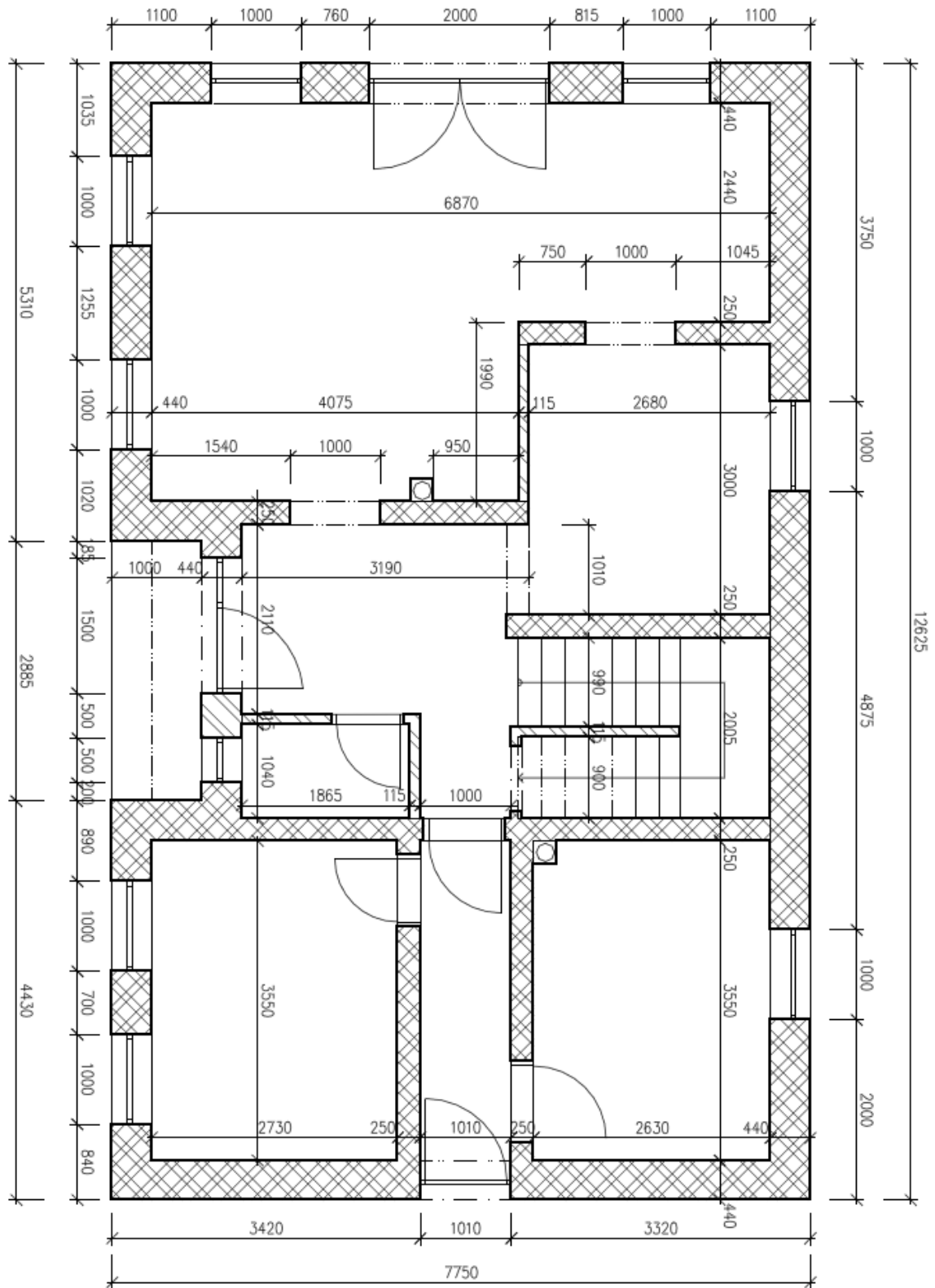
ZOZNAM PRÍLOH

Príloha P I: pôdorys 1.NP

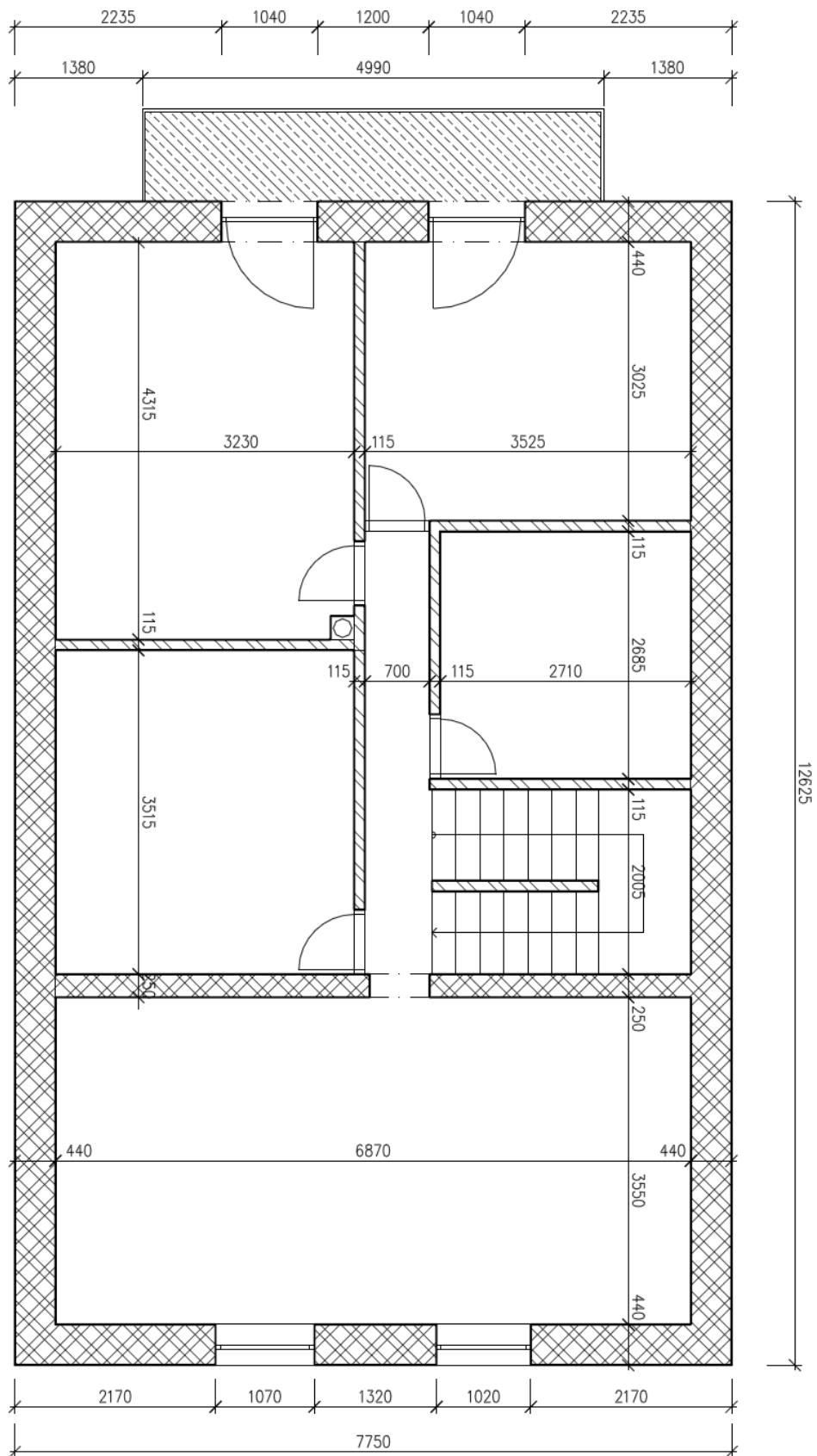
Príloha P II: pôdorys 2.NP

Príloha P III: pôdorys 1.NP vytvoreného v programe Solidworks

PRÍLOHA P I: PÔDORYS 1.NP



PRÍLOHA P II: PÔDORYS 2.NP



**PRÍLOHA P III: PÔDORYS 1.NP VYTVORENÉHO V PROGRAME
SOLIDWORKS**

