

Možnosti ovplyvnenia tepelno akumuláčnych parametrov budov s veľkou tepelnou záťažou

Bc. Marián Durec

Diplomová práca
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. Marián Durec**
Osobní číslo: **A13518**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Možnosti ovlivnění tepelně-akumulačních parametrů budov s velkou tepelnou zátěží**

Téma anglicky: **The Possibilities for the Optimization of Solutions for the Thermal Accumulative Parameters of Buildings**

Zásady pro vypracování:

1. Uvedte požadavky na budovy z hlediska tepelné stability.
2. Popište problematiku budov s velkou tepelnou zátěží a obvyklá řešení.
3. Uvedte výpočtové možnosti stanovení energetických parametrů budovy.
4. Nastiňte možnosti zlepšení tepelně akumulčních parametrů budovy pomocí tepelně akumulčních jader s aplikací tepelně akumulčních panelů.
5. Nastudujte vhodná dostupná simulační prostředí pro řešení problematiky tepelné stability budov.
6. Na skutečné místnosti stanovte pomocí simulačních metod výsledný stav vnitřního prostředí při působení proměnných venkovních podmínek.

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

Ve Zlíně


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práca sa v teoretickej časti zaoberá požiadavkami budov z hľadiska tepelnej stability a vnútorného prostredia, problematikou budov s veľkou tepelnou záťažou a ich riešením, tepelnými stratami a ziskami budov. V práci sú obsiahnuté druhy využívaných tepelne akumulčných jadier využívaných v tepelne akumulčných paneloch, ich charakteristika a aplikácie v stavebníctve. Teoretickú časť uzatvára opis vybraných simulčných prostredí používaných v oblasti projektovania budov. Praktická časť zachytáva meranie reálneho objektu, výpočet jeho tepelno-technických parametrov a zmeny v tepelno akumulčných parametroch použitím tepelne akumulčných panelov. Teoretické výpočty boli overené simuláciami.

Kľúčové slová:

Tepelná akumulácia, akumulčný materiál skupenského tepla, súčiniteľ prestupu tepla, časová konštanta, akumulčná doba, COMSOL Multiphysics

ABSTRACT

Theoretical part of Master thesis deals with the requirements of buildings in terms of thermal stability and internal environment, issues of buildings with large thermal stress and deal with heat loss and gain of the building. Thesis contains types used thermal storage cores used in thermal storage panels, their characteristics and applications in the construction industry. Theoretical part is concludes by the description of selected simulating programs used in the design of buildings. The practical part describes the measurement of real object, the calculation of the thermal parameters and changes in heat accumulation parameters using thermal storage panels. Theoretical calculations were verified by simulation.

Keywords:

Heat accumulation, latent heat of storage material, heat transfer coefficient, time constant, accumulation time, COMSOL Multiphysics

Na tomto mieste by som rád poďakoval v prvom rade vedúcemu mojej diplomovej práce, pánovi Ing. Martinovi Zálešákovi, CSc. za čas venovaný konzultáciám, za pripomienky a odborné vedenie nielen pri tvorbe tejto práce, ale aj v priebehu dvojročného štúdia v oblasti integrovaných systémov v budovách, ako aj za nové a prínosné informácie.

Ďalej ďakujem pani Ing. Hane Charvátovej, Ph.D. za poskytnutý čas a pomoc so simuláciami, pánovi Ing. Stanislavovi Sehnáľkovi za cenné rady a pripomienky pri meraní a simuláciách, taktiež ďakujem pánovi Ing. Martinovi Koláčkovi za čas venovaný konzultáciám a informácie poskytnuté o akumulčných paneloch.

V neposlednej rade by som chcel poďakovať svojej rodine za ich podporu a trpezlivosť počas celého štúdia.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČASŤ	11
1 VNÚTORNÉ PROSTREDIE	12
1.1 POŽIADAVKY NA VNÚTORNÉ PROSTREDIE	12
1.2 TEPELNÁ POHODA	13
1.2.1 PMV	15
1.2.2 PPD	15
1.3 OPERATÍVNA TEPLOTA	16
1.4 KÍZAVÁ STREDNÁ TEPLOTA VONKAJŠIEHO VZDUCHU	17
1.5 SÚČINITEĽ PRESTUPU TEPLA	18
1.5.1 Súčiniteľ prestupu tepla pre jednotlivé konštrukcie.....	18
1.5.2 Priemerný súčiniteľ prestupu tepla.....	20
2 TEPELNÁ STABILITA	22
2.1 POKLES TEPLoty V MIESTNOSTI V ZIMNOM OBDOBÍ	22
2.2 TEPELNÁ STABILITA MIESTNOSTI V LETNOM OBDOBÍ	24
2.3 ČASOVÁ KONŠTANTA	25
2.3.1 Tepelná kapacita budovy.....	27
2.3.2 Merný tepelný tok vetraní	27
2.3.3 Merný tepelný tok prestupom	27
2.4 AKUMULAČNÁ DOBA.....	28
2.4.1 Akumulované teplo	28
2.4.2 Tepelné straty miestnosti podľa ČSN 06 0220	31
3 TEPELNÁ ZÁŤAŽ	33
3.1 RIEŠENIA TEPELNEJ ZÁŤAŽE	34
3.2 TEPELNÉ ZISKY.....	34
3.2.1 Celkové množstvo preneseného tepla	34
3.3 TEPELNÝ STRATY	35
3.3.1 Tepelné straty prestupom	36
3.3.2 Tepelné straty vetraním	36
4 TEPELNE AKUMULAČNÉ PANEĽY	38
4.1 PCM MATERIÁLY	39
4.1.1 Rozdelenie PCM	39
4.1.1.1 Organické látky.....	40
4.1.1.2 Anorganické látky.....	41
4.1.1.3 Eutektické materiály	41
4.2 APLIKÁCIA TEPELNE AKUMULAČNÝCH PANEĽOV V BUDOVÁCH	42
5 SIMULAČNÉ PROSTREDIA	45

5.1	SOLIDWORKS.....	45
5.2	COMSOL MULTIPHYSICS.....	46
5.3	ESP-R.....	47
5.4	TRNSYS.....	47
5.5	OPEN FOAM.....	48
5.6	ANSYS FLUENT	49
II	PRAKTICKÁ ČASŤ	50
6	OPIS OBJEKTU.....	51
7	MERANIE PARAMETROV MIESTNOSTI	53
7.1.1	Meracie zariadenia	54
7.1.2	Zhromaždenie výsledkov	58
7.1.3	Analýza výsledkov merania	58
8	ANALÝZA MIESTNOSTI.....	60
8.1	OKRAJOVÉ PODMIENKY PRE MIESTNOSŤ.....	60
8.2	SKLADBA STAVEBNÝCH KONŠTRUKCIÍ	60
8.2.1	Súčiniteľ prestupu tepla.....	63
8.2.2	Kondenzácia vodných par	63
8.3	ENERGETICKÝ ŠTÍTOK	65
8.4	STANOVENIE ČASOVEJ KONŠTANTY.....	66
8.5	STANOVENIE AKUMULAČNEJ DOBY	67
8.6	STANOVENIE KONŠTANTY α	71
9	NASTAVENIE SIMULAČNÉHO PROSTREDIA.....	73
9.1	POROVNANIE SIMULÁCIE PROGRAMU COMSOL A MERANÍ	75
10	VYHODNOCOVANIE PARAMETROV MIESTNOSTI.....	77
10.1	ČASOVÁ KONŠTANTA	78
10.1.1	Výpočet	78
10.1.2	Simulácia.....	79
10.1.3	Porovnanie.....	81
10.2	AKUMULAČNÁ DOBA.....	82
10.2.1	Výpočet	82
10.2.2	Porovnanie.....	83
10.3	KONŠTANTA α	84
10.3.1	Simulácia.....	84
10.3.2	Porovnanie.....	84
	ZÁVER	86
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	88
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV.....	92
	ZOZNAM OBRÁZKOV	94
	ZOZNAM TABULIEK	96
	ZOZNAM PRÍLOH.....	98

ÚVOD

Význam znižovania spotreby energie predstavuje trend od nepamäti, touto cestou smeruje aj vývoj v stavebníctve, kde izolačné a tepelno akumulčné vlastnosti naberajú na váhu. V dnešných dobách už množstvo firiem ponúka široký sortiment takýchto materiálov. Víziou pri tomto druhu stavebných vrstiev je dosiahnutie čo najužšej vrstvy s čo najvyššou izolačnou schopnosťou.

Populárnymi sa stávajú drevostavby a používanie ľahkých konštrukcií pri výstavbe. Takéto stavby vynikajú výbornými izolačnými schopnosťami, no však práve tým, že sa jedná o ľahké konštrukcie vzniká problém s ich tepelnou stabilitou, budovy majú horšie tepelno akumulčné vlastnosti ako stavby ťažké. S tým súvisí aj prehrievanie pri teplých letných dňoch, čo má za následok vnútornú nepohodu. Treba potom využívať moderné vykurovacie a chladiace sústavy s automatickou reguláciou, ktoré význam akumulácie tepla znižujú.

Avšak pri našich stavebných zvykoch má dobrá akumulácia tepla stále svoj význam a je jedným z ukazovateľov kvality stavebného materiálu. Materiály s veľkou tepelnou kapacitou majú značný význam pri nákladoch na chladenie a vykurovanie, v pozitívnom zmysle. Dôvodom je ich schopnosť akumulovať teplo v čase prebytku prípadne teplo odovzdať do okolia pri jeho nedostatku a redukovať tak tepelnú záťaž či stratu. Vďaka veľkej tepelnej kapacite niektorých materiálov je v súčasnosti možné zlepšiť tepelno akumulčné vlastnosti i v ľahkých konštrukciách.

Náplňou práce je zaoberať sa možnosťami ovplyvnenia tepelno akumulčných parametrov budov. Celé skúmanie bude koncipované na výpočet a porovnávanie skladieb stavebnej konštrukcie, ich následné overenie pomocou simulácie.

V teoretickej časti sú popísané požiadavky na vnútorné prostredie a výpočtové postupy vzťahujúce sa k stanoveniu vybraných tepelno technických a akumulčných parametrov. Celú teoretickú časť bude ukončovať opis akumulčných materiálov vrátane ich uplatnenia v budovách a všeobecný popis simulačných prostredí vhodných pre simulácie v oblasti súvisiacej s tepelnou akumuláciou.

Praktická časť sa bude zaoberať možnosťami ovplyvnenia tepelno akumulčných vlastností konkrétnej miestnosti na základe nameraných hodnôt. Ako prvé ešte pred spracovaním nameraných hodnôt sa zabezpečia správne podmienky pri meraní, hlavne

v zmysle nežiaducich vplyvov z okolia. Namerané hodnoty sa dodatočne skontrolujú použitím ručného infrapyrometru. Ak by nastala príliš veľká nezrovnalosť medzi kontrolne nameranými hodnotami a hodnotami zaznamenanými univerzálnou meracou stanicou, skontrolujú sa nájdené nedostatky v upevnení alebo umiestnení a vyriešia sa. Po úspešnej kontrole sa spustí meranie miestnosti, to bude prebiehať určitú dobu. V miestnosti budú tiež elektrické ohrievače, kvôli získaniu spotreby energie dosiahnutej pri temperovaní danej teploty v miestnosti. Aby sa mohlo skúmať zlepšenie či zhoršenie tepelno akumuláčnych parametrov miestnosti vytvorí sa simulácia s odpovedajúcim modelom objektu a s rovnakými okolitými podmienkami. Pre účely skúmania sa bude v simulácii meniť skladba stavebných konštrukcií miestnosti, čas priebehu simulácie a okolité podmienky. Takto získane dáta sa použijú k doriešeniu časovej konštanty, akumuláčnej doby a konštanty α .

Na konci praktickej časti bude zhodnotenie vplyvu použitých konštrukčných skladieb miestnosti na jej tepelno akumuláčne parametre a vyjadrenie o vhodnosti použitých kombinácií skladieb stavebných konštrukcií.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 VNÚTORNÉ PROSTREDIE

1.1 Požiadavky na vnútorné prostredie

Vnútorné prostredie v budovách je tvorené mnohými zložkami. Medzi zásadné patria tepelne vlhkostné, odérová, aerosólové, mikrobiálne a akustická zložka. Hlavný vplyv na človeka majú najmä tepelno vlhkostné interiérové parametre miestnosti. Z hľadiska vplyvu na ľudské zdravie sa zdá, že najpodstatnejším faktorom je kvalita vzduchu. Väčšinu týchto zložiek prostredia ovplyvňujeme vetraním.

Obsah odérových látok, aerosólu určuje kvalitu vzduchu. Obsahuje jednak subjektívne hodnotenie (pachy), jednak objektívne hodnotenie z hygienického hľadiska (obsah škodlivých plynov, ktoré nemusia byť ľudským čuchom detekované). Väčšinou je kvalita vzduchu vo vonkajšom prostredí lepšia ako v uzavretých priestoroch budov. Medzi toxické látky je dnes zaradený aj tabakový dym. Človek sám produkuje teplo, vodnú paru aj ďalšie látky, najmä CO₂, odérové látky a pevný aerosól následkom neustáleho obnovovania pokožky. Škodlivinami, sa však vníma nielen vydychovaný vzduch, ale aj formaldehyd z nábytku, radón a rádioaktivita z muriva a vlhkosť v kúpeľni alebo inde pri sušení bielizne. Ako meradlo kvality vzduchu sa najčastejšie používa koncentrácia CO₂, v priestoroch kde sa zdržiavajú ľudia, kde vplyvom ich činnosti vzniká vlhkosť, je presnejším parametrom relatívna vlhkosť vzduchu.

[12]

Interiéry respektíve časti interiérov s nedostatočným alebo žiadnym vetraním, sú častejšie príčinou kontaminácie prostredia plesňami, tie rastú v miestach s vyššou vlhkosťou (okolo 70%), prednostne na vlhkom podklade.

Okrem kvality vzduchu sú z hľadiska pôsobenia na človeka dôležité aj tepelno-vlhkostné podmienky prostredia. Tie určujú tepelnú pohodu človeka.

Zdrojom tepla alebo chladu pre interiér budovy sú najmä vonkajšie klimatické podmienky, ktoré sa prenášajú dovnútra obvodovým plášťom budovy. Z celého obvodového plášťa majú najväčší význam okná, v zime nimi najviac tepla uniká a v lete naopak vniká do budovy.

Snaha minimalizovať spotrebu energie na vykurovanie vedie k stavbe budov s veľmi kvalitnými obvodovými plášťami z hľadiska tepelnej izolácie a tesnosti. Utesnením vnútorného priestoru však prestáva byť funkčným prirodzené vetranie.

[11], [18]

1.2 Tepelná pohoda

Ide o príjemný pocit navodzujúci celkovú pohodu a umožňujúci optimálny pracovný výkon. Predpokladom je vyrovnaný stav toku tepla medzi človekom a prostredím bez viditeľného potenia, alebo naopak bez pocitu chladu a bez použitia ochranných termoregulačných procesov ľudského tela. Celý stav je opísateľný rovnicou tepelnej pohody, z ktorej vyplýva, že rovnováha nastáva medzi človekom vyprodukovaným teplom, a teplom zdieľaným do okolia.

[18]

Rovnica tepelnej rovnováhy vyjadruje tepelné toky vo wattoch na plochu a má tvar vzťahu (1).

$$M - W = C + R + E_{res} + C_{res} \quad (1)$$

Na ľavej strane je teplo človekom produkované, na pravej strane teplo vydávané do priestoru hovorí. Ak je rovnica splnená, je človek v stave tepelnej rovnováhy.

Vo vzťahu (1) M predstavuje energetický výdaj vo W/m^2 , vyjadruje mechanickú prácu. Keďže svalový výkon má veľmi malú účinnosť, tak je možné túto zložku spravidla zanedbať. Energetický výdaj sa skladá z metabolického tepla, ktoré vzniká pri základných biologických pochodoch a má pre dospelého človeka hodnotu $58 W/m^2$. Fyzická aktivita je sprevádzaná zvýšením energetického výdaja. Vybrané údaje pre dané činnosti sú v tabuľke (Tab. 1).

Tab. 1. Merný energetický výdaj na m² telesnej plochy podľa fyzickej aktivity[18]

Činnosť	Merný energetický výdaj q [W/m ²]
Spánok	41
Sedenie v kľude	58
Kancelárske práce	58 - 70
Chôdza po rovine 3,2 km/h	116
Chôdza po rovine 6,4 km/h	221
Squash	320 – 430
Ručné hobl'ovanie	350
Varenie	83 – 116
Ručné pranie a žehlenie	116 - 210

Súčinom merného energetického výdaja a telesnej plochy získame energetický výdaj jednej osoby. Dospelý človek má plochu tela približne 1,8 m².

Tepelný výkon, ktorý človek odovzdáva do okolia je vo vzťahu (1) na pravej strane. C predstavuje tepelný tok konvekciou, takže prúdením. Výdaj tepla prúdením ovplyvňuje rast rýchlosti prúdiaceho vzduchu. R výdaj tepla sálaním, E je výdaj tepla difúziou vodnej pary pokožkou a odparovaním potu. Členy E_{res} a C_{res} vyjadrujú výdaj tepla dýchaním.

[18], [24]

Vnímanie tepla je veľmi individuálnou záležitosťou, závisí od veku, pohlavia, telesnej konštitúcie, zdravotným stave, duševnom rozpoložení, aktuálne činnosti aj oblečenia. Z toho je zrejmé, že ak sa vyskytne na jednom mieste viac ľudí, vždy sa nájde niekto, kto bude vnímať teplo alebo zimu prostredia inak ako ostatný. Aj v podmienkach vykazujúcich tepelnú pohodu na základe fyzikálnych ukazovateľov, existuje vždy aspoň 5% ľudí nespokojných s daným stavom tepelného prostredia, pretože to pociťujú ako tepelný diskomfort. Nakoľko tepelnú pohodu nezabezpečuje len teplota vzduchu. Ovplyvňujúcimi sú aj ďalšie teplotné faktory prostredia, teplota stien, podlahy a ostatných okolitých plôch. Dôležitou

zložkou prostredia je sálavá teplota spôsobená slnečnou radiáciou, alebo sálavým vykurovaním.

[18]

1.2.1 PMV

K hodnoteniu predpovede stredného tepelného pocitu sa využíva takzvaný PMV ukazovateľ (Predicted Mean Vote), ktorý vychádza z odovzdaných hlasov veľkej skupiny osôb. Tie hodnotia svoj tepelný pocit pomocou sedemstupňovej stupnice založenej na tepelnej rovnováhe ľudského tela.

Tab. 2. Sedembodová stupnica tepelných pocitov[5]

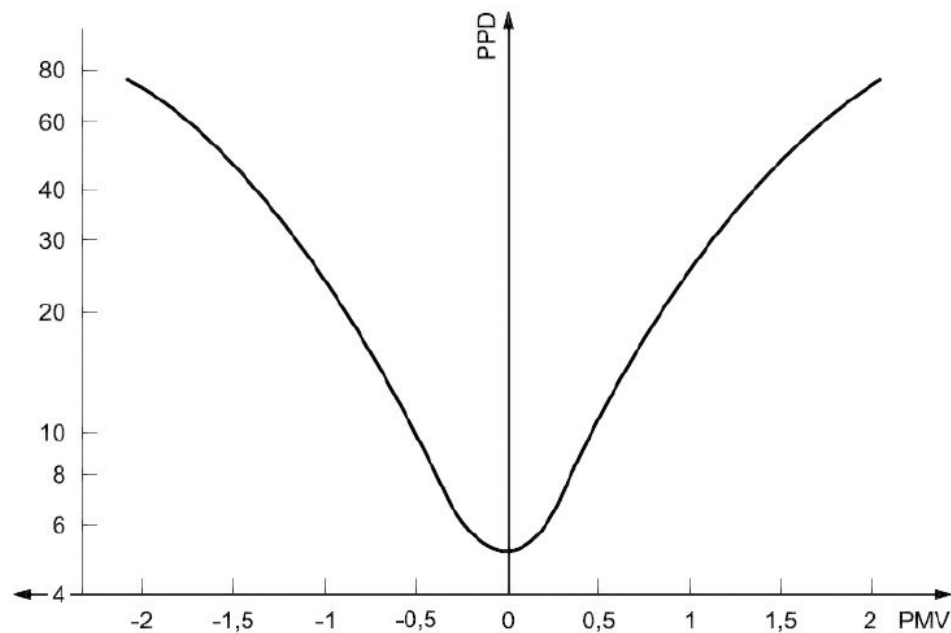
+3	Horko
+2	Teplo
+1	Mierne Teplo
0	Neutrálne
-1	Mierna Zima
-2	Chladno
-3	Zima

1.2.2 PPD

PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) ide o ukazovateľa kvantitatívnej predpovede percentuálneho podielu nespokojných osôb s tepelným prostredím, ktoré môžu pociťovať ako príliš chladné alebo príliš teplé. V rámci medzinárodnej normy sa za nespokojných považujú ľudia ktorý volia na sedembodovej stupnici hodnotiac tepelný pocit v tabuľke (Tab. 2) horko, teplo, chladno, zima. Pokiaľ je určená hodnota PMV, tak sa vypočíta PPD a to podľa vzťahu (2).

[5]

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



Obr. 1. PPD ako funkcia PMV[5]

PPD predpovedá počet ľudí vo veľkej skupine, ktorý sú nespokojný s tepelným prostredím, pričom zvyšok skupiny sa bude cítiť neutrálne, v miernom teple aj v miernom chlade.

1.3 Operatívna teplota

Teplota izotermickej plochy, ktorá vymedzuje pomyselný priestor s prenosom tepla sálaním a prúdením z ľudského tela, rovná prenosu tepla sálaním a prúdením v skutočnom nerovnomernom prostredí. S dostatočnou presnosťou sa dá operatívna teplota stanoviť zo vzťahu:

[2, s. 50]

$$\theta_o = \frac{\theta_{ai} - \theta_r}{2} \quad (2)$$

kde θ_o je operatívna teplota [°C];

θ_{ai} teplota vnútorného vzduchu [°C];

θ_r stredná sálavá teplota [°C];

presne určenie vychádza zo vzťahu:

$$\theta_o = \frac{h_c \cdot \theta_{ai} - h_r \theta_r}{h_c + h_r} \quad (3)$$

kde h_c je součinitel přestupu tepla prouděním [W/(m²·K)];

h_r součinitel přestupu tepla sáláním [W/(m²·K)].

Operativna teplota má být vždy vo všetkých lokalitách vo vnútri obsadenej zóny priestoru v prípustnom rozsahu. Pričom prípustný rozsah má pokryť priestorové aj časové zmeny vrátane kolísania spôsobeného riadiacim systémom.

[1], [19]

1.4 Kĺzavá stredná teplota vonkajšieho vzduchu

Je rada hodnôt exponenciálne viazaných kĺzavých stredných hodnôt dennej strednej teploty vzduchu θ_{ed} , ktorá vyjadruje priemernú hodnotu hodinových stredných teplôt vonkajšieho vzduchu pre jeden deň. Kĺzavá stredná teplota vonkajšieho vzduchu sa počíta podľa vzťahu:

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) \cdot \{\theta_{ed-1} + \alpha \cdot \theta_{ed-2} + \alpha^2 \cdot \theta_{ed-3} \dots\} \quad (4)$$

Zjednodušené:

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) \cdot \theta_{ed-1} + \alpha \cdot \theta_{rm-1} \quad (5)$$

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 [°C];

α konštanta medzi 0 a 1. Doporučovaná univerzálna hodnota je 0,8 [-].

Zjednodušená rovnica pre prípady, kedy nie je k dispozícii záznam dennej strednej teploty vonkajšieho vzduchu.

$$\theta_{rm} = (\theta_{ed-1} + 0,8\theta_{ed-2} + 0,6\theta_{ed-3} + 0,5\theta_{ed-4} + 0,4\theta_{ed-5} + 0,3\theta_{ed-6} + 0,2\theta_{ed-7})/3,8 \quad (6)$$

[5, s. 12]

1.5 Súčiniteľ prestupu tepla

Hodnota súčiniteľa prestupu tepla je hodnotená v dvoch krokoch, prvým je porovnanie súčiniteľa prestupu tepla pre jednotlivé konštrukcie. Druhým krokom je porovnanie priemerného súčiniteľa prestupu tepla celej budovy.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \quad (7)$$

kde U je súčiniteľ prestupu tepla [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$];

h_i prestup tepla na vnútornom povrchu steny [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$];

h_e prestup tepla na vonkajšom povrchu steny [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$];

δ šírka konštrukcie [m];

λ tepelná vodivosť [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$].

[3, s. 2]

1.5.1 Súčiniteľ prestupu tepla pre jednotlivé konštrukcie

Pri vykurovaných budovách s návrhovou relatívnou vlhkosťou $\varphi_i \leq 60\%$ musia jednotlivé konštrukcie dosahovať súčiniteľa prestupu U tak, aby bola splnená podmienka:

$$U \leq U_N \quad (8)$$

kde U_N je požadovaná hodnota súčiniteľa prestupu tepla podľa ČSN 73 0540-2 [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$].

Tab. 3. Požadované a doporučené hodnoty součinitele přestupu tepla pro vybrané konstrukce s prevažující vnitřní návrhovou teplotou v intervalu 18°C až 22°C vrátane[3]

Popis konstrukce	Súčiniteľ prestupu tepla U [W/(m ² K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pre pasívne budovy $U_{pas,20}$
Stena vonkajšia	0,3	ťažká: 0,25 ľahká: 0,20	0,18 až 0,12
Strecha plochá a šikmá so sklonom do 45° vrátane	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop a stena vnútorná z vykurovaného k nevykurovanému priestoru	0,6	0,4	0,30 až 0,20
Strop a stena vnútorná z vykurovaného priestoru k temperovanému priestoru	0,75	0,5	0,38 až 0,25
Strop a stena vonkajšia z temperovaného priestoru k vonkajšiemu prostrediu	0,75	0,5	0,38 až 0,25
Strop medzi priestormi s rozdielom teplôt do 10°C vrátane	1,05	0,7	
Stena medzi priestormi s rozdielom teplôt do 10°C vrátane	1,3	0,9	
Strop vnútorný medzi priestormi s rozdielom teplôt do 5°C vrátane	2,2	1,45	
Stena vnútorná medzi priestormi s rozdielom teplôt do 5°C vrátane	2,7	1,8	

Požadovaná hodnota U_N sa stanovuje na základe prevažujúcej návrhovej teploty θ_{im} , môžu nastať dva prípady:

- ak je θ_{im} v intervale teplôt 18°C až 22°C vrátane, tak U_N sa stanoví podľa tabuľky (Tab. 3);
- ak je θ_{im} v inom intervale ako definuje predchádzajúci prípad, tak sa postupuje podľa vzťahu:

$$U_N = U_{N,20} \cdot e_1 \quad (9)$$

$$e_1 = \frac{16}{\theta_{im} - 4}$$

kde $U_{N,20}$ je súčiniteľ prestupu tepla z tabuľky (Tab. 3) [W/(m²·K)];

e_1 súčiniteľ typu budovy [-];

θ_{im} prevažujúca vnútorná návrhová teplota [°C].

[3]

1.5.2 Priemerný súčiniteľ prestupu tepla

Pre priemerný súčiniteľ prestupu tepla U_{em} [W/(m²·K)] musí platiť podmienka:

[3, s. 16]

$$U_{em} \leq U_{em,N} \quad (10)$$

kde $U_{em,N}$ je požadovaná hodnota priemerného súčiniteľa prestupu tepla [W/(m²·K)].

Táto požadovaná hodnota sa stanoví opäť na základe prevládajúcej vnútornej návrhovej teploty θ_{im} . Môžu však nastať dve varianty a to:

- ak je θ_{im} , v intervale teplôt 18°C až 20°C, vtedy sa U_N stanoví z tabuľky (Tab. 3);
- ak je interval, v ktorom sa nachádza θ_{im} iný, postupuje sa podľa výpočtu:

$$U_{em,N} = U_{em,N,20} \cdot e_1 \quad (11)$$

kde $U_{em,N,20}$ je priemerný súčiniteľ prestupu tepla z tabuľky (Tab. 3) [W/(m²·K)];

e_1 súčiniteľ typu budovy, výpočet podľa vzťahu (9)[-].

Doporučená hodnota $U_{em,rec}$ sa vypočíta podľa vzťahu (12)[W/(m²·K)]. Tieto hodnoty sa používajú tam, kde tomu nebránia technické alebo ekonomické prekážky.

[3, s. 17]

$$U_{em,rec} = 0,75 \cdot U_{em,N} \quad (12)$$

Požadovaná hodnota $U_{em,N}$ sa určí metódou referenčnej budovy pre každý objekt, maximálne, však môže byť hodnota podľa tabuľky (Tab. 3). Referenčnou budovou je myslený imaginárny objekt rovnakých rozmerov, s rovnakým dispozičným usporiadaním ako objekt

hodnotený. Pri referenčnej budove sa využijú hodnoty $U_{N,20}$ pre obvodové konštrukcie a výplne otvorov.

$U_{em,N,20}$ referenčnej budovy sa stanoví ako vážený priemer požadovaných hodnôt súčiniteľov prestupu tepla podľa tabuľky (Tab. 3)[W/(m²·K)]:

$$U_{em,N,20} = \sum \frac{U_{N,j} \cdot A_j \cdot b_j}{\sum A_j} + 0,02 \quad (13)$$

kde $U_{N,j}$ je normovaná požadovaná hodnota súčiniteľa prestupu tepla j-tej konštrukcie [W/(m²·K)];

A_j plocha j-tej konštrukcie stanovenej z vonkajších rozmerov [m²];

b_j teplotný redukčný činiteľ odpovedajúci j-tej konštrukcii [-].

[3, s. 17]

2 TEPELNÁ STABILITA

Miestnosť je možnú považovať za tepelne stabilnú vtedy, ak jej teplotný stav počas insolácie zostáva v určitom dovolenom rozpätí, ktorý uvádza ČSN 73 0540-2. Neustálený teplotný stav miestnosti či už v letnom období kedy sa jedná o vzostup teploty vnútorného vzduchu alebo zimnom období spôsobený zostupom teploty vnútorného vzduchu môže byť vyvolaný viacerými pôsobiacimi faktormi ako napríklad teplota vonkajšieho vzduchu, slnečné žiarenie, rýchlosť a smer prúdenia vetra, tepelná zotrvačnosť použitých konštrukcií danej miestnosti, teplo vznikajúce od ľudí, technológií a vzduchotechnikou.

[3, s. 12]

2.1 Pokles teploty v miestnosti v zimnom období

Pokles výslednej teploty vnútorného priestoru miestnosti v zimnom období sa $\Delta\theta_v(t)$, v °C v čase chladnutia t , sa určí zo vzťahu:

$$\Delta\theta_v(t) = \theta_v - \theta_v(t) \quad (14)$$

kde $\theta_v(t)$ je návrhová vnútorná teplota na začiatku chladnutia, takže v čase $t=0$ [°C];
 $\theta_v(t)$ výsledná teplota v overovacej dobe chladnutia t [°C];
 t čas chladnutia [s].

Pričom výsledná teplota vnútorného priestoru $\theta_v(t)$, v °C, sa stanoví zo vzťahu:

$$\theta_v(t) = \theta_{ai}(t) + 650 \cdot \dot{V}_{LV} \cdot \frac{\theta_{ai}(t) - \theta_e}{\sum(A \cdot h_{si})} \quad (15)$$

kde θ_{ai} je teplota vnútorného vzduchu v dobe chladnutia t [°C];
 \dot{V}_{LV} objemový tok vzduchu prúdiaceho do miestnosti, v m³/s, pri vetraní platí všeobecný tvar:

$$\dot{V}_{LV} = \frac{n \cdot V_s}{3600} \quad (16)$$

kde V_s je objem sledovanej miestnosti [m³];

θ_e návrhová vonkajšia teplota v zimnom období [°C];

$\sum(A \cdot h_{si})$ súčet násobkov plôch vnútorných povrchov všetkých konštrukcií tvoriacich miestnosť a súčiniteľov prestupu tepla na vnútornej strane tých konštrukcií [W/K];

[4, s. 44]

Je žiadané, aby miestnosť, ktorá sa určí ako kritická vykazovala na konci doby chladnutia t , pokles výslednej teploty v miestnosti v zimnom období $\Delta\theta_v(t)$ [°C], podľa definovaného vzťahu:

$$\Delta\theta_v(t) \leq \Delta\theta_{v,N}(t) \quad (17)$$

kde $\Delta\theta_{v,N}(t)$ je hodnota poklesu výslednej teploty v miestnosti v zimnom období, podľa tabuľky (Tab. 4) [°C].

Tab. 4. Hodnoty poklesu výslednej teploty v miestnosti v zimnom období podľa ČSN 73 0540-2[3, s. 26]

Druh miestností	Pokles výslednej teploty v zimnom období $\Delta\theta_{v,N}(t)$ [°C]
S pobytom ľudí po prerušenom vyhrievaní:	
- pri vykurovaní radiátormi, sálavými panely a teplovzdušne	3
- pri vykurovaní kachle a podlahové vykurovanie	4
Bez pobytu ľudí po prerušení vykurovania:	
- pri prerušení vykurovania vykurovacou prestávkou:	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 nebezpečenstve zamrznutia vody	$\theta_i - 1$

θ_i [°C] je vnútorná návrhová teplota podľa ČSN 73 0540-3.

Podľa ČSN 73 0540-4 je kritická miestnosť volená ako miestnosť s najväčším priemerným súčiniteľom prestupu tepla konštrukcií miestností. Často ide o rohovú miestnosť umiestnenú pod strechou. Pokiaľ je možné podľa tabuľky (Tab. 5) pre overovanú miestnosť stanoviť niekoľko požadovaných hodnôt $\Delta\theta_{v,N}(t)$, tak sa miestnosť overuje pre najnižšiu z týchto hodnôt. Najnižšia výsledná teplota $\Delta\theta_{v,min}(t)$, je väčšinou určená požiadavkou investora.

[3, s. 26]

2.2 Tepelná stabilita miestnosti v letnom období

Ako kritická miestnosť je volená tá, ktorá vykazuje najvyššiu dennú teplotu v miestnosti v letnom období $\theta_{ai,max}$ [°C] a musí spĺňať podmienku:

[3, s. 26]

$$\theta_{ai,max}(t) \leq \theta_{ai,max,N}(t) \quad (18)$$

kde $\theta_{ai,max,N}$ je najvyššia hodnota požadovanej teploty v letnom období, ktorá sa stanoví z tabuľky (Tab. 5) [°C].

Tab. 5. Najvyššia požadovaná hodnota dennej teploty vzduchu v miestnosti v letnom období [3]

Druh budovy		najvyššia denná teplota vzduchu v miestnosti v letnom období $\Delta\theta_{ai,max,N}(t)$ [°C]
Nevýrobné*		27,0
Ostatné s vnútornými zdrojmi tepla	do 25 W/m ³ vrátane	29,5
	nad 25 W/m ³	31,5

Pri obytných budovách je možné pripustiť prekročenie požadovanej hodnoty najviac o 2°C na súvislú dobu maximálne 2hodiny, pokiaľ s tým investor súhlasí. Za kritickú miestnosť považujeme miestnosť s najväčšou plochou priamo oslnených výplní otvorov orientovaných na západ, juh, juhozápad, juh, juhovýchod alebo východ. Hodnotenie sa vykonáva

bez započítania vnútorných ziskov v miestnosti. V hodnotení je možné brať v úvahu premenlivú intenzitu vetrania, napríklad zvýšenie intenzity vetrania v nočných hodinách.

[3, s. 26]

Najvyšší denný vzostup teploty vzduchu v miestnosti v letnom období $\Delta\theta_{ai,max} [^{\circ}\text{C}]$, je daný rozdielom teplôt vyjadrujúcich stabilitu tepelného stavu vnútorného prostredia pri zaťažení budovy globálnym slnečným žiarením, definovaný vzťahom:

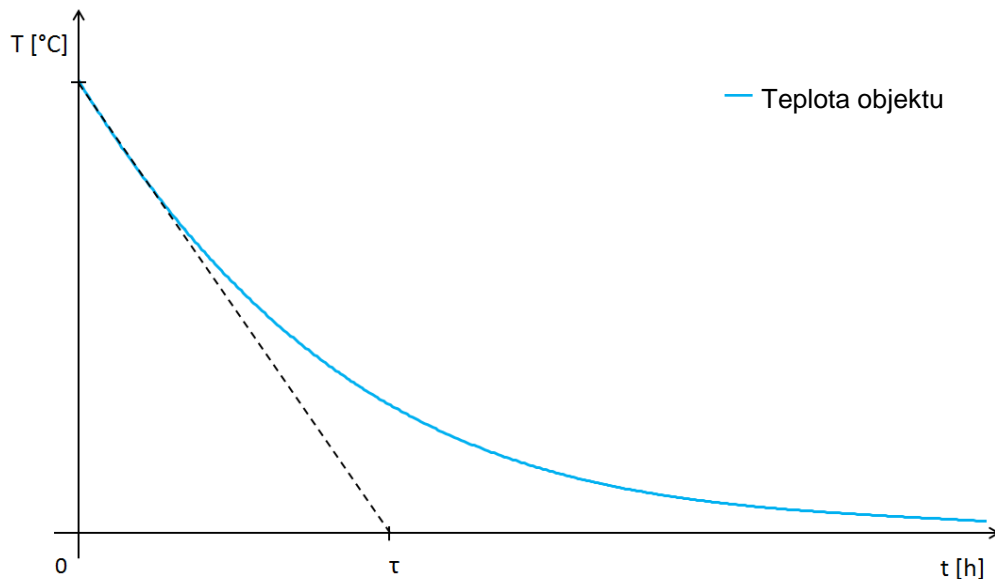
$$\Delta\theta_{ai,max} = \theta_{ai,max} - \theta_{ai,min} \quad (19)$$

kde $\theta_{ai,max}$ je najvyššia teplota vnútorného vzduchu v miestnosti v letnom období [$^{\circ}\text{C}$];

$\theta_{ai,min}$ najnižšia teplota vnútorného vzduchu v miestnosti v letnom období [$^{\circ}\text{C}$].

[3, s. 26]

2.3 Časová konštanta



Obr. 2. Ukážka príkladu priebehu chladnutia daného objektu so znázornenou časovou konštantou τ tohto deja

Vo všeobecnosti časová konštanta odpovedá dobe, za ktorú by prechodný dej poklesu danej veličiny klesol z maximálnej na konečnú nulovú hodnotu, pokiaľ by tento dej prebiehal konštantnou rýchlosťou čiže lineárne.

Časová konštanta zóny budovy τ , vyjadrená v hodinách, charakterizuje tepelnú zotrvačnosť klimatizovaného priestoru pre obidva režimy pre vykurovanie aj chladenie.

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

kde	C_m	je	vnútorná tepelná kapacita budovy alebo zóny [J/K];
	$H_{tr,adj}$		reprezentatívni hodnota celkového merného tepelného toku prestupom prepočítaná na tepelný 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].

[6, s. 62]

Reprezentatívne hodnoty sú reprezentatívne pre rozhodujúce obdobie (vykurovanie alebo chladenie). Sú určené v súlade s postupom, ktorý môže byť stanovený na národnej úrovni. Napríklad mesačná hodnota v strede zimy v prípade podnebia, kde dominuje vykurovanie, alebo mesačná hodnota pre mesiac v strede leta v prípade podnebia, kde dominuje chladenie.

Stupeň využitia tepelných ziskov resp. tepelných strát priamo súvisí s tepelnou zotrvačnosťou budovy. Vychádza z vnútornej tepelnej kapacity budovy. Časová konštanta predstavuje dobu reakcie pri zmene okolitých podmienok a odvíja sa od hodnoty vnútornej tepelnej kapacity budovy.

Pre zvláštne využitie a typ budov môže byť na národnej úrovni alternatívne rozhodnuté použitie orientačnej hodnoty odvodenej z typu konštrukcie. Akceptovateľná neistota je desaťkrát vyššia než tá, ktorá sa týka prenosu tepla.

[6]

Vnútorná tepelná kapacita budovy C_m

180 KJ/K pre konštrukciu ľahkú - merne hmotnosť do 600 kg / m³

324 KJ/K pre konštrukciu strednú - merná hmotnosť > 600 kg / m³

468 KJ/K pre konštrukciu ťažkú - merná hmotnosť > 1000 kg / m³

[9]

2.3.1 Tepelná kapacita budovy

Pre presnejšie určenie vnútornej tepelnej kapacity budovy C_m , sa ako výsledok berie súčet tepelných kapacít jednotlivých stavebných prvkov, ktoré sú v priamom kontakte s vnútorným vzduchom vypočítavanej zóny. Platí tak vzťah nasledujúci vzťah.

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

kde κ_j je vnútorná plošná tepelná kapacita j-teho prvku [J/(m²K)], s maximálnou účinnou hrúbkou 0,1m;

A_j plocha j-tého prvku [m²].

Vnútnú plošnú kapacitu prvku κ [J/(m²K)] stanovuje norma EN ISO 13 786 vzťahom:

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

kde ρ_i je hustota vrstvy [kg/m³];

d_i hrúbka vrstvy [m];

c_i merná tepelná kapacita vrstvy [J/(kg K)].

[6, s.43]

2.3.2 Merný tepelný tok vetraní

Vzťah celkového merného tepelného toku vetraní $H_{ve,adj}$ [W/K]:

$$H_{ve,adj} = \rho_a c_a \cdot (\sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn}) \quad (23)$$

kde $\rho_a c_a$ je objemová tepelná kapacita vzduchu [J/(m³K)], $\rho_a c_a = 1200$ J/(m³K);

$q_{ve,k,mn}$ časový priemer k-teho objemového toku vzduchu [m³/s];

$b_{ve,k}$ teplotný korekčný súčiniteľ pre k-tý objemový tok vzduchu, pre vetranie vrátane infiltrácie vzduchu buď to z vonkajšieho prostredia, príslušného ne-klimatizovaného priestoru a príslušnej zimnej záhrady $b_{ve,k} = 1$.

[6, s.43]

2.3.3 Merný tepelný tok prestupom

Vzťah celkového merného tepelného toku prestupom tepla $H_{tr,adj}$ [W/K]:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \quad (24)$$

kde H_D je merný tepelný tok prestupom tepla do vonkajšieho prostredia [W/K];

H_g ustálený merný tepelný tok prestupom tepla zeminou [W/K];

H_U merný tepelný tok prestupom tepla cez neklimatizované priestory [W/K];

H_A merný tepelný tok prestupom tepla do priliehajúcej budovy [W/K].

[6, s.38]

2.4 Akumulačná doba

Akumulačná doba predstavuje dobu tepelne neustáleného stavu miestnosti, počas ktorej sa akumulované teplo v miestnosti rovnomernou tepelnou stratou predá do okolia, odpovedajúcemu počiatočnému stavu. Nejedná sa o dobu skutočnú ale zjednodušuje výpočty a je hlavnou veličinou, pomocou ktorej je možné jednoznačne definovať tepelné a akumulačné vlastnosti miestnosti. Miestnosti s rovnakou dobou akumulácie sa pri tepelne neustálených stavoch správajú rovnako.

Vzťah pre výpočet akumuláčnej doby miestnosti [h]:

$$\tau_m = \frac{Q_{mn}}{\Phi_{cn}} \quad (25)$$

kde Q_{mn} je celkové teplo akumulované v stavebných konštrukciách a vo vnútornom vybavení [Wh];

Φ_{cn} celková výpočtová tepelná strata miestnosti [W].

[7, s. 4]

2.4.1 Akumulované teplo

Akumulácia tepla predstavuje schopnosť materiálu udržať teplo a uchovať tepelnú energiu z obdobia relatívneho prebytku do obdobia relatívneho nedostatku. Pri vykurovaní sa v obytnej stavbe s dobrou akumuláciou najskôr teplo naakumuluje do stien, podláh, stropov a strechy a až potom sa postupne uvoľňuje do interiéru. Teplo, ktoré je akumulované v stavebnej konštrukcii pomáha vytvárať aj priaznivejšiu klímu vo vnútornom priestore. To viac-menej platí v každom ročnom období, v lete sa tak zabraňuje prehriatiu a v zime rýchlemu vychladnutiu. Obdobne je i pôsobenie počas dňa a noci.

Schopnosť akumulovania tepla v stavebnej konštrukcii závisí od jej celkovej tepelnej kapacity. Preto je rast akumuláčnej schopnosti úmerný špecifickej hmotnosti materiálu, z čoho vyplýva že teplo lepšie akumulujú stavby s ťažšou nosnou a strešnou konštrukciou.

[20], [25]

Celkové teplo akumulované v stavebných konštrukciách a vo vnútornom vybavení [Wh]:

$$Q_{mn} = Q_{mk} + Q_{mz} \quad (26)$$

kde Q_{mz} je teplo akumulované vo vnútornom vybavení miestnosti [Wh];

Q_{mk} teplo akumulované v stavebných konštrukciách, ktoré obklopujú miestnosť [Wh].

V čom je uplatniteľný vzťah:

$$Q_{mk} = (\theta_{vn} - \theta_{en}) \cdot \sum_{k=1}^{k=r} \omega_k \cdot A_k \quad (27)$$

kde θ_{vn} je výpočtová teplota vzduchu v miestnosti [°C];

θ_{en} výpočtová vonkajšia teplota [°C];

ω_k jednotkové teplo, akumulované v 1m² [Wh/(m²K)];

A_k plocha steny [m²].

Jednotkové teplo možno stanoviť:

$$\omega_k = \sum_{v=1}^{v=p} c_v \cdot \rho_v \cdot d_v \cdot \varepsilon_v \cdot v_v \quad (28)$$

kde c_v je merná tepelná kapacita vrstvy [Wh/(m³K)];

ρ_v hustota vrstvy [kg/m³];

d_v hĺbka vrstvy [m²];

ε_v súčiniteľ tepelnej úrovne vrstvy [-];

v_v súčiniteľ priradenia vrstvy [-].

Pre okná platí $\omega_k=0$.

K vyjadreniu súčiniteľa tepelnej úrovnve vrstvy, je uplatniteľné:

$$\varepsilon_v = 0,5 \cdot U_k \cdot (R_{vi} + R_{ve}) \quad (29)$$

kde U_k je súčiniteľ prestupu tepla stenou [$W/(m^2K)$];

R_{vi} tepelný odpor z vnútornej plochy vrstvy do vonkajšieho prostredia [$(m^2k)/W$];

R_{ve} tepelný odpor z vonkajšej plochy vrstvy do vonkajšieho prostredia [$(m^2k)/W$].

Pričom pre steny bez tepelných strát sa uvažuje $\varepsilon_v=0$.

Súčiniteľ priradenia vrstvy:

$$v_v = \frac{1}{1 + \frac{R_{vm} \cdot \theta_{ej} - \theta_{en}}{R_{ve} \cdot \theta_{vn} - \theta_{en}}} \quad (30)$$

kde θ_{ej} je vonkajšia teplota prostredia susediaceho so stenou j [$^{\circ}C$];

R_{vm} tepelný odpor z vnútornej plochy vrstvy do vnútorného prostredia [$(m^2k)/W$].

Pre vnútorné steny bez tepelnej straty sa uvažuje $v_v=0,5$.

[7, s. 9]

Tepelný odpor R muriva, je ďalšia dôležitá vlastnosť súvisiaca s tepelnou akumuláciou. Tento odpor udáva schopnosť zabrániť prestupu tepla a je priamoúmerne závislý od hrúbky daného materiálu a nepriamoúmerne od jeho tepelnej vodivosti. Veľkosť tepelnej vodivosti sa znižuje, so znižujúcou sa špecifickou hmotnosť materiálu, naproti tomu odpor vzrastá. Tepelný odpor je naopak, vyšší pri ľahších materiáloch, ktoré lepšie tepelne izolujú. Optimálna hodnota tepelného odporu muriva z bežných stavebných materiálov vrátane všetkých vrstiev je pri obvodových stenách obytných stavieb je $R = 2,5$ až $3,0$ (m^2K)/ W , pri tepelnoizolačnom murive $R = 4$ a viac. Na druhej strane, čím má murivo väčší tepelný odpor, tým horšiu má akumulačnú schopnosť.

[20], [25]

Vzt'ahy k tepelným odporom využitých pri súčiniteli tepelnej úrovne vrstvy a súčiniteli priradenia vrstvy:

$$R_{vi} = \frac{1}{h_e} + \sum_{h=1}^{h=p} \frac{d_h}{\lambda_n} \quad (31)$$

$$R_{ve} = \frac{1}{h_e} + \sum_{h=v-1}^{h=p} \frac{d_h}{\lambda_n} \quad (32)$$

$$R_{vm} = \frac{1}{h_i} + \sum_{h=1}^{h=v-1} \frac{d_h}{\lambda_n} \quad (33)$$

kde h_e je súčiniteľ prestupu tepla na vonkajšom povrchu [W/(m²K)];

h_i súčiniteľ prestupu tepla na vonkajšom povrchu [W/(m²K)];

d_n hrúbka vrstvy [m];

λ_n súčiniteľ tepelnej vodivosti vrstvy [W/(mK)].

[7, s. 9]

2.4.2 Tepelné straty miestnosti podľa ČSN 06 0220

Pre potrebu výpočtu akumuláčnej doby sa doporučuje počítat' tepelné straty miestnosti podľa rovnice (34), ktorá umožňuje priamy výpočet tepelnej straty bez hľadania pri-
rážky na vyrovnanie vplyvu chladných stien. Uplatňuje sa vzťah pre výpočet tepelných
strát miestnosti, [W]:

$$\Phi_{cn} = (H_{mo} + H_{ma}) \cdot (\theta_{in} - \theta_{en}) \cdot \frac{h_i \cdot A_c}{h_i \cdot A_c - H_{mo}} \quad (34)$$

kde h_i je súčiniteľ prestupu tepla $h_i = 8$ [W/(m²·K)];

H_{mo} súčiniteľ tepelnej straty prestupom [W/K];

H_{ma} súčiniteľ tepelnej straty vetraním [W/K];

θ_{in} výpočtová vnútorná teplota [°C];

θ_{en} výpočtová vonkajšia teplota [°C];

A_c celkový vnútorný povrch stien miestnosti [m²].

Pritom platí:

$$H_{mo} = \sum_{j=1}^{j=r} U_j \cdot A_j \quad (35)$$

kde U_j je súčiniteľ prestupu tepla stenou [W/(m²K)];

A_j plocha steny [m²];

a súčasne:

$$H_{ma} = c_a \cdot n \cdot V_m \quad (36)$$

kde c_a je merná tepelná kapacita vzduchu pri výpočtovej vnútornej teplote [Wh/(m³K)], uvažuje sa hodnota $c_a=0,36$ Wh/(m³K);

n intenzita výmeny vzduchu [1/h], pre obytné miestnosti $n=0,5$ h⁻¹;

V_m objem vzduchu v miestnosti [m³].

[7, s. 9], [8, s. 31]

3 TEPELNÁ ZÁTĚŽ

Tepelné zátěže místností pozostávají z konvekčních a radiačních zátěží. Konvekčné tepelné zátěže představují tepelnou energii přijatou přímo vzduchem v místnosti, která sa tak hneď stáva tepelnou zátěžou pre systém chladenia. Konvekčná tepelná zátěž pôsobí aj na akumulacné hmoty ohraničujúce konštrukciu miestnosti, ktoré v závislosti na akumulacnej schopnosti a prestupu tepla pôsobia tlmivo, a tak sú schopné znižovať teploty v miestnosti (1 až 4°C).

Radiačné zátěže pôsobia prostredníctvom krátkovlnného svetelného žiarenia alebo dlhovlnného tepelného žiarenia. Neovplyvňujú priamo teplotu vzduchu v miestnosti, pretože energia žiarenia musí najskôr pohltiť absorbujúci materiál a následne ju transformovať na konvekčný tepelný tok.

[10], [24]

Takže ak teplo z budov uniká jedná sa o tepelné straty, pokiaľ sa jedná o opak ide o tepelnú zátěž. Pomocou tepelných ziskov je možné tieto tepelné straty znižovať. No okrem toho sa dá povedať že z hľadiska riešenia a riadenia hydraulických pomerov vo vykurovacích sústavách vznikajú poruchové vplyvy. To konkrétne pôsobením oslnenia, ktoré napomáhajú uzatvárať termostatické radiátorové ventily a znižovať prietoky vykurovacej vody. Dôsledkom toho je zmena hydraulických charakteristík a pracovných bodov.

Hlavnými dôvodmi prečo sa zaoberať tepelnými ziskami preto sú:

- znižovanie tepelných strát,
- riešenie vplyvov na nastavenie vykurovacej sústavy,
- odvádzanie tepelnej zátěže, čo spadá do kategórie klimatizácie.

[12]

Pri neskoršom plánovaní budov hrá veľmi dôležitú úlohu schopnosť miestnosti akumulovať tepelnú energiu. To umožňuje úplne sa vyhnúť používaniu chladiacich zariadení alebo výrazne znížiť ich veľkosť.

Pri všetkých relevantných pravidlách výpočtu tepelnej zátěže sa vychádza z teploty v miestnosti 22°C (dynamický stav). V prípade základnej tepelnej zátěže sa predpokladá 24 hodinová nepretržitá prevádzka vzduchotechnického zariadenia.

[10]

3.1 Riešenia tepelnej zát'aže

V letnom období okno prepúšťa svetlo a odráža tepelné žiarenie tak, aby nezvyšovalo tepelnú zát'až interiéru budovy. Táto úloha je riešiteľná buď to inteligentným systémom zasklenia napríklad technológiu elektrochromatického skla, tá využíva princíp zatmievania, ktoré sa používa napríklad pri spätnom zrkadle v moderných vozidlách. Možnosťou je tiež využitie vhodných žalúzií, tieniacich prvkov, roliet či slnolamov. V oblasti tienenia sa hľadajú vhodné algoritmy, ktoré zabezpečia optimálne denné osvetlenie a minimalizáciu tepelnej zát'aže. Samozrejme, zostáva tu však otázka vnútornej tepelnej zát'aže od osôb, osvetlenia a vybavenia miestností. Táto zát'až je minimalizovateľná len v oblasti osvetlenia a vybavenia, kedy využitie energeticky úsporných zdrojov a spotrebičov môže významne znížiť túto zložku.

[26]

3.2 Tepelné zisky

Tepelné zisky obsahujú všetko teplo vytvárané alebo prichádzajúce do klimatizovaného priestoru zo zdrojov tepla iných ako zo zámerne používaných k vykurovaniu, chladeniu alebo prípravu teplej vody. Spadajú sem všetky vnútorné tepelné zisky a solárne tepelné zisky. Teplo odnímané z budov je zahrnuté ako zisky zo záporným znamienkom.

K vnútorným tepelným ziskom patria:

- metabolické teplo od obyvateľov a teplo uvoľňované z prístrojov;
- teplo uvoľňované z osvetľovacích zariadení;
- teplo uvoľňované z rozvodov teplej a studenej vody a kanalizačných systémov alebo teplo do nich pohlcované;
- teplo uvoľňované zo systémov vykurovania, chladenie a vetranie, alebo teplo do nich pohlcované;
- teplo uvoľňované z procesov a produktov alebo teplo do nich pohlcované.

[14], [6, s. 48]

3.2.1 Celkové množstvo preneseného tepla

Pre každú zónu budovy a každý krok výpočtu sa celkové prenesené množstvo tepla Q_{ht} vypočíta ako:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (37)$$

kde pre každú zónu budovy a každý krok výpočtu

Q_{tr} je celkové množstvo preneseného tepla prestupom [J];

Q_{ve} celkové množstvo tepla preneseného vetraním [J].

Celkové tepelné zisky zóny budovy Q_{gn} za daný krok výpočtu sa vypočítajú ako:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (38)$$

kde pre každú zónu budovy a každý krok výpočtu:

Q_{int} je súčiniteľ tepelných ziskov za dané obdobie [J];

Q_{sol} súčiniteľ solárnych tepelných ziskov za dané obdobie [J].

[6, s. 31]

3.3 Tepelné straty

Tepelné straty sú dôležitým faktorom z hľadiska návrhu vykurovania, tvorí ich tá časť tepelnej energie, ktorá vplyvom tepelno technických parametrov konštrukcií prúdi smerom von z budovy pri dodržaní požadovaných teplotných podmienok vo vnútri budovy v zimnom období.

Celková návrhová strata vykurovaného priestoru Φ [W] sa vypočíta zo vzťahu:

$$\Phi = ((\Phi_T + \Phi_V) \cdot f_{\Delta\theta}) + \Phi_{RH} \quad (39)$$

kde Φ_T je tepelná strata prestupom tepla vykurovaného priestoru [W];

Φ_V tepelná strata vetraním vykurovaného priestoru [W];

$f_{\Delta\theta}$ teplotný korekčný činiteľ zohľadňujúci dodatočné tepelné straty miestnosti vykurovanej na vyššiu teplotu než majú susedné vykurované miestnosti. Teplota zhodná s okolitými miestnosťami $f_{\Delta\theta}=1$, teplota vyššia $f_{\Delta\theta}=1,6$ [W];

Φ_{RH} tepelný príkon na zakúrenie, ktorý je potrebný na vyrovnanie vplyvu prerušovaného vykurovania vo vykurovanom priestore [W].

[8, s. 29]

3.3.1 Tepelné straty prestupom

Tepelné straty prestupom sa odvíjajú od tepelno izolačných vlastností konštrukčných prvkov budovy, plochy stien a rozdielu teplôt vo vnútri a vonku.

$$\Phi_T = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot (\theta_{i,k} - \theta_e) \quad (40)$$

kde A_k je plocha stavebnej časti (k) [W];

U_{kc} korigovaný súčiniteľ prestupu tepla stavebnej konštrukcie (k), ktorý zohľadňuje lineárne tepelné mosty [W/(m²·K)];

U_k súčiniteľ prestupu tepla stavebnej časti (k) [W/(m²·K)];

ΔU korekčný súčiniteľ, prirážka na tepelné mosty [W/(m²·K)];

θ_i požadovaná teplota vnútorného vzduchu [°C];

θ_e výpočtová teplota vonkajšieho vzduchu [°C].

[8]

3.3.2 Tepelné straty vetraním

$$\Phi_V = \frac{V_{min,i}}{3600} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_{i,i} - \theta_e) \quad (41)$$

kde $V_{min,i}$ hygienicky najmenší požadovaný objemový tok vzduchu pre vykurovaný priestor (i) [m³/h];

ρ hustota vzduchu pri teplote θ_e [kg/m³];

c merná tepelná kapacita vzduchu [J/(kg·K)].

Tepelná strata vetraní je ovplyvnená minimálnym množstvom privádzaného vzduchu:

$$V_{min} = n_{min} \cdot V \quad (42)$$

kde n_{min} minimálna intenzita výmeny vonkajšieho vzduchu [h⁻¹];

V objem vykurovaného priestoru [m³];

[8, s. 30]

Tab. 6. Minimálna intenzita výmeny vzduchu n_{min} [8, s. 64]

Druh miestnosti	$n_{min}[\text{h}^{-1}]$
Obytná miestnosť	0,5
Kuchyňa alebo kúpeľňa s oknom	1,5
Kancelária	1,0
Zasadacia miestnosť, školská trieda	2,0

4 TEPELNE AKUMULAČNÉ PANEĽY

Ak sa plánuje energetický systém stavby môže sa kvôli potrebnej akumulácii tepla počítať buď s bežnými stavebnými konštrukciami, alebo sa naplánujú špeciálne, tzv. energetické konštrukcie s väčšou hmotnosťou. Ktorých následkom je zníženie nielen kolísania vnútornej teploty, ale aj zníženie spotreby energie. Obvykle sa jedná o vnútorné konštrukcie, ktoré na rozdiel od podláh nie sú zakryté kobercom a nábytkom. Zvýšenie akumuláčnej schopnosti interiéru je nutné najmä pri niektorých konštrukciách ako napríklad drevo-stavby.

[15]

V drevostavbách sa tento problém rieši pomocou akumuláčnych prvkov, ktoré sa zakomponujú do interiéru, ako stĺpy, prípadne stropy pri viacposchodových stavbách, schodiská či vystavané vnútorné priečky. Jedná sa o materiály s veľkou objemovou hmotnosťou.

Čo sa týka najviac používaného spôsobu pri výstavbe u nás čiže jednovrstvové ťažké murivo. Kde sú obvodové konštrukcie vymurované z termoizolačných tvaroviek, vyľahčeného betónu či pórobetónu a obojstranne omietnuté, výhodou toho je veľký tepelný odpor muriva a pritom pomerne dobrá akumuláčna schopnosť. Touto technológiou možno stavať i energeticky úsporné domy.

Pri viacvrstvových ťažkých murivách použitých na obvodové konštrukcie v zložení ťažkých stavebných prvkov ako betónové tvárnice, monolitický betón či tepelnoizolačné tehly alebo pórobetónové tvárnice a z vnútornej strany doplnené o tepelnoizolačnú vrstvu. Zostava takéhoto typu má tak aj pri menšej hrúbke dobré tepelnoizolačné a vlastnosti a vysokú akumuláciu.

Najhorším systémom ohľadom veľkosti tepelnej akumulácie sa javia ľahké montované stavby. Kde obvodové steny bývajú väčšinou tvorené zo skeletu z drevených trámov, medzi ktorými je hrubá vrstva tepelnej izolácie, z vonkajšej strany omietka a z vnútornej strany sadrokartón. Ich tepelnoizolačné vlastnosti sú síce dobré no však malá akumulácia takého konštrukčného riešenia si vyžaduje pružný spôsob vykurovania.

[27], [20], [28]

Samotná akumulčná konštrukcia by mala prijímať teplo len pasívne, no v niektorých prípadoch je výhodné napojiť ju priamo na zdroj tepla. Využíva sa spojenie napríklad so zimnou záhradou, slnečným kolektorom alebo s krbom s teplovodnou krbovou vložkou.

[27], [20], [28]

4.1 PCM materiály

Predstavujú novú generáciu tepelných materiálov vyvinutých k absorbovaniu tepla. Skladovanie latentného tepla môže byť dosiahnuté prostredníctvom pevnej látky, zmenou skupenstiev tuhá látka-kvapalina, tuhá látka-plyn a zmenou skupenstva kvapalina-plyn. Z toho je odvodený aj názov týchto materiálov, phase change materials PCM, materiály s fázovou premenou. Zo všetkých skupenských premien je ale pre PCM najvhodnejšia zmena tuhá látka-kvapalina. Premena kvapalina-plyn nie je praktická na použitie tepelného skladovania kvôli obrovským objemovým zmenám. Nevýhodou je aj vyššia teplota transformácie kvapalina-plyn, než premena pevnej látky na kvapalnú.

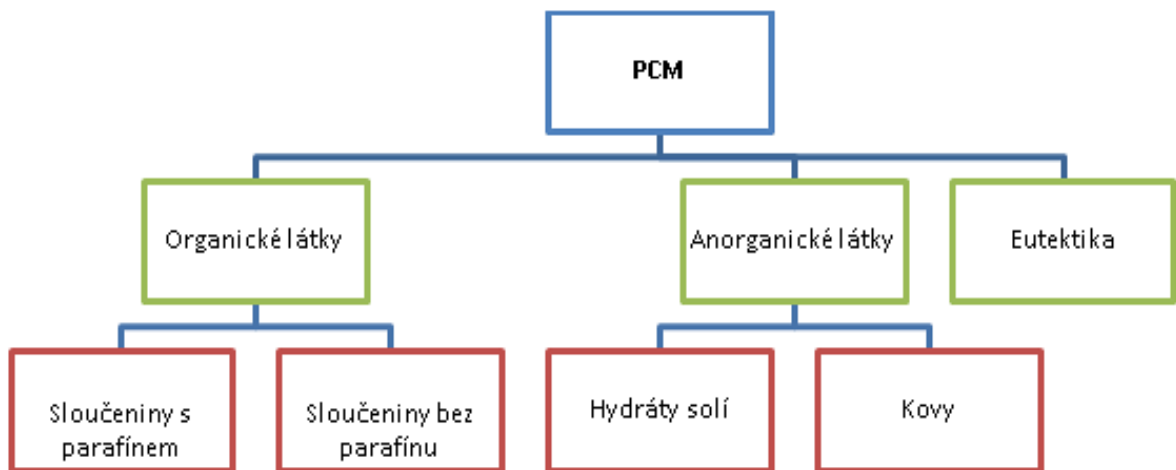
Zmeny skupenstva pevnej látky sú zvyčajne veľmi pomalé a majú pomerne nízku teplotu transformácie. Preto sa nakoniec ujalo využitie premeny pevná látka-kvapalina pre PCM materiály ako vhodné k akumulovaniu tepla. Ich teplota stúpa keď absorbujú teplo a na rozdiel od klasického skladovania tepla, keď PCM dosiahne teplotu, pri ktorej sa mení skupenstvo čo je jeho teplota topenia, tak absorbuje veľké množstvo tepla pri takmer konštantnej teplote. Kým sa všetok materiál neprevedie do kvapalnej fázy, dovedy PCM pokračuje a absorbuje teplo bez významného nárastu teploty. Pokiaľ teplota okolo kvapalného materiálu začne klesať, PCM stuhne a uvoľňuje v ňom uložené teplo.

Existuje veľký počet organických, anorganických a eutektických materiálov, ktoré môžu byť využité ako PCM z hľadiska teploty topenia a latentného tepla topenia. Niektoré PCM sú veľmi účinné a ukladajú 5 až 14 krát viac tepla na jednotku objemu ako bežné materiály používané pre akumulovanie tepla, ako je voda, murivá alebo horniny.

[21], [22]

4.1.1 Rozdelenie PCM

V kapitole 4 boli spomenuté látky z ktorých sa PCM vyrábajú, ich voľba súvisí s využívaním PCM a fyzikálnymi vlastnosťami.



Obr. 3. Rozdelenie PCM materiálov podľa chemického zloženia[21]

4.1.1.1 Organické látky

Táto skupinu pozostáva zo zlúčenín s parafínom a zlúčenín bez parafínov. Veľkou výhodou týchto zlúčenín je ich vlastná nukleácia. Vďaka tejto vlastnosti takmer nedochádza k problémom s prechladzovaním.

Zlúčeniny s parafínom, parafín je zmes pevných uhlíkovodíkov. Pre kryštalizáciu je nutné veľké množstvo latentného tepla. Vďaka tejto vlastnosti sú tieto zlúčeniny veľmi vhodné pre použitie ako PCM. Ďalšia pozitívna vlastnosť parafínov je ich chemická inertnosť a cenová dostupnosť. Tieto materiály majú pomerne dlhý cyklus kryštalizácie, topenia.

Zlúčeniny bez parafínov, je kategória obsahujúca veľké množstvo organických látok s rozdielnymi vlastnosťami. Vytvárajú tak, veľkú skupinu látok, ktoré sa veľmi hodia na použitie pri akumulácii tepla. Do tejto skupiny patria estery, vyššie masťné kyseliny, glykoly apod. Problematickou u nich je ich horľavosť, ktorá nedovoľuje ich styk s vyššími teplotami, plameňom a oxidačnými činidlami. Sú ekonomicky nevýhodné, príliš drahé. Cena je dvoj až trojnásobne vyššia ako pri technických parafínoch.

Ďalšie vlastnosťami organických PCM sú vysoké teplo topenia, horľavosť, vzniká teplotná vodivosť, nízka zápalná teplota, nestabilita pri vysokých teplotách a toxicita, ktorá sa mení pre každú látku.

4.1.1.2 *Anorganické látky*

Do skupiny anorganických látok patria hydráty solí a kovy.

Hydráty solí obsahujú vo svojej štruktúre viazané molekuly vody. Zahrievaním nastáva odštepovanie molekúl vody a rozpustením látok vo vode sa opäť pútajú molekuly vody. Pri pútaní molekúl vody tzv. hydratáciou sa u niektorých zlúčenín uvoľňuje tzv. hydratačné teplo. A proces topenia čo je v skutočnosti dehydratácia.

Čoho následkom je, že pri zmene skupenstva z pevného na kvapalné sa hydráty rozpadnú na anhydrát soli a vody alebo na hydrát nižšieho rádu a vody. To u väčšiny hydrátov vyvoláva zásadný problém. Nekongruentné topenie spôsobuje, že menšie množstvo molekúl vody už nie je schopné roztaviť všetky pevné látky. Tie vďaka väčšej hustote začnú prepadat' na dno, čím sa znižuje množstvo látok, ktoré mení skupenstvo a teda aj celkové absorbované či uvoľnené latentné teplo.

Ďalším nedostatkom hydrátov solí je nedostatok nukleačných činiteľov, preto je potrebné tieto faktory dodávať tak, aby nedochádzalo k prechladzovaniu tzv. Supercoolingu. Pre lepšiu funkciu hydrátov solí preto odporúča mechanické miešanie, zapuzdrenie do kapsúl, napojenie zásobníka na prívod vody alebo prídanie zahusťovadiel, ktoré zabránia usádzaniu solí na dne.

Skupina kovov PCM, je zatiaľ nevyužívaná. Ich najväčším problémom je objemová hmotnosť. Napríklad Gálium, prvok, ktorý sa topí pri 29.7 ° C má hustotu 5 910 kg/m³. Tieto látky disponujú vysokým latentným teplom na jednotku objemu, ale veľmi nízkou latentnou teplotou na kilogram.

[21]

4.1.1.3 *Eutektické materiály*

Eutektikum znamená, že tuhá zmes pozostáva z dvoch látok, ktorých kryštály sa vytvárajú pri tuhnutí spoločne. Čisté eutektikum vznikne zmiešaním dvoch zložiek v takom pomere aby teplota tuhnutia zmesi bola čo najnižšia. Ak je tento miešací pomer iný, tak vznikne zmes buď podeutektická, t.j. zo zmesi eutektika a kryštálov jednej zložky bude vytvorená tuhá fáza, alebo zmes nadeutektická, t.j. zo zmesi eutektika a kryštálov druhej zložky bude vytvorená tuhá fáza. Výhodou na eutektikách je, že sú chemicky stabilné.

Eutektické zmesi voda-soľ majú veľmi podobnú tepelnú vodivosť ako samotná voda. Objemová zmena počas topenia a kryštalizácie činí 5 až 10%. Nevýhodou pri použití takejto zmesi so soľou je predovšetkým korozívna vlastnosť.

[21], [28]

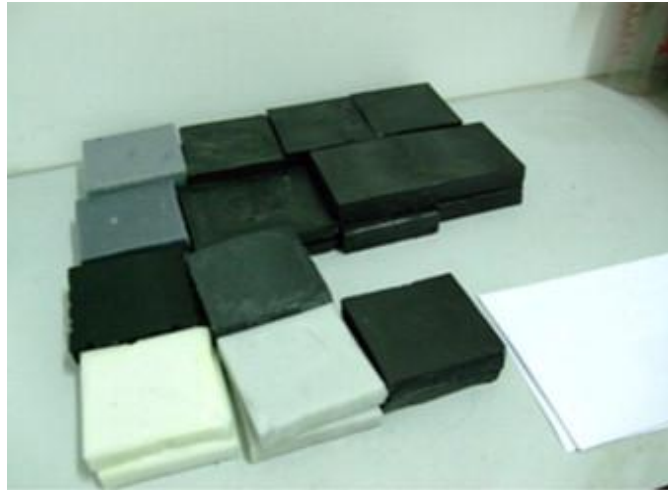
4.2 Aplikácia tepelne akumulčných panelov v budovách

Využitie PCM nepredstavuje žiadnu novinku, prvé použitie tejto technológie sa datuje už od 20. a 30. rokov 20. storočia. Napríklad už v roku 1932 bolo patentované prvé zariadenie pre ohrev teplej vody s pomocou akumulátora s PCM.

Vo všeobecnosti môžu byť PCM začlenené do budovy pre zvýšenie akumulácie v rôznych formách. Môže sa jednať o zapuzdrenie do stavebných prvkov. Obvyklá klasifikácia je podľa veľkosti zapuzdrenia na mikro a makro, prípadne je možné vykonať penetráciu PCM do stavebných materiálov alebo použiť stabilizované PCM. Najekonomickejšim riešením je priame primiešanie PCM do stavebného materiálu ako je napríklad sádra alebo betón a ďalšie, či už v práškovej forme alebo kvapalnej. Nevýhodou je, že môže dôjsť k nekompatibilite s niektorými stavebnými materiálmi. Druhou metódou aplikovania PCM je priame začlenenie či už v podobe nejakého panelu prípadne iného objektu.

Stabilizované PCM priťahujú záujem hlavne kvôli veľkej mernej tepelnej kapacite, vhodnej tepelnej vodivosti, schopnosť udržať stabilný tvar PCM materiálu pri zmene fáz. Majú dobrý výkon i po viacerých tepelných cykloch. Hmotnostný podiel parafínu pri tomto type môže byť až 80%.

[21], [28], [29]



Obr. 4. Příklad PCM ako homogenny material[28]

Ďalšie využívané varianty PCM v stavebníctve predstavujú napríklad kompozitné dosky na stenu, ktoré sa zo 60% skladajú z mikrokapsúl. Prípadne vo forme sklenených tehál plnených PCM, riešenie vhodné najmä pre zakomponovanie do interiéru v podobe vnútorných priečok.

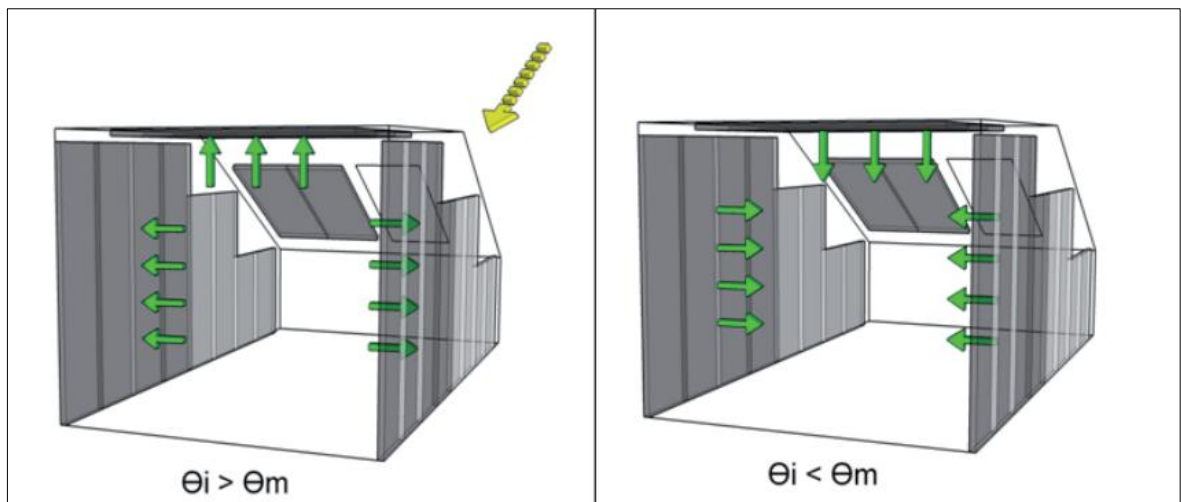


Obr. 5. Materiáli s PCM, vľavo- tehly s PCM, vstrebe – sklenené tehly s PCM, vpravo - kompozitná doska [28]

Tehly plnené PCM, ak je PCM umiestnené v ose tehly dokážu znížiť tepelný tok o 17 % svojou akumuláciou. Experimentálnymi výsledkami bolo odhalené, že tehla s PCM mala o 4,9 °C nižšiu teplotu ako tehla bez PCM pri vystavení priamemu slnečnému žiareniu.

Dôležitou súčasťou návrhu systému s PCM je zaistenie aktivácie tohto materiálu. Počas dňa, v dobe vysokej tepelnej záťaže interiéru, sa po dosiahnutí teploty topenia začne materiál s fázovou zmenou nabíjať. Aby sa proces mohol opakovať je potrebné akumulované teplo odviesť. Aktivácia prebieha v noci, kedy je teplota v interiéri pod teplotou kryštalizácie PCM.

[29]



Obr. 6. Schéma vybíjania a nabíjania PCM, pasívne chladenie – nabíjanie PCM na ľavo, vybíjanie PCM v noci na pravo[29]

5 SIMULAČNÉ PROSTREDIA

Simulačné programy nám svojimi schopnosťami umožňujú napodobňovať rôzne podmienky stavy či rôzne procesy, ktoré sú predmetom nášho vyšetovania a skúmania. Väčšina simulačných prostredí pracuje na báze matematického modelu a riešenia tohto modelu za pomoci využitia numerických metód riešenia diferenciálnych rovníc. Model sa zadefinováva v rámci prostriedkov použitého simulačného programu podľa používateľa. Takýto prevod do matematického modelu môže byť uskutočnený napríklad pomocou grafického rozhrania za použitia 3D modelov alebo cez rôzne príkazové riadky simulačného programu. Po dodefinovaní sa vykonáva riešenie tohto modelu.

Pre potreby diplomovej práce je v tejto kapitole popísaných zopár najznámejších simulačných prostredí vhodných preskúmanie akumulácie budov. Predpokladom toho je, že tieto dané programy obsahujú jadro CFD (Computational Fluid Dynamics), t.j. výpočet dynamiky tekutín, či už integrované priamo v programe alebo ako dodatočný modul. Ide o riešenie mechaniky tekutín, ktoré používa numerické metódy a algoritmy na riešenie a analyzovanie problémov, ktoré sa týkajú simulácie a interakcie kvapalín a plynov s povrchmi s definovanými okrajovými podmienkami.

[17]

5.1 Solidworks

Základnou potrebou pri využívaní SolidWorks softwaru je výkonný hardware, nakoľko aj v systémových požiadavkách tohto produktu sú priamo uvedené podporované rady grafických kariet. Dôležitým bodom je i veľkosť operačnej pamäte, keďže software je vytvorený tak aby využíval čo najviac pamäte.

Ako parametrický 3D modelársky software ponúka medzi širokým spektrom využitia výkonné objemové i plošné modelovanie. Pre komplexnejšie modelovanie využíva rôzne zostavy, zoskupenia či väzby či už medzi importovanými dielmi modelu alebo celými zostavami.

Integrovaný nástroj Flow Simulation slúži pre kompletnú simuláciu dynamiky tekutín a prenosu tepla. Uplatnenie tohto nástroja zastrešuje najrôznejšie oblasti, ako napríklad prúdenie plynov vo vzduchotechnike, kvapalín v potrubí, analýza chladenia v uzavretých priestoroch alebo externej aerodynamiky. Podporovaná je i analýza newtonských kvapalín.

Medzi najhlavnejšie funkcie je možné zaradiť analýzu prenosu tepla žiarením, vnútorného prúdenia, rotačnej štruktúry, prechodového prúdenia či prenosu tepla vedením a prúdením.

[30], [31]

5.2 Comsol Multiphysics

Comsol Multiphysics je rozvíjajúci sa program, ktorý bol vyvinutý a určený k modelovaniu, simulácií úloh pre vedecko-technické výpočty z rôznych oblastí ako napríklad strojnictva, elektrotechniky, chémie a širokého spektra fyzikálnych dejov. Úlohy rieši predovšetkým pomocou metódy konečných prvkov, následne toto riešenie z Comsol Multiphysics pomáha k lepšiemu pochopeniu množstva fyzikálnych problémov. S využitím špeciálneho nastavbového modulu je možné prepojiť Comsol Multiphysics s nástrojom Matlab.

Program pre uľahčenie poskytuje knižnicu preddefinovaných materiálov prípadne možnosť ľubovoľného definovania podľa vlastnej potreby. Pre rýchlosť a konkrétny výsledok simulácie je podstatná funkcia nachádzajúca sa v položke Mesh ovplyvňujúca generovanie siete modelu, ktorá má dopad na rozloženie častíc v danom modeli a tým presnosť riešenia fyzikálneho javu.

[17], [32]

Najpotrebnejší komponent pre riešenie tepelnej akumulácie riešenej v diplomovej práci je Heat Transfer Modul, ktorý pomáha so skúmaním účinkov vykurovania a chladenia v zariadeniach, komponentoch alebo postupoch. Modul dodáva simulačné nástroje pre štúdium mechanizmov prenosu tepla – vedenie, konvekcia a radiácia – často v spolupráci s ďalšími fyzikami ako sú stavebné mechaniky, dynamiky tekutín, elektromagnetizmu a chemické reakcie. V tomto kontexte Heat Transfer Modul slúži ako platforma pre všetky možné odvetvia a aplikácie, kde tvorba, spotreba, alebo prenos tepla či energie je významná a prispieva k štúdiu a rozboru procesu. Heat Transfer Module je zásobený i o integrovanú materiálovú databázu obsahujúcu materiálové vlastnosti množstva bežných kvapalín a plynov, ktoré zahŕňajú termodynamické dáta potrebné pre presnú analýzu. To zahŕňa tepelné vodivosti, tepelné kapacity a hustoty. Knižnica materiálov je tiež zdrojom pre vlastnosti materiálov, s údajmi či algebraickými vzťahmi s viac ako 2500 pevných materiálov. Z čoho ich vlastnosti, ako pružnosť, elektrická vodivosť, sú závislé na teplote. Pre riešenie diplomovej práce sa jednalo hlavne o zmeny parametrov ako tepelná vodivosť,

tepelná kapacita či hustota. Heat Transfer Module tiež podporuje import termodynamických a ďalších významných dát z programov Excel a MATLAB.

[32]

5.3 ESP-r

Jedná sa o nekomerčný program umožňujúci dôkladné posúdenie faktorov, ktoré ovplyvňujú energetickú a environmentálnu náročnosť budov. Program bol pôvodne vytvorený pre operačný systém UNIX, no dnes už je podporovaný i mnohými ďalšími ako Linux, Solaris, OSX či Windows.

ESP-r sa snaží simulovať skutočný svet, tak presne ako je len možné, na úrovni, ktorá je v súlade so súčasnou najlepšou praxou. A to tak, že rieši všetky aspekty naraz, pomocou tzv. Project Managera PM, ten automaticky spúšťa a komplexne rieši vzťahy medzi materiálmi budov, prúdením vzduchu, zariadenia a ďalšími faktormi. V tomto Project Manageri sú usporiadané podporné databázy, simulátor, rôzne nástroje na hodnotenia výkonnosti, vizualizácie a generovanie zostáv.

ESP-r ponúka možnosť načítania CAD geometrie v ľubovoľnej zložitosti. Modely je možné exportovať do iných hodnotiacich nástrojov, ako EnergyPlus, Radiance (vizuálna simulácia) alebo VRML (Virtual Reality Modeling Language).

Výstupom programu tak je interaktívna analýza výsledkov, ktorá je použiteľná pre mnoho rôznych zhodnotení výsledkov simulácie. K tomu je k dispozícii integrovaný nástroj Performance View, ktorý zahŕňa výkon v rozsahu relevantných kritérií. Rad analýz je v podstate neobmedzený a dáta je možné exportovať do iných analytických nástrojov a grafov.

Okrem najmodernejších štandardných simulačných funkcií, má ESP-r silnú schopnosť simulovať rad inovatívnych či popredných technológií, vrátane využitia denného svetla, prirodzeného vetrania, distribúcie znečisťujúcich látok, kombinovanú výrobu tepla či elektrickej energie pomocou fotovoltaiiky, adaptívne 3D prechody CFD a multi-Gridding (2D a 3D vedenie).

[33]

5.4 TRNSYS

Veľmi flexibilný softvérový nástroj slúžiaci na simuláciu výkonu prechodových javov. Jedná sa o otvorený program modulárnej konštrukcie s prístupným zdrojovým kódom.

dom. Aj keď najčastejšie sa ním rieši energetická náročnosť budov. TRNSYS je však rovnako dobre použiteľný pre modelovanie. Jadro programu tvorí robustný algebrický a diferenciálny riešiteľ rovníc, ktorý je schopný čítať a spracovať textový vstupný súbor. Princípom výpočtu programu je, že chovanie systému rieši ako celku a určuje závislosti a vplyvy medzi jeho jednotlivými prvkami a počasím.

Výhodou TRNSYSu je tiež aj to, že sa jedná transparentný nástroj. Užívatelia môžu sledovať akúkoľvek hodnotu premennej počas toho ako simulácia postupuje, akejkol'vek teploty, prietoku, prenosu tepla atď. Súčasťou programu sú rôzne komponenty ako TRN-Buil, grafický vstup programu pre tvorbu viaczónovej budovy. TRNEdit slúži ako editor pre vstupné súbory TRNSYS. Pomocou TRNSYS3D sa dá spracovávať geometria a tiene v budove, komponent je dokonca možné použiť i v kombinácii s Google Sketch-up.

Vďaka funkcii TRNSED môže užívateľ TRNSYS vytvárať vlastné grafické rozhranie, pomocou ktorého môže ovplyvňovať systémové parametre, beh simulácie a výstupov procesu. Samotný výstup simulácie programu TRNSYS umožňuje používateľovi veľkú flexibilitu pri spracovaní, tlači, a podávaní správ o všetkých premenných použitých komponentov.

[34], [35]

5.5 Open FOAM

Software, pre operačné systémy Linux, predstavujúci slobodný open source software ponúkajúci CFD, v čom je zahrnutá široká škála funkcií pre riešenia v oblasti zložitého prúdenia tekutín počnúc chemickými reakciami, turbulencie či prenosu tepla v pevných látkach. Tým že sa jedná o otvorený software, OpenFOAM ponúka užívateľom úplnú slobodu prispôbiť a rozšíriť existujúce funkcie o svoje, a to buď sami, alebo prostredníctvom podpory ESI-OpenCFD.

Používatelia môžu vytvárať vlastné objekty, s okrajovými podmienkami alebo modely turbulencií, ktoré budú pracovať na základe existujúceho riešiteľa. Hlavnými výhodami OpenFOAM sú predovšetkým žiadne licenčné náklady, široká škála aplikácií a modelov pripravených na použitie či prehľadná syntax parciálnych diferenciálnych rovníc. Naproti tomu veľkými nedostatkami sú nedostatočné informácie v príručkách a slabá dokumentácia pre nových začiatočných užívateľov.

[23]

5.6 ANSYS Fluent

ANSYS Fluent softvér obsahuje široké možnosti potrebné pre modelovanie, dynamiku prúdenia, prenosu tepla, reakcie zariadení priich priemyselnej aplikácii, prúdenie tekutín, spaľovanie v peciach, tok krvi, akustika a polovodičová výroba.

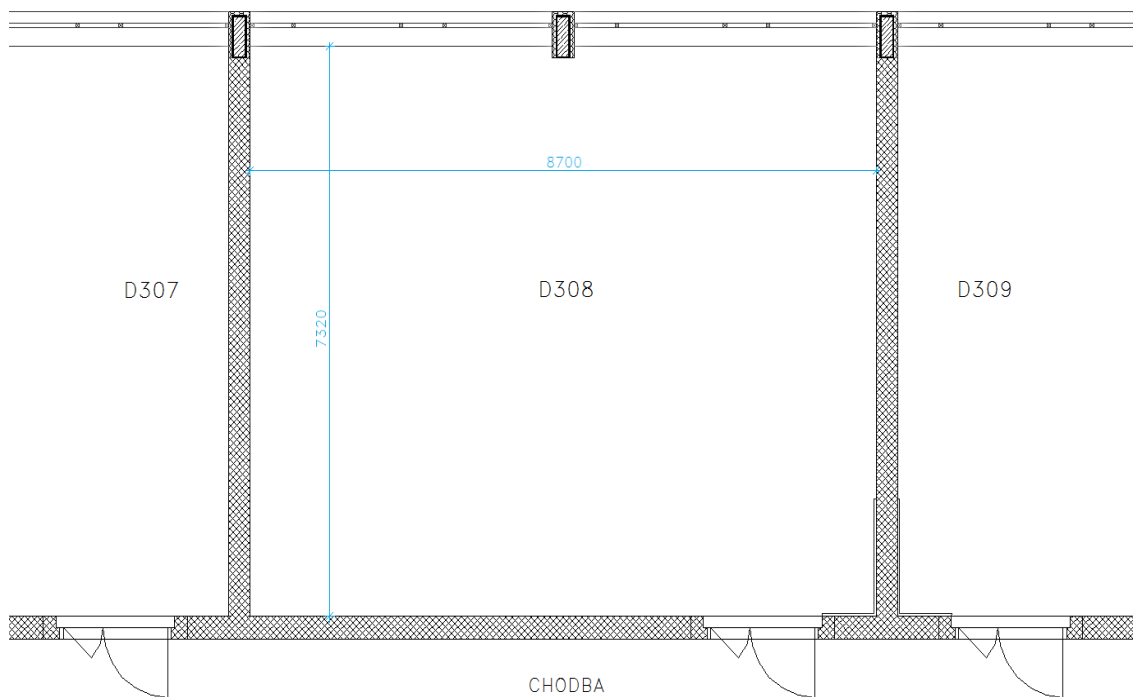
Technológia riešiteľa úloh poskytuje rýchle a presné výsledky CFD, flexibilné pohybovanie či deformovanie mriežky modelu, a rozširiteľné moduly. Výpočty sú zabezpečené algoritmickou podobou viacerých vzťahov, napríklad pre riešenie prenosu tepla sa jedná o rovnicu prenosu energie, zachovania hmotnosti, hybnosti, energie či rovnice pre prenos chemickej prímеси. Software dovoľuje aplikovať i riešenie metódou konečných objemov, ktoré sa vykonáva adaptívne multigrídnou metódou. Výhodou je aj podpora detailne nastaviť modelu teplotné podmienky, tepelný tok, teplotu, prúdenie, žiarenie, kombináciu prúdenia a radiácie. Zohľadniť sa dá aj vplyv šírenia tepla vedením, prúdením a radiáciou. Nemenej dôležitým je definovanie tepelnej kapacity a vodivosti v závislosti na teplote.

Rozhranie tohto softwaru však umožňuje možnosti ako interaktívne nastavení a výpočtového riešiteľa, dodatočné spracovávanie či pozastavenie výpočtu a preskúmanie výsledkov pomocou integrovaných nástrojov. Kombinácia s ANSYS Workbench dodáva ANSYS Fluentu obojsmerné prepojenie do všetkých hlavných CAD systémov. Vytvárať a editovať tieto CAD súbory umožňuje ANSYS DesignModeler. ANSYS Fluent platforma tiež podporuje zdieľanie údajov a výsledkov medzi aplikáciami a to pomocou drag-and-drop transfer. Napríklad skombinovanie prúdenia kvapalín so simuláciou stavebnej mechaniky.

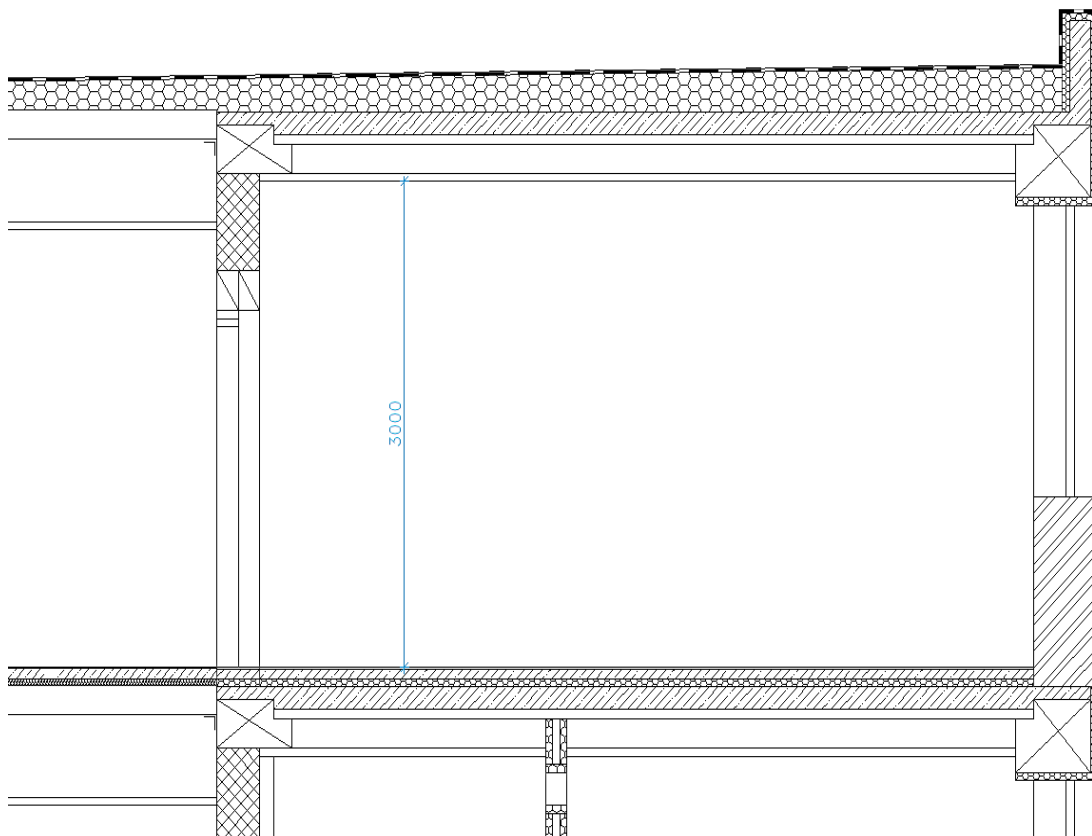
II. PRAKTICKÁ ČASŤ

6 OPIS OBJEKTU

Miestnosť použitá v diplomovej práci pre meranie teplôt a spotreby elektrickej energie na vykurovanie je momentálne v nevyužívanom stave. Táto učebňa by neskôr mala slúžiť ako ďalšie laboratórium pre štúdium automatizácie inteligentných systémov v budovách. Sledovaná miestnosť, konkrétne označenie 54/308, sa nachádza v budove UTB FAI v Zlíne v trojpodlažnom južnom bloku U54, v najvrchnejšom podlaží tejto časti budovy. Južnú stranu miestnosti zväčša tvorí presklená plocha, keďže 15 m^2 z 26 m^2 plochy tvoria okná. Ostatné steny a podlaha sú susediace s ďalšími učebňami s obdobnými rozmermi, stým že severná stena je kontaktná s chodbou. Keďže ide o najvrchnejšiu miestnosť, strop je súčasťou izolovanej plochej strechy.



Obr. 7. Pôdorys miestnosti D308



Obr. 8. Rez miestnosti D308

Detailnejšie rozmery budovy UTB-FAI obsahuje výkresová dokumentácia v Prílohe I a Prílohe II. Na základe týchto plánov boli určené aj rozmery vnútorných plôch objektu.

Tab. 7. Vnútorné plochy v miestnosti 54/308

Názov plôch	Plocha [m ²]
Stena kontaktná s vonkajškom	10,08
Stĺp kontaktný s vonkajškom	0,9
Strop	63,68
Okná	15,12
Stena vnútorná	70,02
Podlaha	63,38

7 MERANIE PARAMETROV MIESTNOSTI

Meranie miestnosti prebiehalo približne po dobu 2 týždňov so začiatkom Marca, kedy boli ešte pomerne nízke vonkajšie teploty. Pre záznam merania sa využil modul Almemo 8690-9A, ktorý monitoroval údaje v polminutovom intervale. Namerané hodnoty boli automaticky zaznamenávané a ukladané pomocou tohto modulu.

Umiestnenie tejto jednotky bolo do stredu miestnosti z praktického dôvodu dosahu káblov z meracích prvkov. Na vybrané steny, podlahu a strop boli aplikované kontaktné povrchové teplomery, ktoré sa umiestnili na povrch do stredu meranej plochy. Taktiež sa do stredu miestnosti umiestnil statív, ktorého výška pre uchytenie zariadení sa nastavil do výšky 1,6 m s guľovým teplomerom, anemometrom, snímačom vlhkosti a luxmetrom.



Obr. 9. Umiestnenie statívu s meracími sondami v strede miestnosti

Pre dosiahnutie čo najkorektnějších záznamov, sa okamžite po spustení monitorovania vykonal overovací test funkčnosti vybraných kontaktných meracích jednotiek. Ten spočíval v použití tabuľkových hodnôt emisívnych materiálov, na ktoré boli pripevnené dané teplotné snímače a následné skontrolovanie a odčítanie týchto teplôt pomocou bezkontaktného infrapyrometru. V úvahu sa bralo viacero hodnôt, ktoré sa spriemerovali a ihneď porovnali s teplotou, ktorú zaznamenal kontrolovaný snímač v daný čas merania, porovnávané hodnoty sú uvedené v tabuľke (Tab. 8). Kvôli minimalizácii vplyvov slnečnej radiácie sa zvolilo adekvátne nastavenie horizontálneho natočenia slnolamov umiestnených z vonkajšej strany za zasklenými plochami. Po týchto krokoch sa do miestnosti vložili dva

elektrické ohrievače s výkonom 2kW a 3kW. Pred ohrievače sa zapojil elektromer a termostat, kvôli čo najpresnejšiemu odčítaniu spotreby a temperovaniu miestnosti. Termostatmi sa v miestnosti udržiavala vnútorná teplota približne 21°C. Aby sa minimalizoval vplyv prúdenia vzduchu z chodby, tak sa utesnili vchodové dvere. Samozrejme prívod teplej vody do radiátorov sa odstavil aby nenastalo ovplyvňovanie merania a zníženie spotreby výkonu potrebného na vykurovanie miestnosti.

Tab. 8. Kontrolné porovnanie správnosti záznamov teplôt z Almemo 8690-9A s hodnotami získanými ručným infrapyrometrom AMIR 7814

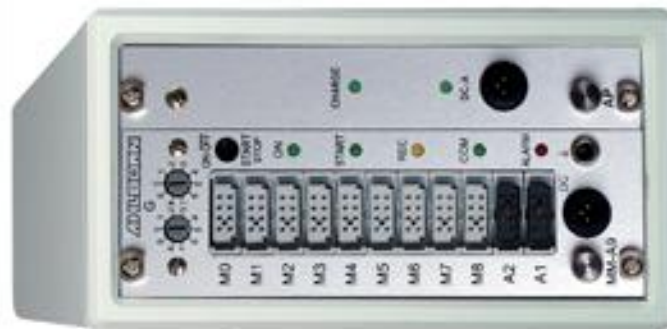
Konštrukcia	Všeobecný materiál kontaktný s vnútorným prostredím	Tabuľková emisivita [-]	Povrchové teploty namerané Ručným infrapyrometrom AMIR 7814					Priemerná teplota [°C]	Teplota podľa záznamu z modulu ALMEMO
			θ_1 [°C]	θ_2 [°C]	θ_3 [°C]	θ_4 [°C]			
Stena susediaca s miestnosťou 54/307	omietka	0,86	19,9	19,9	19,8	19,9	19,88	19,8	
Stena susediaca s miestnosťou 54/309	omietka	0,86	19,6	19,8	19,7	19,6	19,68	19,8	
Stena susediaca s chodbou	omietka	0,86	19,3	19,4	19,4	19,4	19,38	19,3	
Strop	sadrokartón	0,90	19,2	19,2	19,2	19,1	19,18	19,2	
Podlaha	linoleum	0,92	19,4	19,4	19,4	19,4	19,40	19,4	

7.1.1 Meracie zariadenia

Pre zaznamenávanie dát merania bol zvolený univerzálny prístroj Almemo 8690-9A od firmy AHLBORN zabezpečujúci meranie fyzikálnych, elektrických a chemických veličín. Do ústredne sa dá pripojiť pomocou ALMEMO konektorov 9 vstupov a 2 výstupy. K ukladaniu dát je zariadeniu k dispozícii integrovaná pamäť s kapacitou uloženia 100 000

nameraných dát, prípadne možnosť rozšíriť kapacitu pomocou pamäťového konektoru s SD-kartou.

[37]



Obr. 10. Zaznamenávajúci modul ALMEMO 8690-9A[37]



Obr. 11. Snímač intenzity osvetlenia FLA 603 VL2[38]

Snímač intenzity osvetlenia FLA 603 VL2 je určený pre meranie intenzity osvetlenia v miestnosti v rozsahu 0,05 až 960 luxov s minimálnym rozlíšením 0,01 lux. Spadá do triedy presnosti B s chybou nie väčšou ako 5%. Prevádzková teplota vhodná pre meranie je 0 až 60°C pričom zariadenie je možné skladovať v teplotnom rozmedzí -10 až 80°C. Rozmery snímača priemer 37 mm a výška 20 mm.

[38]



Obr. 12. Snímač vlhkosti FH A646 M6[41]

Snímač vlhkosti FH A646 M6 merací rozsah 5 až 98% vlhkost'. Nejmenší rozlišení 0,1%. Stavany pre stacionárne merania v teplotách -20 až 60°C. Snímanie zabezpečuje kapacitný senzor umiestnený vo vnútri rúrky senzoru vyrobenej z plastu. Udávaná presnosť $\pm 2\%$ relatívnej vlhkosti je stanovená pri menovitej teplote $25 \pm 3^\circ\text{C}$. Udávaná doba odozvy činí približne 10 sekúnd.

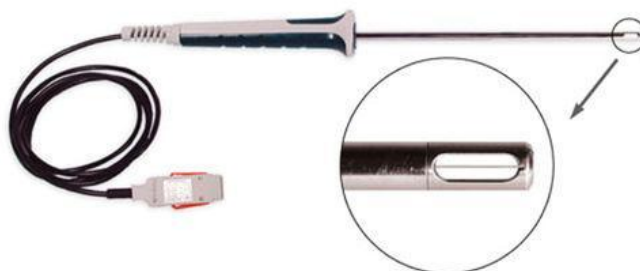
[41]



Obr. 13. Gul'ový teplomer ZA 9030 FS2[39]

Gul'ový teplomer ZA 9030 FS2 typu Pt 100, udáva teplotu v $^\circ\text{C}$ pri rozlíšení $0,01^\circ\text{C}$ s možným rozsahom -200 až 400°C a presnosť linearizácie $\pm 0,05^\circ\text{C}$. Vonkajší plášť teplomeru tvorí med' v matnom čiernom prevedení v tvare gule s možnosťou zavesenia na odpružený háčik.

[39]



Obr. 14. Thermoanemometer FVA935TH4[40]

Thermoanemometer FVA935TH4, umožňuje meranie rýchlosti prúdenia vzduchu, teploty vzduchu pri meraní a je schopný získavať hodnoty prúdenia s vysokou mierou presnosti aj pri rýchlostiach menších ako 0,5m/s, nakoľko jeho merací rozsah je 0,08 až 2m/s pri rozlíšení 0,001m/s. Teplotný rozsah merania -20 až 70°C s rozlíšením 0,1°C.

[40]



Obr. 15. Teplotná sonda ZA 9020 FS[41]

Teplotná sonda ZA 9020 FS k meraniu teploty, skladajúci sa z termočlánku (NiCr-Ni) s pracovným rozsahom – 200°C až 1370°C s rozlíšením 0,1°C.

[41]



Obr. 16. Infrapyrometr Amir 7814[37]

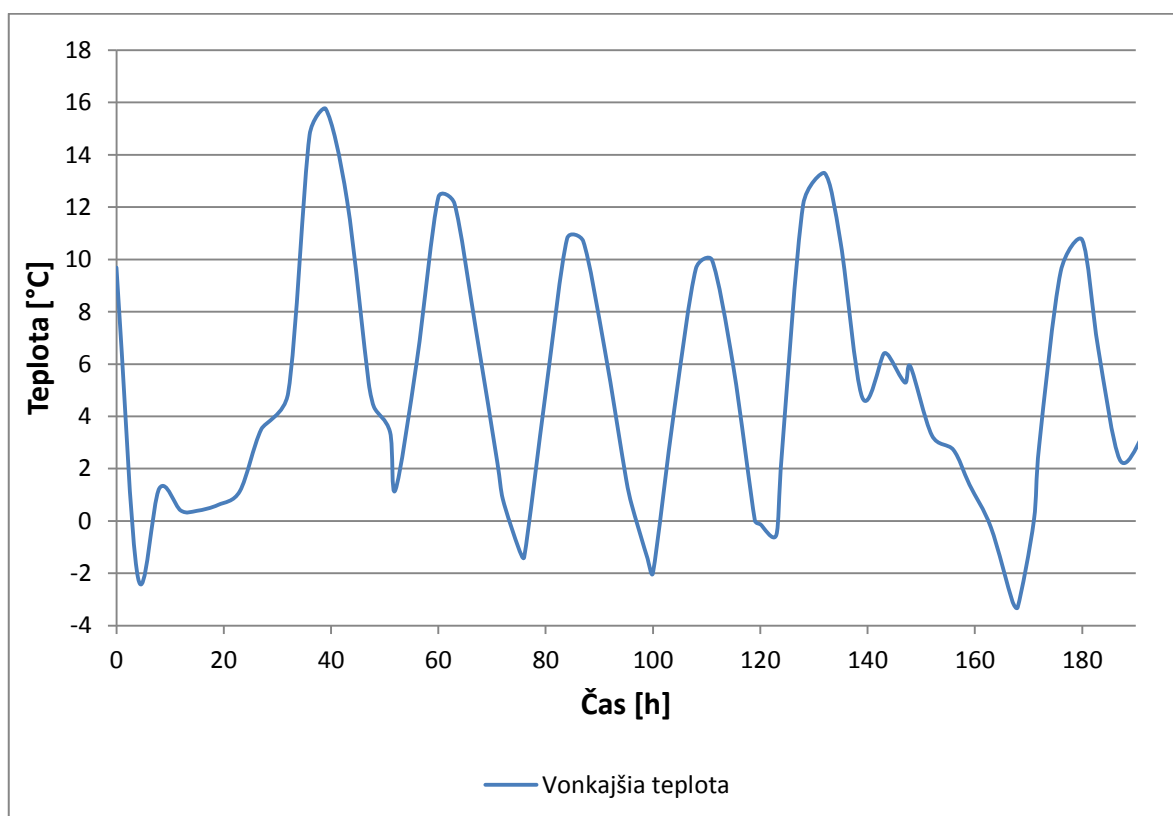
Ručný bezkontaktný infrapyrometer Amir 7814 s 3-bodovým laserovým zameriavačom, možnosťou voľby emisívít materiálov zadaním alebo výberom z preddefinovaných. Vysoké optické rozlíšenie 60:1 pre bezpečné meranie z veľkej vzdialenosti, merací rozsah -30 až 900°C s rozlíšením 0,1°C.

[37]

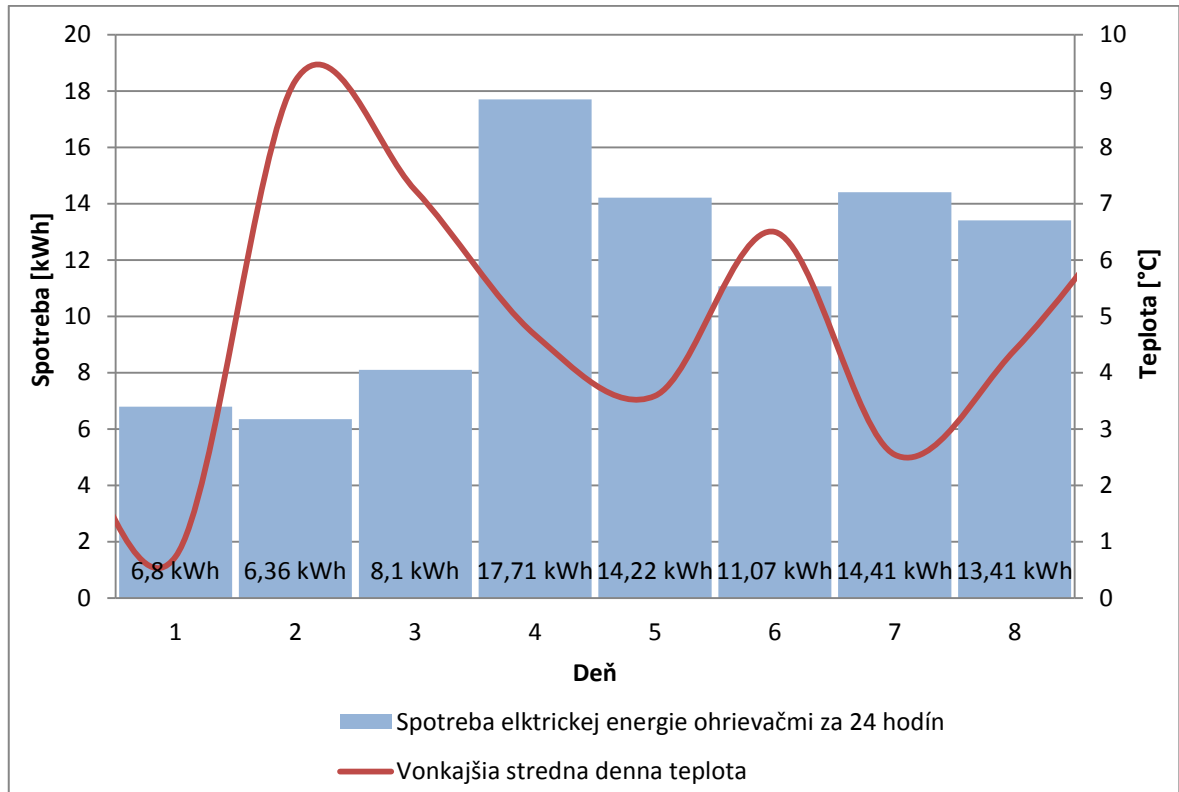
7.1.2 Zhromaždenie výsledkov

Skonvertovanie záznamového súboru ALMEMO.001 za použitia softwaru ALMEMO Control, ktorý tieto dáta previedol na tabuľkový záznam Excelu, umožnilo merania z vnútorného prostredia spracovať. Celkový záznam hodnôt modulu ALMEMO 8690-9A činil približne 1,2 milióna riadkov záznamov o 16-tich parametroch, keďže niektoré snímače merali viacero faktorov. Pre získanie hodnôt vonkajšieho prostredia sa využila možnosť exportovať záznamy o počasí z webového rozhrania Meteorologickej stanice umiestnenej na streche budovy UTB FAI v Zlíne.

7.1.3 Analýza výsledkov merania



Obr. 17. Priebeh vonkajšej teploty ovzdušia, získanej na základe meteorologickej stanice umiestnenej na streche budovy UTB-FAI Zlín, ktorá bola použitá ako inicializačná hodnota vonkajšej teploty v simulácii



Obr. 18. Súčet spotrieb elektrickej energie spotrebovanej za 24 hodín 2kW a 3kW ohrievačom dohromady, vonkajšia stredná denná teplota vzduchu pre obdobie priebehu merania spotrieb

Namerané spotreby v obrázku (Obr. 18), zväčša poukazujú na náchylnosť miestnosti na vonkajšiu teplotu. Kde sa prejavil vplyv vonkajšieho prostredia na chladnutie alebo ohrev stavebnej konštrukcie v podobe poklesu alebo zvýšenia spotreby elektrickej energie.

8 ANALÝZA MIESTNOSTI

Kapitola analýza miestnosti je zameraná na posúdenie stavebných konštrukcii miestnosti a stým súvisiace súčinitele prestupu tepla či stanovenie tepelných strát miestnosti. Ako ďalšie body sa rieši časová konštanta, konštantu α , akumulčná doba.

8.1 Okrajové podmienky pre miestnosť

Hodnoty okrajových podmienok uvedených v tabuľke (Tab. 9) vychádzajú zo softwaru Stavební fyzika modulu Ztraty 2014. Jedná sa o hodnoty návrhovej vonkajšej teploty, dĺžke vykurovacieho obdobia, priemerných mesačných hodnotách teplôt a relatívnych vlhkostiach, zodpovedajúce parametrom z noriem ČSN 730540-3 a ČSN EN ISO 13790. Hodnoty sú volené pre mesto Zlín a výpočtovú vonkajšiu teplotu -12°C .

Tab. 9. Okrajové podmienky pre miestnosť D308

Názov	Označenie a jednotka	Hodnota
Uvažovaná nadmorská výška	h [m.n.m]	234
Obstavaný priestor vykurovaných častí budovy	V [m ³]	262,3
Dĺžka vykurovacieho obdobia	d [den]	226
Návrhová (výpočtová) vonkajšia teplota	θ_e [$^{\circ}\text{C}$]	-12
Priemerná ročná teplota vo vykurovacom období	$\theta_{e,m}$ [$^{\circ}\text{C}$]	4

8.2 Skladba stavebných konštrukcií

Pre ďalšie výpočty a posúdenia v oblasti tepelnej akumulácie budovy alebo aj časovej konštanty či akumulčnej doby sú dôležitými ovplyvňujúcimi faktormi súčiniteľ prestupu tepla a vybrané fyzikálne parametre vrstiev danej konštrukcie. Či už sa jedná o vstupné dáta použité vo výpočte, hodnoty vrstiev, stanovenie súčiniteľov prestupu tepla konštrukcie prípadne tepelný odpor konštrukcie, tak tieto údaje vrátane ďalších potrebných faktorov boli získané z integrovaného katalógu modulu Teplo 2014 programu Stavební fyzika a taktiež vňom aj vyhodnotené. Ten podľa adekvátnych noriem komplexne zhodnotil skladbu stavebnej konštrukcie. Skladby jednotlivých konštrukcií sú uvedené v tabuľkách (Tab. 10) až (Tab. 14). Materiály v nich sú uvádzané v smere z interiéru do exteriéru.

Tab. 10. skladba obvodovej steny

Materiál	d [m]	λ [W/(m·K)]	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m ³]
Baunit MPI 25	0,005	0,47	790	1290
Porotherm 44 P+D na maltu obyčajnú	0,44	0,174	960	800
Baunit vonkajšia štukatárska omietka	0,005	0,47	790	1800

Tepelný odpor a súčiniteľ prestupu tepla:

- Súčiniteľ prestupu tepla konštrukcie U : 0,368 W/(m²·K)
- Tepelný odpor konštrukcie R : 2,550 (m²·K)/W

Tab. 11. skladba stĺpu kontaktného s vonkajškom

Materiál	d [m]	λ [W/(m·K)]	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m ³]
Baunit MPI 25	0,005	0,47	790	1290
Železobetón 2	0,55	1,58	1020	2400
Penový polystyrén 5	0,05	0,033	1270	35
Baunit vonkajšia štukatárska omietka	0,005	0,47	790	1800

Tepelný odpor a súčiniteľ prestupu tepla:

- Súčiniteľ prestupu tepla konštrukcie U : 0,487 W/(m²·K)
- Tepelný odpor konštrukcie R : 1,885 (m²·K)/W

Tab. 12. skladba stropu-strechy

Materiál	d [m]	λ [W/(m·K)]	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m ³]
Sadrokartón	0,0095	0,22	1060	750
Uzavretá vzduchová dutina	0,18	0,588	1010	1,2
Železobetón 2	0,2	1,58	1020	2400
BASF EPS 100	0,2895	0,039	1250	19
Sikaplan G	0,0015	0,15	960	1250

Tepelný odpor a súčiniteľ prestupu tepla:

- Súčiniteľ prestupu tepla konštrukcie U : $0,124\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- Tepelný odpor konštrukcie R : $7,909(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$

Tab. 13. skladba vnútorných stien

Materiál	d [m]	λ [W/(m·K)]	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m³]
Baunit MPI 25	0,005	0,47	790	1290
Porotherm 30 P+D tr.900	0,30	0,25	960	900
Baunit MPI 25	0,005	0,47	790	1290

Tepelný odpor a súčiniteľ prestupu tepla:

- Súčiniteľ prestupu tepla konštrukcie U : $0,675\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- Tepelný odpor konštrukcie R : $1,221(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$

Tab. 14. skladba podlahy

Materiál	d [m]	λ [W/(m·K)]	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m³]
PVC tuhý	0,003	0,17	900	1390
Betón hutný 1	0,06	1,23	1020	2100
BASF EPS 100	0,06	0,039	1250	19
Železobetón 2	0,2	1,58	1020	2400
Uzavretá vzduchová dutina	0,18	0,588	1010	1,2
Sadrokartón	0,0095	0,22	1060	750

Tepelný odpor a súčiniteľ prestupu tepla:

- Súčiniteľ prestupu tepla konštrukcie U : $0,413\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- Tepelný odpor konštrukcie R : $2,081(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$

8.2.1 Súčiniteľ prestupu tepla

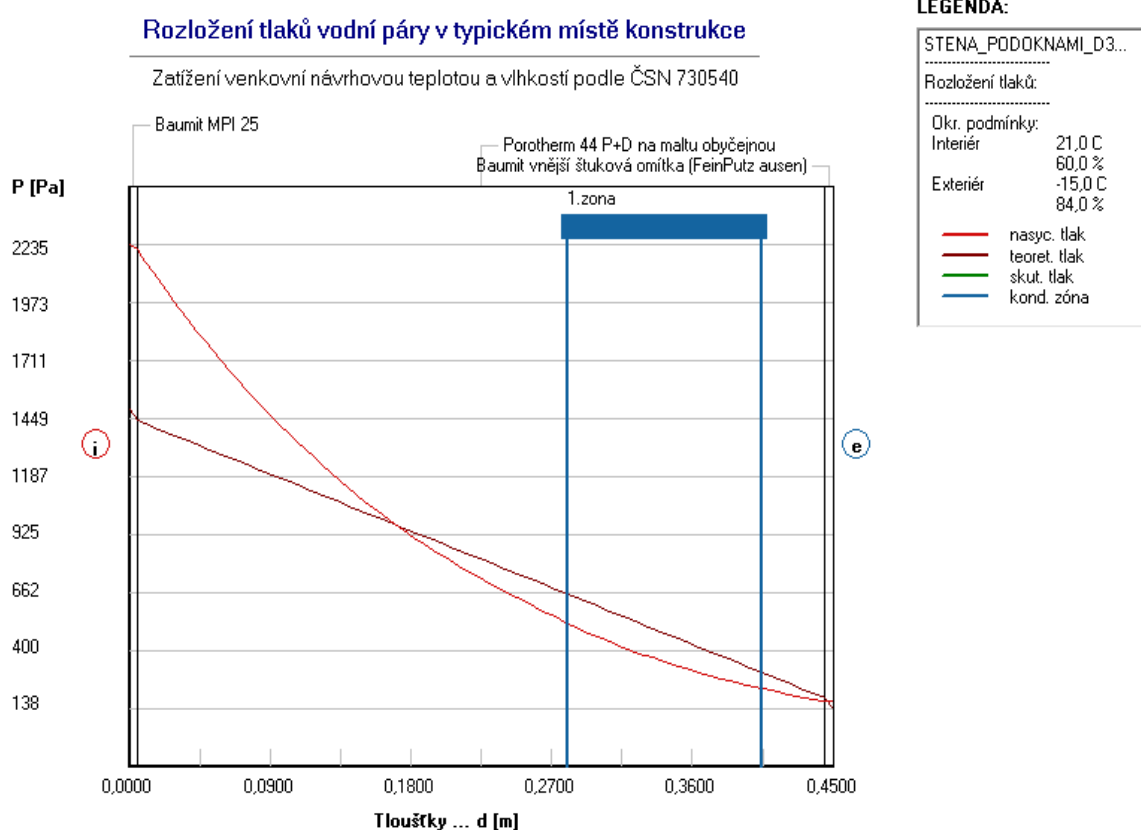
Tab. 15. Súčinitele prestupu tepla konštrukcie

Konštrukcia	Požadované hodnoty $U_{N,20}$ [W/(m ² ·K)]	Vypočítané hodnoty U [W/(m ² ·K)]
Stena obvodová	0,3	0,368
Strecha plochá a šikmá so sklonom do a vrátane 45°	0,24	0,124
Stĺp kontaktný s vonkajškom	0,3	0,487
Stena vnútorná	0,75	0,675
Podlaha	2,2	0,413

Výkresová dokumentácia budovy Fakulty aplikovanej informatiky v Zlíne je z obdobia Máj 2004, v čase projektovania stavba spĺňala vtedajšie normové požiadavky pre súčinitele prestupu tepla, keďže bola skolaudovaná. Následným vstupom ČR do EU a zmenami v norme ČSN 730540-2 sa sprísňovali podmienky čo je príčinou, že niektoré konštrukcie nespĺňajú požadované hodnoty v dnes využívannej norme ČSN 730540-2 z roku 2011.

8.2.2 Kondenzácia vodných par

Súčasťou výstupu programu Stavební fyzika mulu Teplo je aj analýza kondenzácie vodných par. Výstupom je graf znázorňujúci jednotlivé tlaky v stavebnej konštrukcii. Vo všeobecnosti má platiť podmienka, množstvo vody z kondenzácie vodných pár vo vnútri konštrukcie je nižšie ako celkové množstvo vypariteľnej vody z kondenzácie vodných pár vo vnútri konštrukcie v rovnakom časovom úseku jedného roka.



Obr. 19. Rozloženie tlakov vodnej pary v typickom mieste konštrukcie

Obrázok (Obr. 19) dokazuje že o kondenzácia prebieha vo vnútri muriva, čo nepredstavuje komplikácie pre vonkajšiu či vnútornú omietku ohľadne vydúvania a jej následného odpaďovania.

Dôležitým parametrom analýzy je množstvo skondenzovanej vodnej pary za rok $0,0450 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ a množstvo vypariteľnej vodnej pary za rok $3,6830 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Pričom ku kondenzácii dochádza pri vonkajšej teplote menšej ako $-5 \text{ }^\circ\text{C}$. Je tak splnená podmienka a tým pádom v konštrukcii nedochádza počas modelového roku ku kondenzovaniu vodnej pary.

Ročná bilancia skondenzovanej a vyparenej vodnej pary:

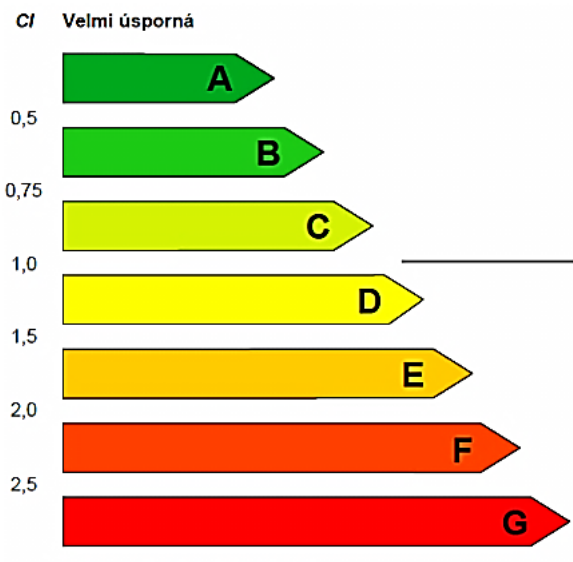
Množstvo skondenzované vodnej pary $M_{c,a}$: $0,0450 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$

Množstvo vypariteľnej vodnej pary $M_{ev,a}$: $3,6830 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$

Ku kondenzácii dochádza pri vonkajšej teplote nižšej ako $-5,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

8.3 Energetický štítek

Priemerný súčiniteľ prestupu tepla obálky budovy $U_{em} = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, získaný z energetického štítku obálky budovy modulu Ztraty 2014 stanoveného v súlade s normou ČSN 73 0540, odpovedá klasifikovanému ukazovateľu 0,7 spadajúceho do úspornej kategórie. Zo Ztraty 2014 bola taktiež stanovená aj celková tepelná strata 2110 W, z ktorých 1038 W je tepelná strata prestupom a 1072 W tepelná strata vetraním.

ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY						
(Typ budovy, miestni označení) (Adresa budovy)				Hodnocení obálky budovy		
Celková podlahová plocha				stávající	doporučení	
C/ Velmi úsporná  0,5 0,75 1,0 1,5 2,0 2,5 Mimořádně ne hospodárná				0,70		
KLASIFIKACE						
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{em} ve $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ $U_{em} = H_T / A$				0,35		
Požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy podle ČSN 73 0540-2 $U_{em,N}$ ve $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$				0,50		0,50
Klasifikační ukazatele C/ a jim odpovídající hodnoty U_{em}						
C/	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
U_{em}	0,25	0,38	0,50	0,75	1,00	1,25

Obr. 20. Energetický štítek obálky budovy

8.4 Stanovenie časovej konštanty

Výpočet časovej konštanty popisuje kapitola 2.3 vychádzajúc z normy ČSN EN ISO 13790. Pre samotné doriešenie časovej konštanty je potrebný výpočet hodnôt vnútornej tepelnej kapacity budovy C_m , celkový merný tepelný tok prestupom $H_{tr,adj}$ a celkový merný tepelný tok vetraním $H_{ve,adj}$, získaný z programu Ztraty 2014.

Pri stanovovaní tepelnej kapacity budovy C_m sa bralo v úvahu 0,1m vrstvy smerom z interiéru do exteriéru taktiež v súlade s normou ČSN EN ISO 13790 podľa vzťahu (21).

Pomocou normy EN ISO 13786 popisujúcej stanovenie mernej tepelnej kapacity, ktorá berie v úvahu 0,1m konštrukčnej vrstvy v smere z interiéru do exteriéru. Príklad výpočtu pre obvodovú stenu:

$$\kappa = \sum_i \rho_i \cdot d_i \cdot c_i$$

$$\kappa = 1290 \cdot 0,005 \cdot 790 + 900 \cdot 960 \cdot 0,095 + 1800 \cdot 790 \cdot 0,005 = 59010 \text{ J/m}^2\text{K}$$

Súčinom s plochou vzniká merná tepelná kapacita obvodovej steny:

$$C_m = \kappa \cdot A$$

$$C_m = 59010 \cdot 10,08$$

$$C_m = 590100 \text{ J/K}$$

Vypočítané hodnoty mernej tepelnej kapacity:

Tab. 16. Spočítané hodnoty merných tepelných kapacít konštrukcií miestnosti

Konštrukcia	κ [J/(m ² K)]	A [m ²]	C_m [J/K]
Stena obvodová	59010	10,080	590100
Strop	5747	63,684	365969
Stĺp	178241	0,9	160417
Podlaha	99863	63,684	6359727
Steny vnútorné	65382	70,020	4578021
Spolu			12054234

Celkový merný tepelný tok prestupom je vyhodnotený zo softwaru Stavební fyzika modulu Ztraty 2014, ten poskytuje rozpis jednotlivých merných tepelných tokov každej definovanej stavebnej konštrukcie. Ďalšou možnosťou je získanie hodnoty súčinom plochy A a súčiniteľu prestupu tepla U danej konštrukcie. Merný tepelný tok vetraním bol stanovený na základe vyhodnotenia zo Ztraty 2014.

Tab. 17. Spočítané hodnoty merných tepelných tokov prestupom

Konštrukcia	U [W/(m ² K)]	A [m ²]	$H_{tr,adj}$ [W/K]
Stena obvodová	0,368	10,080	3,709
Strop	0,124	63,684	7,897
Okná	1,300	15,120	19,656
Stĺp	0,487	0,900	0,438
Spolu			31,470

Časová konštanta sa určí aplikovaním vzťahu (20):

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

$$\tau = \frac{\frac{12054234}{3600}}{63,97}$$

$$\tau = 52,3 \text{ h}$$

8.5 Stanovenie akumuláčnej doby

Akumulačná doba je vo veľkej miere závislá od určenia korektných stratových plôch miestnosti. Výpočet popisuje kapitola 2.4 a vychádza zo vzťahu (25) v súlade s normou ČSN 060220 ako podiel celkových výpočtových strát a celkového naakumulovaného tepla v stavebných konštrukciách a vo vnútornom vybavení. V úvahu sa bralo iba teplo naakumulované v stavebných konštrukciách keďže záujmom skúmania je možnosť ovplyvňovania tepelno akumuláčnych parametrov budovy. No pri prvotných výpočtoch sa zohľadnil aj fakt uplatnenia vnútorného vybavenia, mysliac stolíky a nábytok, výsledkom toho bol rozdiel medzi použitím vnútorného vybavenia a jeho ignorovaním v akumuláčnej dobe približne 6 minút. Percentuálne tento rozdiel v porovnaní akumuláčnej doby s aplikovaním

celkového tepla akumulovaného v pôvodnej stavebnej konštrukcii miestnosti a celkového akumulovateľného tepla vrátane vnútorného vybavenia, činil 0,04 %. To predstavuje tak malý rozdiel v časovom rozsahu akumuláčnej doby, že pri ďalších výpočtoch sa tento faktor zanedbáva.

Výpočet akumulovaného tepla v stavebných konštrukciách vychádza zo vzťahu (27) ktorý berie v úvahu výpočtovú teplotu vzduchu v miestnosti θ_{vn} , výpočtovú vonkajšiu teplotu θ_{en} , jednotkové teplo akumulované v $1 \text{ m}^2 \omega_k$, a plochu steny A_k .

Tomu však predchádza stanovenie tepelného odporu z vnútornej plochy vrstvy do vonkajšieho prostredia R_{vi} pre obvodovú konštrukciu uplatnením vzťahu (31) s použitím hrúbky a súčiniteľov tepelnej vodivosti použitých materiálov v tabuľke (Tab. 10) a použitím súčiniteľa prestupu tepla na vonkajšom povrchu $h_e=23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ podľa normy ČSN 060220:

$$R_{vi} = \frac{1}{h_e} + \sum_{h=1}^{h=p} \frac{d_h}{\lambda_n}$$

$$R_{vi} = \frac{1}{23} + \left(\frac{0,005}{0,47} + \frac{0,44}{0,174} + \frac{0,005}{0,47} \right)$$

$$R_{vi} = 2,59 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Tepelný odpor z vonkajšej plochy vrstvy do vonkajšieho prostredia sa stanoví podľa vzťahu (32), ktorý v porovnaní s výpočtovým vzťahom pre R_{vi} v sume podielov hrúbok vrstiev d_n a súčiniteľov tepelnej vodivosti vrstiev λ_n , zohľadňuje iba podiely vrstiev stavebnej konštrukcie, ktoré niesú v kontakte s vnútorným prostredím:

$$R_{ve} = \frac{1}{h_e} + \sum_{h=v-1}^{h=p} \frac{d_h}{\lambda_n}$$

$$R_{ve} = \frac{1}{8} + \left(\frac{0,44}{0,174} + \frac{0,005}{0,47} \right)$$

$$R_{ve} = 2,58 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Pre jednotkové akumulovateľné teplo ω_k je potrebné najskôr stanoviť hodnotu súčiniteľa tepelnej úrovne vrstvy ε_v , pre konštrukcie bez strát sa používa podľa normy stanovené

$\varepsilon_v=1$, ukážka výpočtu ε_v pre obvodovú konštrukciu na základe vzťahu (29) a tabuľky (Tab. 15):

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

$$\varepsilon_v = 0,5 \cdot 0,368 \cdot (2,59 + 2,58) = 0,95$$

Jednotkové teplo sa počíta podľa vzťahu (28) ako suma daných vrstiev v stavebnej konštrukcii, ukážka výpočtu jednej vrstvy obvodovej steny, kde súčiniteľ priradenia vrstvy v_v sa používa pre vnútorné steny je $v_v=0,5$ a vonkajšie $v_v=1$:

$$\omega = c_v \cdot \rho_v \cdot A_v \cdot \varepsilon_v \cdot v_v$$

$$\omega = 0,219 \cdot 1290 \cdot 0,005 \cdot 0,95 \cdot 1$$

$$\omega = 1,3 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Tab. 18. Prehľad tepelno technických parametrov stavebných konštrukcií obvodovej steny vrátane jednotkového akumulovaného tepla ω_k

Vrstva stavebnej konštrukcie	ε_v [-]	v_v [-]	d [m]	λ [W/(m·K)]	ω [Wh/(m ² ·K)]
Baumit MPI 25	0,95	1	0,005	0,47	1,3
Porotherm 44 P+D na maltu obyčajnou	0,95	1	0,44	0,174	89,4
Baumit vonkajšia štukatárska omietka	0,95	1	0,005	0,47	1,9
Spolu					92,6

Tab. 19. Súčin jednotkového tepla a danej stavebnej konštrukcie a príslušnej plochy

Stavebná konštrukcia	A [m ²]	ω_k [Wh/(m ² ·K)]	$\omega_k \cdot A$ [Wh/K]
Stena obvodová	10,08	92,63	933,71
Strop	63,68	138,24	8803,12
Stĺp	0,9	353,95	318,56
Podlaha	63,68	88,04	5606,39
Vnútorne steny	70,02	37,42	2620,14
Spolu			18281,92

Výpočet celkového akumulovaného tepla v stavebných konštrukciách podľa vzťahu (27), pre okná sa volí $\omega_k=0$, čiže na výslednú hodnotu nemajú vplyv:

$$Q_{mk} = (\theta_{vn} - \theta_{en}) \cdot \sum_{k=1}^{k=r} \omega_k \cdot A_k$$

$$Q_{mk} = (21 + 12) \cdot 18281,92$$

$$Q_{mk} = 603328 \text{ Wh}$$

Pre celkovú výpočtovú tepelnú stratu miestnosti sa používa vzťah (34):

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

kde pre súčiniteľ tepelnej straty prestupom H_{mo} sa uplatní vzťah (35) prípadne pre zjednodušenie výpočtu sa dá použiť hodnota z programu Stavební fyzika modulu Ztraty 2014, nevýhodou však je zväčšenie akumuláčnej doby pri zjednodušení približne o 2 hodiny. Použitím vzťahu (35) vychádzajúc zo súčiniteľov prestupu tepla stavebných konštrukcií uvedených v kapitole 8.2 je hodnota $H_{mo} = 31,7 \text{ W/K}$.

Uplatnením vzťahu (36) pre H_{ma} súčiniteľ tepelnej straty vetraním pri objemu miestnosti $191,1 \text{ m}^3$ je hodnota $H_{ma} = 34,4 \text{ W/K}$. Pod dosadením tak je celková strata:

$$\Phi_{cn} = (31,7 + 34,4) \cdot (21 + 12) \cdot \frac{8 \cdot 89,78}{8 \cdot 89,78 - 31,7}$$

$$\Phi_{cn} = 2282 \text{ W}$$

Zo získanej celkovej výpočtovej tepelnej straty miestnosti Φ_{cn} a celkového akumulovaného tepla Q_{mn} ktoré vlastne zodpovedá celkovému akumulovaného tepla v stavebných konštrukciách Q_{mk} , sa nakoniec stanovila akumulčná doba podľa vzťahu (25):

$$\tau_m = \frac{Q_{mn}}{\Phi_{cn}}$$

$$\tau_m = \frac{603328}{2282}$$

$$\tau_m = 264h$$

8.6 Stanovenie konštanty α

Súčiniteľ α sa využíva pri výpočte kĺzavej strednej teploty vonkajšieho vzduchu, toto riešenie je popísané v kapitole 1.4. Okrem α sa však vo výpočte uplatňuje aj stredná denná teplota, ktorú je možné určiť z hodnôt nameraných počas dňa. Vznikne súčtom teplôt získaných zo 7,14 a 21 hodiny, kde 21 hodina má najväčšiu váhu a preto sa vo výpočte uplatní dva krát. Suma týchto štyroch teplôt sa podelí počtom sčítaných hodnôt, čím vznikne stredná denná teplota, pre prípad diplomovej práce odpovedajú hodnoty zapísané v tabuľke (Tab. 20).

Tab. 20. Vypočítané hodnoty stredných denných teplôt vonkajšieho vzduchu z nameraných údajov

Čas [deň]	Teplota v čase [°C]			Stredná denná teplota [°C]
	7:00	14:00	21:00	
1	1,32	0,39	0,62	0,74
2	3,62	16,10	6,97	8,42
3	3,70	12,66	5,35	6,77
4	0,83	10,96	4,65	5,27
5	0,40	10,27	1,85	3,59
6	2,50	13,90	5,43	6,82
7	5,29	3,78	0,56	2,55
8	0,02	11,23	3,53	4,58

A ak sa uplatní predpoklad, že strata závisí od kĺzavej teploty, je tak možné vychádzať z normy ČSN 06220 ako popisuje kapitola 1.4, a stanoviť tak tepelné straty prestupom ako

súčin plochy steny, súčiniteľa prestupu tepla a rozdielu teplôt vnútorného vzduchu a kĺzavej strednej teploty vonkajšieho vzduchu.

$$\Phi = A_j \cdot U_j \cdot (\theta_{in} - \theta_{rm})$$

Z čoho je možné odvodiť vzťah:

$$\theta_{rm} = -\frac{\Phi}{A_j \cdot U_j} + \theta_{in}$$

Z ktorého predstavuje kĺzavá stredná teplota vonkajšieho vzduchu vypočítateľnú hodnotu, nakoľko spotreba pre posledný deň merania činila 13,4 kWh. Spriemerovaná teplota vnútorného vzduchu za celý deň bola 21,2 °C, a ako hodnota merného tepelného toku sa zvolilo 31,47W/K, čo je hodnota získaná z programu Ztraty 2014. Aplikovaním týchto záznamov sa stanovila kĺzavá stredná teplota vonkajšieho vzduchu $\theta_{rm}=3,5869$ °C.

$$\theta_{rm} = -\frac{13,4 \cdot 1000}{31,47 \cdot 24} + 21,2$$

$$\theta_{rm} = 3,5869^\circ\text{C}$$

S použitím vzťahu (4) pre výpočet kĺzavej strednej teploty vonkajšieho vzduchu:

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

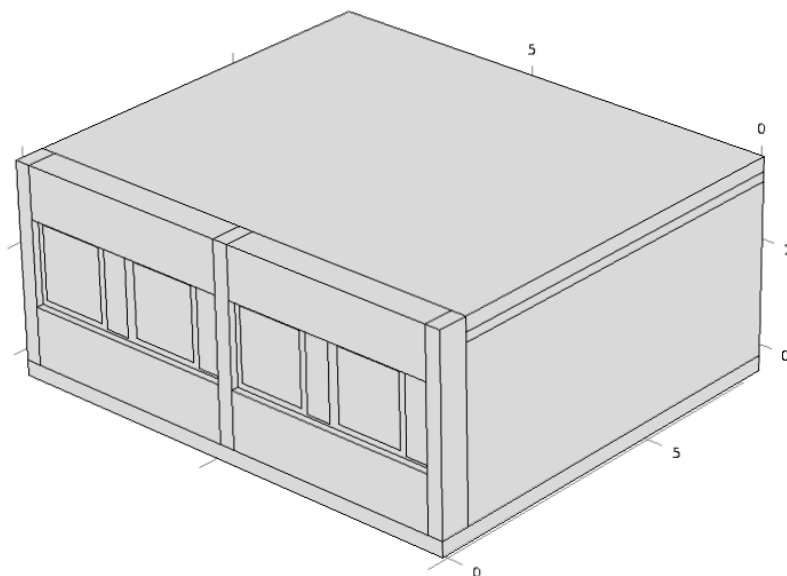
Výsledným princípom riešenia, tak je postupné dosadzovanie konštanty α do vzťahu (4) až kým sa podmienka rovnosti medzi kĺzavou strednou teplotou vonkajšieho vzduchu používajúcu k výpočtu konštanty α , a kĺzavou strednou teplotou vonkajšieho vzduchu vyplývajúcou zo vzťahu pre výpočet tepelných strát, stane platnou. Podmienka výpočtu:

$$-\frac{\Phi}{A_j \cdot U_j} + \theta_{in} = (1 - \alpha) \cdot \{\theta_{ed} - 1 + \alpha \cdot \theta_{ed} - 2 + \alpha^2 \cdot \theta_{ed} - 3 \dots\}$$

Pre zefektívnenie a spresnenie dopočítania konštanty α sa aplikoval doplnok riešiteľ programu Excel, ktorým sa stanovila konštanta α zabezpečujúca tuto rovnosť medzi použitých vzťahoch.

Pre miestnosť 54/308 s parametrami stavebných konštrukcií definovaných v tabuľkách (Tab. 10) až (Tab. 14), je hodnota konštanty α získaná touto metódou rovná 0,82.

9 NASTAVENIE SIMULAČNÉHO PROSTREDIA



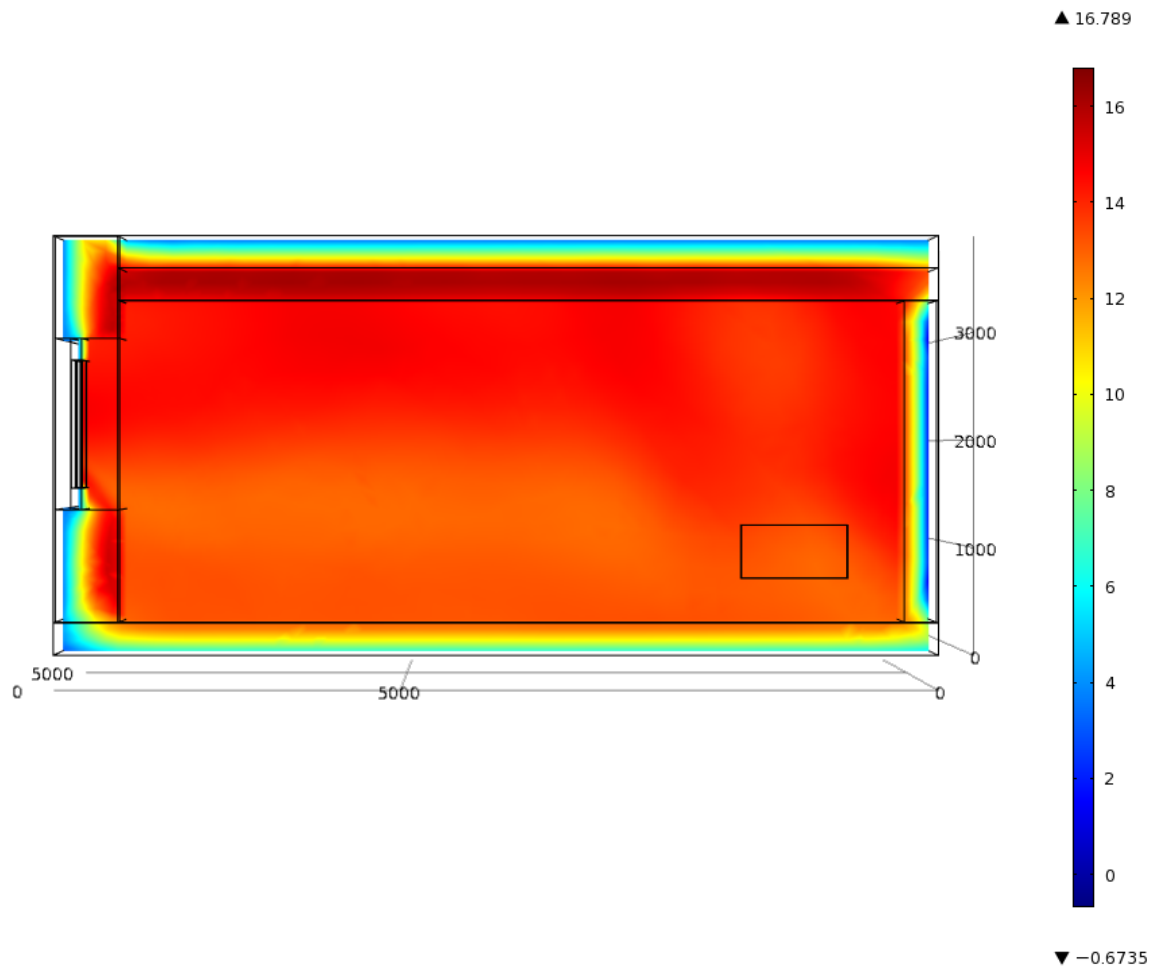
Obr. 21. 3D model miestnosti 54/308 použitý pre simulácie v COMSOL Multiphysics

Ako simulačné prostredie pre skúmanie vplyvu zmeny konštrukcie na tepelno-akumulačné vlastnosti miestnosti sa zvolil COMSOL Multiphysics. V ktorom sa použil model miestnosti zobrazený na obrázku (Obr. 21), ten vychádza z modelu, ktorý popísal a zadefinoval pán Ing. Vladimír Gerlich, Ph.D. v dizertačnej práci.

[16]

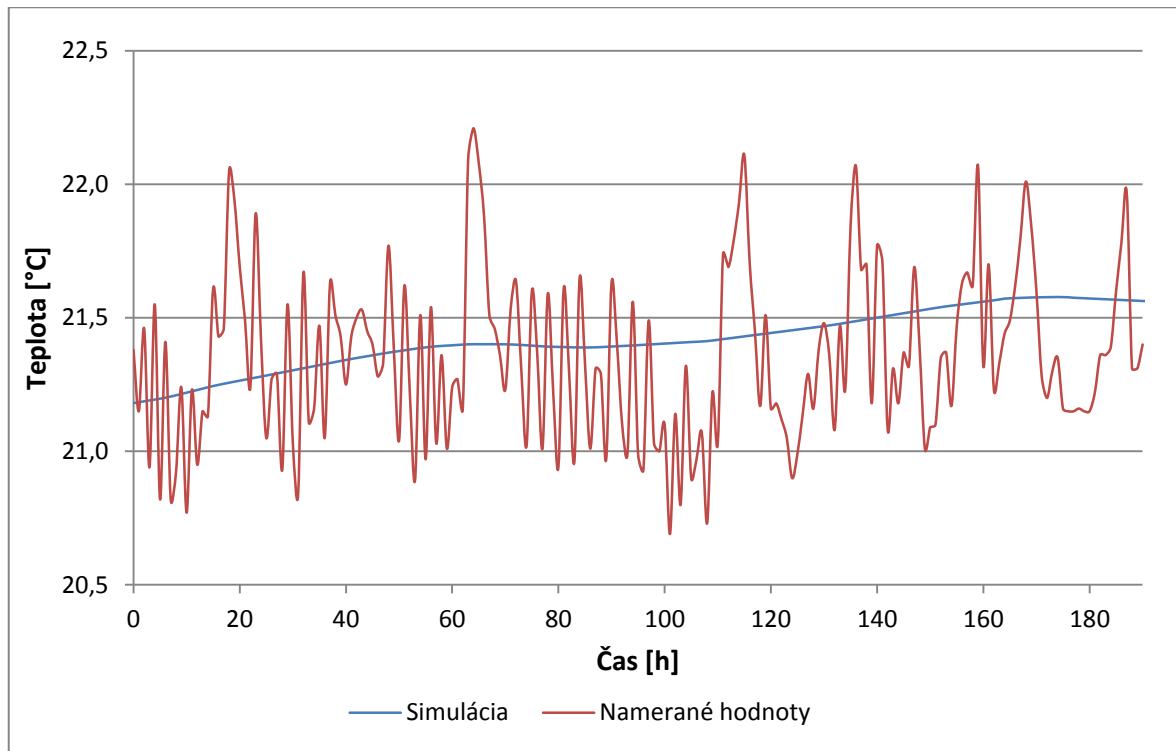
Model bol modifikovaný pre účely skúmania tepelno akumulčných vlastností zo zámerom získania priebehu chladnutia a tepelných tokov cez stavebné konštrukcie. Zjednodušila sa náročnosť výpočtu použitím hrubšej mriežky modelu, nastavil sa časový rozsah simulácie a časový krok simulácie. Upravili sa vstupné hodnoty teplôt, v zmysle vloženia nameraných dát do zodpovedajúcich premenných, ktoré program používa ako inicializačné hodnoty pre spustenie simulácie a to konkrétne teplota vonkajšieho vzduchu, vnútorného vzduchu, stien, podlahy a teplota stropu. Použila sa frekvencia vložených teplôt 3hodiny, nakoľko pri pokuse zvýšenia vzorkovania na 1hodinu nebol daný software schopný také množstvo údajov správne spracovať. Čo sa týka materiálov použitých pre model, tak boli zvolené parametre stavebných materiálov pôvodnej konštrukcie, ktoré sú popísané v kapitole 8.2. prípadne kombinácia s vybranými materiálmi uvedenými v kapitole 10,

ktoré ovplyvňovali tepelno akumulčné vlastnosti miestnosti. Nakoniec sa určili body v miestnosti, v ktorých sa budú merať vybrané parametre, ktoré sa po dokončení simulácie vyexportovali do textového súboru.



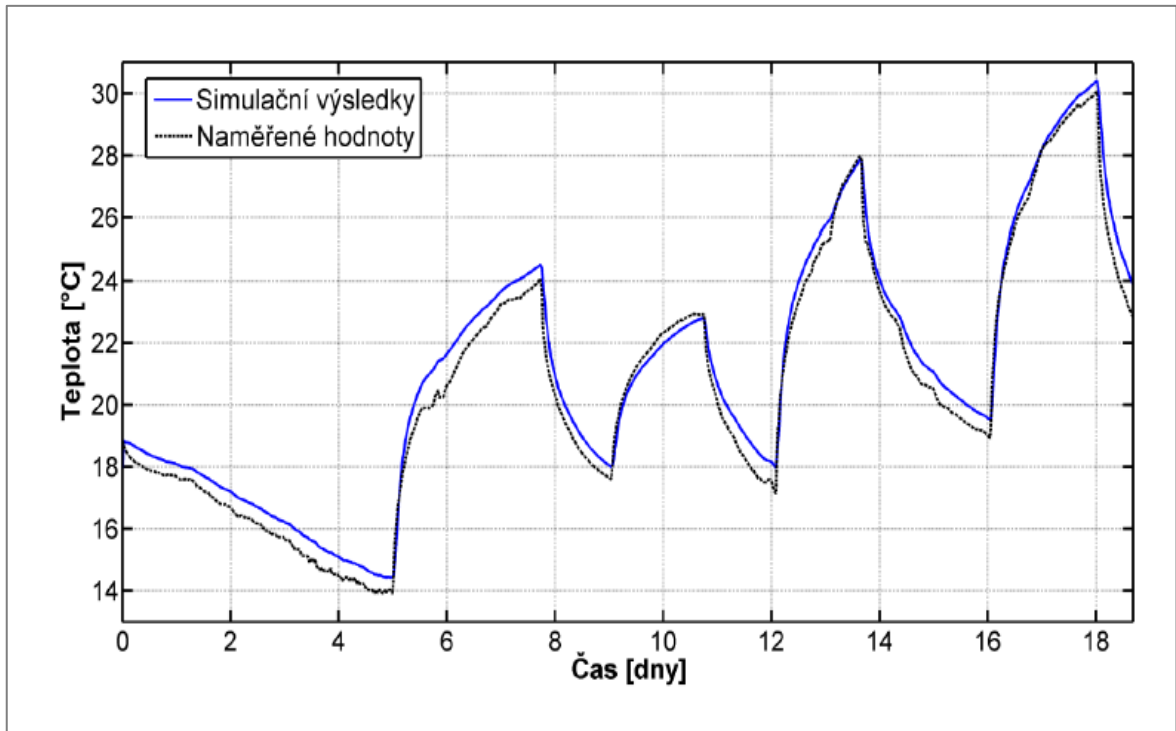
Obr. 22. Priebeh teplôt miestnosti 54/308 s pôvodnou stavebnou konštrukciou – rez miestnosti - chladnutie v čase 27 hodín

9.1 Porovnanie simulácie programu COMSOL a meraní



Obr. 23. Porovnanie priebehu nameranej teploty vzduchu vo vnútri miestnosti s vnútornou teplotou vzduchu získanou zo simulácie.

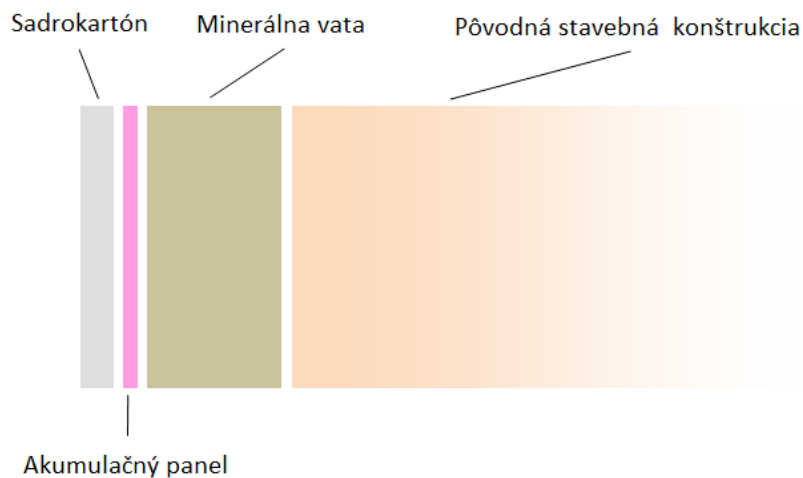
Ako porovnávací test pre preukázanie vhodnosti využitia Comsolu Multiphysics sa zvolil ako dôkaz priebeh vnútornej teploty vzduchu v strede miestnosti a priebeh vnútornej teploty vzduchu ktorá bola zaznamenávaná taktiež približne v strede miestnosti, ktoré sú zobrazené v grafe v obrázku (Obr. 23). Jasne viditeľné amplitúdy v grafe predstavujú nežiaduce hodnoty, spôsobené vplyvom radiácie od slnka prípadne od ohrievačov ovplyvňujúcich presnosť merania. V simulácii sa zanedbávala vplyv slnečnej radiácie. Zanedbaním nežiaducich amplitúd v meraní teploty sa pre vyfiltrované hodnoty teploty určila odchýlka, priemerná odchýlka zo všetkých meraní v porovnaní zo simuláciou bola stanovená približne 2%. Z grafu sú však viditeľné aj rapídne poklesy teplôt najmä v čase 100h. Jedná sa o pokles hodnôt, ktorý môže byť zapríčinený vstupom do miestnosti a následným únikom tepla, ktoré ohrievače neboli schopné tak rýchlo vykompenzovať. No aj napriek tomu meranie v porovnaní so simuláciou nasvedčuje veľkej zhode pri tak malom časovom rozsahu simulácie. Pre dokonalejšie preukázanie by bola vhodnejšia simulácia z väčším časovým rozsahom.



Obr. 24. Porovnanie priebehu teplôt vnútorného vzduchu [16]

No však riešenie zhody bolo iba okrajovým testom, nejednalo sa o predmet skúmania, tým sa zaoberal v 2012 pán Ing. Vladimír Gerlich, Ph.D. v dizertačnej práci, ktorej účelom bolo vyhodnotenie využitia programu COMSOL Multiphysics pre simulácie v oblasti tepelného chovania a akumulácie. Obrázok (Obr. 24), na ktorom je graf meranej vnútornej teploty a nasimulovanej vnútornej teploty, ktorá využíva niektoré z dát získaných pri danom meraní, svedčí o pozitívnom pokuse, ktorý preukázal vysokú mieru zhody. Dá sa tak konštatovať, že výsledok simulácie COMSOLU je možné brať za dostatočne presný pre účely simulácii v tejto Diplomovej práci.

10 VYHODNOCOVANIE PARAMETROV MIESTNOSTI

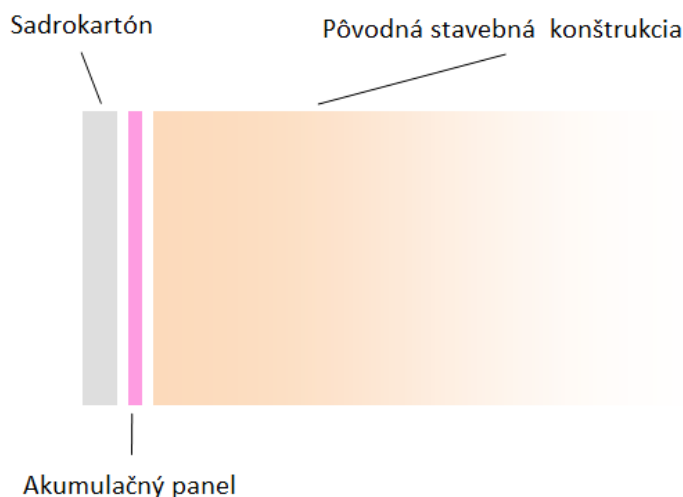


Obr. 25. Skladba upravenej konštrukcie s použitím sadrokartónu, akumuláčného panelu a minerálnej vaty

K skúmaniu ovplyvňovania tepelno akumuláčnych vlastností budov boli zvolené dva druhy kompozície stavebných konštrukcií. Prvá skladba pozostáva z použitia 1,25cm hrubého sadrokartónu, 0,5cm hrubého akumuláčného panelu DuPont Energian, minerálnej vaty o hrúbke 5cm a pôvodnej stavebnej konštrukcie, pričom materiáli sú udávané smerom z vnútorného prostredia do vonkajšieho. Ukážka tohto riešenia je na obrázku (Obr. 25).

Tab. 21. Vybrané tepelno-technické parametre použitých materiálov pre ovplyvnenie tepelne akumuláčnych vlastností miestnosti v simulácii

Názov materiálu	λ [W/(m·K)]	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m ³]
Sadrokartón	0,22	1060	750
Akumulačný panel	0,15	8400	810
Minerálna vata	0,041	950	100



Obr. 26. Skladba upravenej konštrukcie s použitím sadrokartónu a akumuláčného panelu

Zvolené akumuláčné panely DuPont Energian boli už predmetom skúmania v diplomovej práci pána Ing. Martina Koláčka, sú fyzicky dostupné v miestnosti 54/307 v Univerzite Tomáša Baťu Fakulty Aplikovanej Informatiky. Akumuláčny panel je na báze parafínového jadra. Druhá varianta je v podstate totožná, len v nej nieje použitá vrstva s minerálnou vatou ako je vidno na obrázku (Obr. 26). Vybrané parametre o prídavných použitých materiáloch oboch riešení obsahuje tabuľka (Tab. 21).

10.1 Časová konštanta

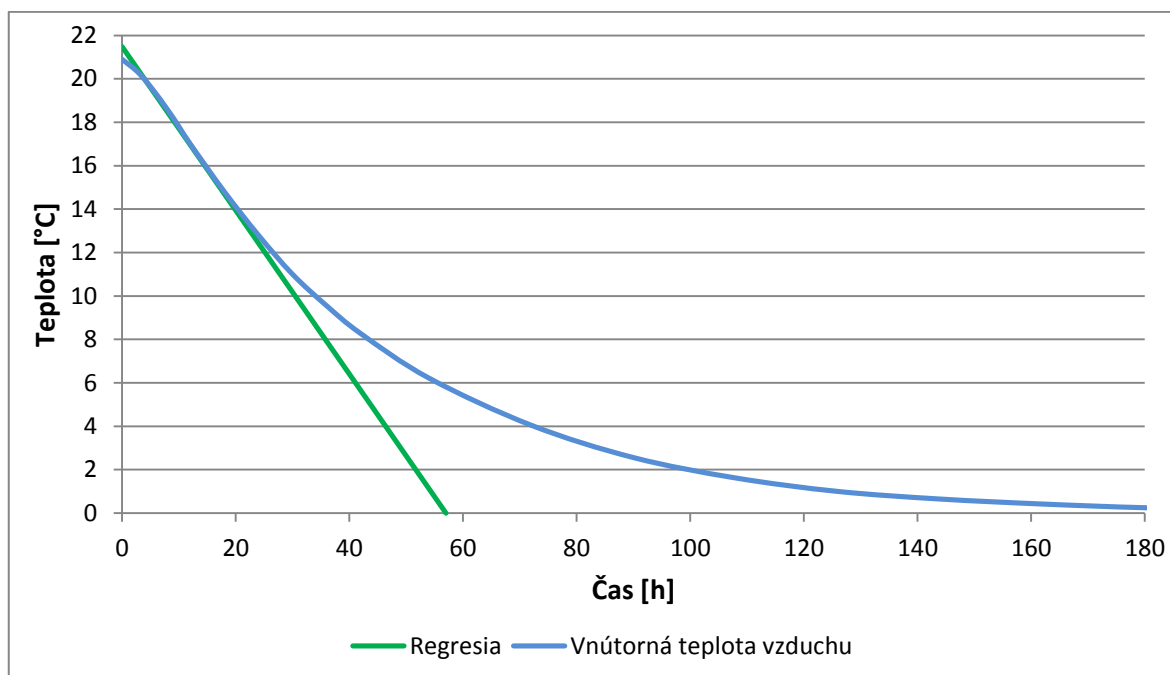
10.1.1 Výpočet

Ukážku výpočtu časovej konštanty pre pôvodnú konštrukciu miestnosti 54/308 krok za krokom popisuje kapitola 8.4. Ktoorej výsledkom je časová konštanta rovná 52,3 hodine. Rovnakým spôsobom sa riešil výpočet pri upravených stavebných konštrukciách, a taktiež pre 0,1 m hrúbky steny ktorá sa akceptuje pri výpočte smerom z vnútra von ako sa popisuje v kapitole 10.1 na základe normy ČSN EN ISO 13790. Vypočítané hodnoty časových konštánt pre dané stavebné konštrukcie zachytáva tabuľka (Obr. 23).

Tab. 22. Vypočítané hodnoty časových konštánt pre vybrané konštrukčné riešenia vyhotovené pre použitie na miestnosť 54/308

Konštrukčné riešenie	Vnútoraná tepelná kapacita budovy C_m [J/K]	Časová konštanta τ [h]
Pôvodná konštrukcia	12054234	52,3
Konštrukcia s použitím sadrokartónu a akumuláčného panelu	15898631	69,0
Konštrukcia s použitím sadrokartónu, akumuláčného panelu a minerálnej vaty	13769602	62,2

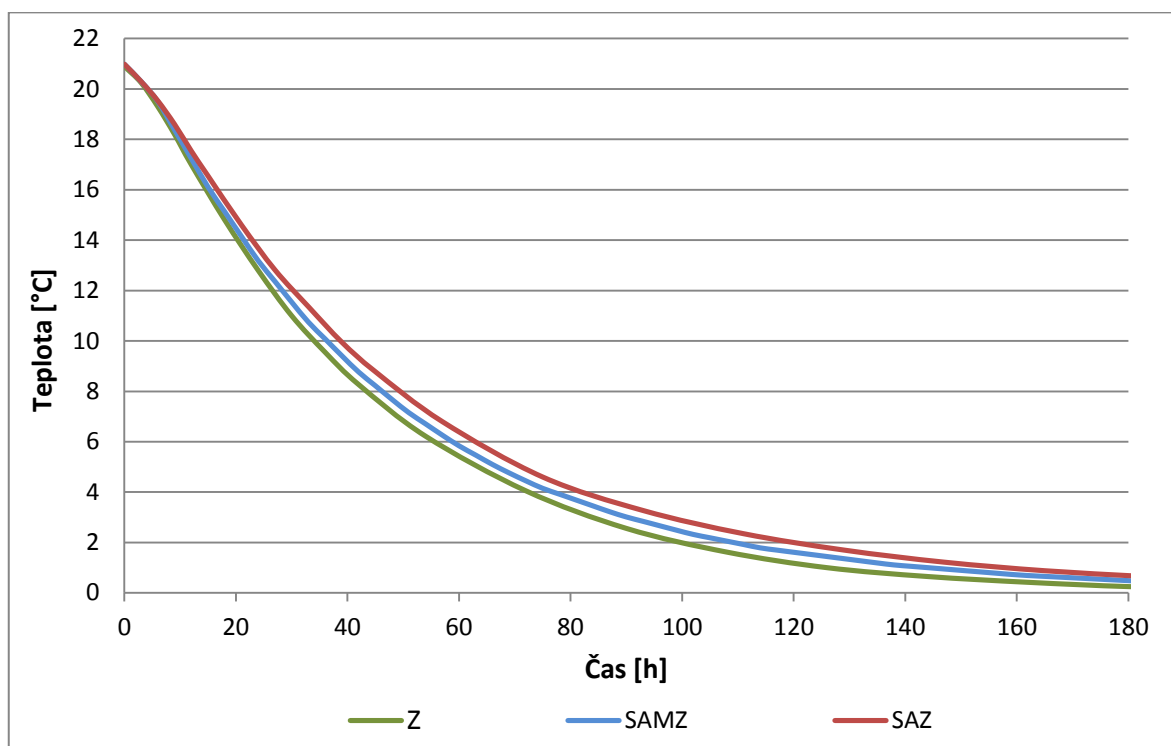
10.1.2 Simulácia



Obr. 27. Aproximácia nasimulovaného chladnutia vnútornej teploty vzduchu pri použití pôvodnej stavebnej konštrukcie miestnosti 54/308

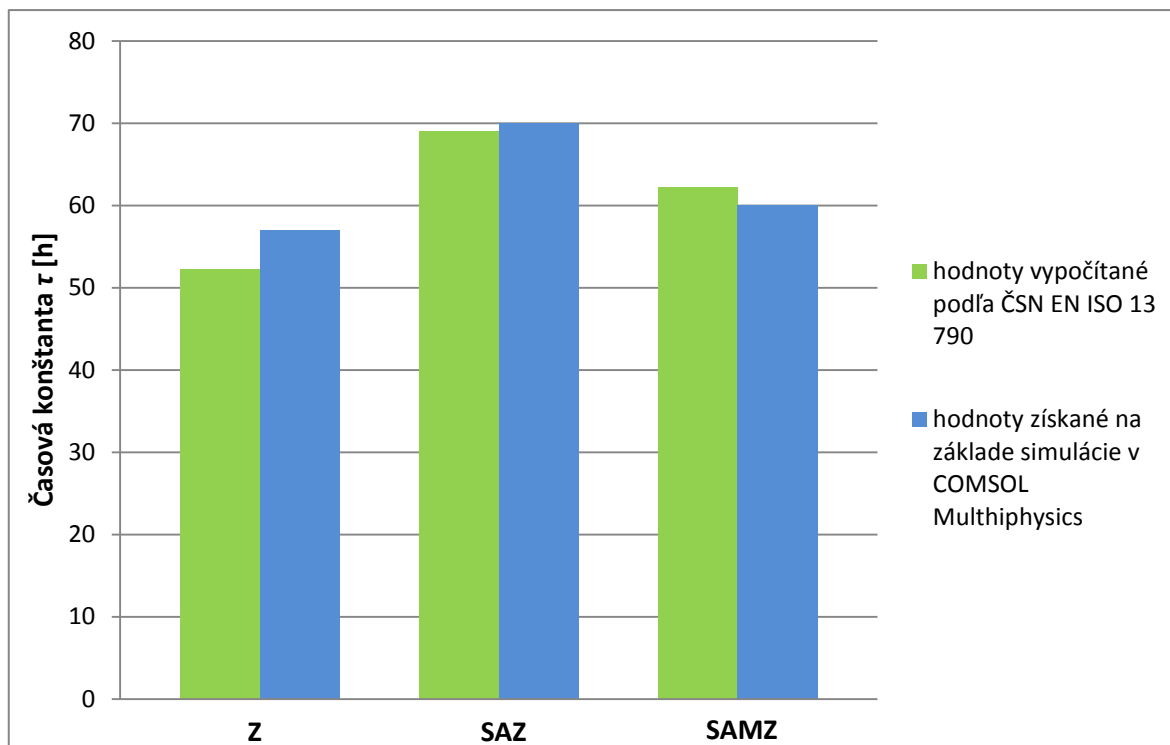
Pomocou dát získaných z priebehu simulovaného chladnutia vnútorného vzduchu, pre pôvodnú konštrukciu graficky znázornených v obrázku (Obr. 27), sa určil inflexný bod.

S použitím ďalších hodnôt vôkol tohto bodu sa na tieto body aplikovala lineárna regresia, na základe získanej rovnice lineárnej regresie sa získali hodnoty závislé na čase reprezentované zelenou priamkou v obrázku (Obr. 27). Prienik tejto lineárnej regresie a teploty, v ktorej považujeme miestnosť ako vychladnutú, čiže čas v ktorom je hodnota bodu z ktorých lineárna regresia pozostáva, približne 0, nakoľko presné určenie hodnoty výstupu komplikovalo vzorkovanie 3 hodiny ako sa popisuje v kapitole 9. Týmto postupom sa určila hodnota časovej konštanty 57 hodín, rovnaký postup sa volil pre získanie konštant ďalších dvoch stavebných skladieb. Priebehy všetkých troch skladieb zachytáva obrázok (Obr. 28). Pre konštrukciu doplnenú o sadrokartón a akumulčný panel vyšla časová konštant 70 hodín z nasimulovaného chladnutia, pre variantu so sadrokartónom, akumulčným panelom a minerálnou vatou 60hodín dosiahnutých z dát simulácie.



Obr. 28. Nasimulované priebehy chladnutia teploty vnútorného vzduchu pre vybrané stavebné konštrukcie, kde je označuje Z – pôvodnú konštrukciu; SAMZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón, akumulčný panel a minerálnu vatú; SAZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón a akumulčný panel. Vrstvy sú umiestnené tak ako popisuje kapitola 10

10.1.3 Porovnanie



Obr. 29. Porovnanie získaných hodnôt časových konštánt pre príslušné stavebné skladby, kde označuje Z – pôvodnú konštrukciu; SAMZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón, akumulčný panel a minerálnu vatu; SAZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón a akumulčný panel

Spomedzi testovaných stavebných skladieb v simulácii sa preukázalo aplikovanie sadrokartónu a akumulčného panelu bezvýhradne najlepšou kombináciou pre zvýšenie časovej konštanty. Ako simuláciou tak aj výpočtom vychádzajúcim z normy ČSN ISO 13790 sa dosiahlo hodnoty časovej konštanty bližšie sa 70 hodinám. Dôvodom je hlavne navýšenie pôvodnej vnútornej tepelnej kapacity približne o 38 000 J/K oproti pôvodnej konštrukcii, ktorej časová konštanta pomocou simulácie dosiahla hodnotu 57 hodín.

Dôvodom očividne nezhodných výsledkov časových konštánt v obrázku (Obr. 29) získaných pomocou simulácie a výpočtu, je prvom rade hrubá vzorkovacia frekvencia ktorá bránila presnejšiemu určeniu časovej konštanty. Ide rozmedzie 3 hodín a stým súvisiaca nevýhoda určovania časovej konštanty na ose postupujúcej po 3 hodinách. Použitím veľkej frekvencie vznikol problém s programom COMSOL stával sa nestabilným z hľadiska funkčnosti a miestami sa program zasekol. Ak by teda teoreticky simulovaná hodnota od-

povedala výpočtovej hodnote 50 hodín, kvôli zvolenej frekvencii by znemožnilo presné stanovenie 50 a výsledkom by bolo 51hodin.

10.2 Akumulačná doba

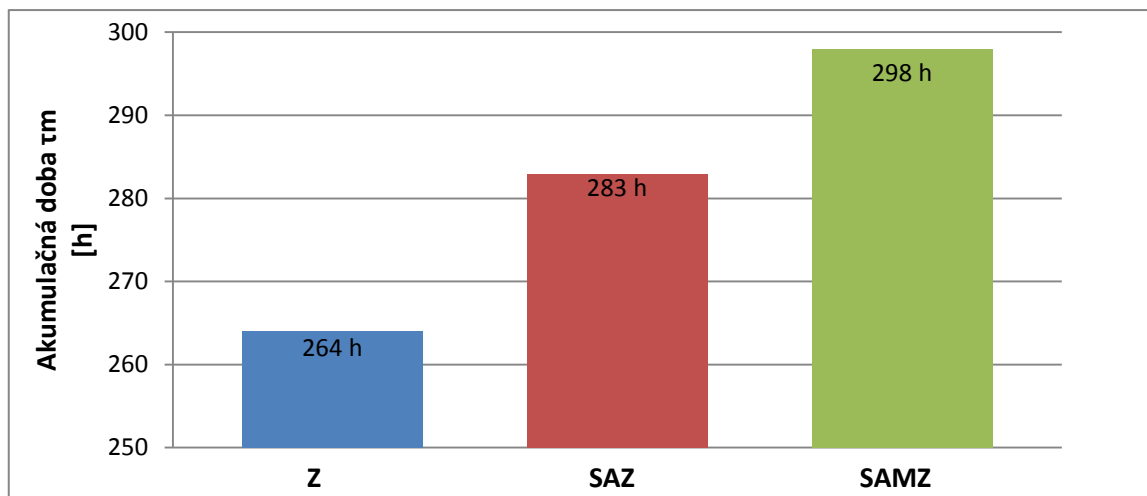
10.2.1 Výpočet

Tab. 23. Vypočítané hodnoty akumulčných dôb pre vybrané konštrukčné riešenia vyhotovené pre použitie na miestnosť 54/308

Konštrukčné riešenie	Celkové akumulované teplo v stavebných konštrukciách Q_{mk} [Wh]	Celková výpočtová strata Φ_{cn} [W]	Akumulačná doba τ_m [h]
Pôvodná konštrukcia	603328	2282	264
Konštrukcia s použitím sadrokartónu a akumuláčného panelu	643073	2272	283
Konštrukcia s použitím sadrokartónu, akumuláčného panelu a minerálnej vaty	652714	2189	298

Výpočet akumuláčnej doby popisuje kapitola 8.5 pre pôvodnú konštrukciu, výsledky akumuláčnych dôb pre vybrané stavebné konštrukcie zachytáva tabuľka (Tab. 23).

10.2.2 Porovnanie



Obr. 30. Porovnanie získaných hodnôt akumulčných dôb pre príslušné stavebné skladby, kde označuje Z – pôvodnú konštrukciu; SAMZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón, akumulčný panel a minerálnu vatu; SAZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón a akumulčný panel

Z výsledkov akumuláčnej doby je viditeľný nárast času pri pribúdaní vrstiev stavebnej konštrukcie. To je zapríčinené hlavne zväčšením celkového množstva akumulovaného tepla v stavebných konštrukciách keďže celková výpočtová strata je vo všetkých troch prípadoch podobná, s najväčším rozdielom medzi stratami 93 W, vo vyjadrení voči priemernej výpočtovej strate ide o rozdiel približne 4 %. Z toho je zrejmé, že aplikovanie akumulčných panelov prinieslo zvýšenie akumulovaného tepla, a minimálne zlepšenie v smere tepelnej izolácie. Z tabuľky (Tab. 23) sa dá tiež konštatovať že aplikovanie minerálnej vaty prinieslo negatívny dopad v podobe predĺženia akumuláčnej doby o 15 hodín voči konštrukcii bez použitia vaty. To je následok faktu že tepelná vodivosť použitej minerálnej vaty je len 0,041 W/(m·K), a teda konštrukčný prvok tak zhoršuje prenikanie tepla do ďalších vrstiev stavebnej konštrukcie a teda predlžuje celkovú akumuláčnú dobu. Naproti tomu použitie akumulčného panelu DuPont s mernou tepelnou kapacitou 8400J/(kg·K) (priemerná hodnota), prinieslo zvýšenie akumulovaného tepla v stavebných konštrukciách čo predstavuje pozitívny aspekt, no však za cenu zvýšenia akumuláčnej doby o 19 hodín voči pôvodnej konštrukcii. Je to však očakávaný jav nakoľko sa zvýši celková tepelná kapacita objektu čo má za následok, že táto upravená konštrukcia sa bude dlhšie nahrievať.

10.3 Konštanta α

10.3.1 Simulácia

Podobne ako v kapitole 8.6, ktorá popisuje určenie konštanty α v závislosti od nameranej spotreby elektrickými ohrievačmi použitými na temperovanie teploty vzduchu v miestnosti a kĺzavej strednej teploty vonkajšieho vzduchu, obdobným spôsobom bolo riešené stanovenie konštanty α pre simulované vybrané stavebné skladby. Rozdiel riešenia je vo využití strát získaných súčtom merných tepelných tokov z konštrukcií zo simulácie priebehu o rovnakom časovom rozsahu v akom prebiehalo meranie, z ktorého bola stanovená konštanta α vychádzajúca z reálnych podmienok. Využili sa straty stavebných konštrukcií, ktoré sú v kontakte s vonkajším prostredím, samozrejme za použitia hodnôt vybraných teplôt z merania ako inicializácia pre simuláciu. Súčinom takto získaných merných tepelných tokov a príslušnej plochy konštrukcie sa tak stanovila strata, v zhodnú dobu ako bolo tomu pri skutočnom meraní, aby výpočet nebol ovplyvnený zmenou kĺzavej strednej teploty vonkajšieho vzduchu. Hodnoty konštant α získaných využitím dát zo simulácie sú uvedené v tabuľke (Tab. 24).

10.3.2 Porovnanie

Tab. 24. Vypočítané hodnoty konštant α pre vybrané konštrukčné riešenia aplikované na miestnosť 54/308

konštrukčné riešenie	α stanovená využitím nameraných dát [-]	α stanovená využitím simulácie [-]
Pôvodná konštrukcia	0,82	0,79
Konštrukcia s použitím sadrokartónu a akumuláčného panelu	-	0,82
Konštrukcia s použitím sadrokartónu, akumuláčného panelu a minerálnej vaty	-	0,86

Konštanta α vo všeobecnosti udáva váhu predchádzajúcich teplôt vo výpočte kĺzavej strednej teploty vonkajšieho vzduchu. Čím vyššia je hodnota konštanty α tým dôležitej-

šie sú účinky vonkajšej teploty minulých dní, je tak vyvoditeľný fakt, že pri stavebnej konštrukcii s vyššou hodnotou konštanty α sa jedná o stavbu, ktorej vnútornú teplotu prostredia ovplyvní až väčší vplyv predchádzajúcich teplôt. Stavba je tak, kvázi stabilnejšia voči aktuálnym zmenám teploty vonkajšieho prostredia. To podporujú aj výsledky konštant α v tabuľke (Tab. 24). Kde podľa simulácie, konštrukčná skladba s použitím sadrokartónu, akumulčných panelov a minerálnej vaty vykazuje najvyššiu hodnotu α oproti ostatným simulovaným konštrukčným skladbám. Vysvetlenie predstavuje minerálna vata, ta zohráva izoláciu medzi pôvodnou konštrukciou a konštrukciou prídavnou, ktorej tepelná kapacita je sama osebe pomerne veľká ako je uvedené v tabuľke (Tab. 21). Vrstva vaty, tiež znižuje prenos tepla medzi akumulčnými panelmi a pôvodnou konštrukciou znižuje tak celkovú tepelnú stratu. A keďže konštanta α vychádza z klzavej strednej teploty vonkajšieho vzduchu a strát, ma tak znižovanie tepelného toku stavebnou konštrukciou pozitívny vplyv. Taktiež časová konštanta približne 2,5 dňa nasvedčujú predpokladu objektu s dobrou tepelnou stabilitou. Je tiež dôležitý aj fakt, brania v úvahu iba 10 cm konštrukcie z vnútornej strany miestnosti pri výpočte časovej konštanty, je tak možné že časová konštanta by sa radikálne zvýšila vyhodnotením časovej konštanty pre celú hrúbku daných stavebných konštrukcií. Pretože kvôli použitiu tejto účinnej hrúbky podľa ČSN 12 831 sa uplatňuje len 3,25 cm pôvodnej stavebnej konštrukcie.

Hodnota $\alpha = 0,82$ získaná pomocou simulácie pri variante so sadrokartónom a akumulčným panelom, je následkom priameho kontaktu prídavnej konštrukcie s pôvodnou, čoho dôsledkom sú väčšie tepelné straty smerom od akumulčného panelu do exteriéru v porovnaní s variantou s minerálnou vatou.

Mierna odlišnosť medzi hodnotami konštant α uvedených v tabuľke (Tab. 24) pri pôvodnej konštrukcii stanovenej pomocou nameraných dát a hodnotou stanovenou s využitím simulácie, v skutočnosti nepredstavuje veľký rozdiel, ak uvážime že sa jedná o simuláciu o celkovej dĺžke 8 dní. Zároveň, pri simulácii v rámci zjednodušenia a časovej náročnosti nemohla byť použitá detailná mriežka 3D modelu, rovnako ako fakt, že v simulácii sa nezohľadňuje pôsobenie všetkých faktorov vonkajšieho prostredia iba vonkajšia teplota. K obdobným odchýlkam mohlo prísť aj pri stanovovaní α z nameraných hodnôt, kde vonkajšia meteorologická stanica nieje umiestnená presne pri skúmanej miestnosti. To mohlo mať za následok zaznamenanie rozdielnych teplôt ako vo skutočnosti pôsobili na skúmanú miestnosť.

ZÁVER

V začiatku teoretickej časti práce sa popisuje oblasť, ktorá je významnou zložkou každej budovy a to vnútorné prostredie. Kapitola popisuje požiadavky na vnútorné prostredie, zmieňuje sa o tepelnej pohode a technikách jej hodnotenia. Do vnútorného prostredia je zahrnutá i operatívna teplota, klzavá stredná teplota vonkajšieho vzduchu či súčiniteľ prestupu tepla, pretože všetko sú súvisiace veci ovplyvňujúce kvalitu vnútorného prostredia. Rovnako dôležitý bod popisuje kapitola tepelná stabilita, venovaná poklesu teploty v miestnosti v zimnom období, tepelnej stabilite miestnosti v letnom období, a tým súvisiace parametre ako časová konštanta a akumulčná doba. V podkapitolách bodu tepelnej záťaže sa čitateľ bližšie zoznámi s možnosťami stanovenia energetických parametrov budovy ako straty a zisky, avšak aj niektoré riešenia problematiky tepelnej záťaže. Predposledná kapitola teoretickej časti je venovaná tepelne akumulčným panelom, ich rozdeľeniu, charakteristike, princípu fungovania a aplikácii v budovách v rôznych formách. V závere teoretickej časti sa nachádza popis simulačných prostredí medzi ktorými je popísaný i program zvolený pre skúmanie tepelno akumulčných vlastností budov.

V úvode praktickej časti je zahrnutý opis sledovanej miestnosti, jej parametre, umiestnenie a budúce využitie. Ďalšia kapitola zoznamuje čitateľa s použitými meracími zariadeniami, procesom zhromažďovania dát, obsahuje niektoré z nameraných záznamov. Všetky namerané dáta sa následne v bode analýza miestnosti využívajú k výpočtu tepelno technických parametrov miestnosti, posudzuje sa skladba stavebnej konštrukcie, vyhodnotil sa energetický štítok. Pri zhodnotení skladby v porovnaní s normovanými parametrami aktuálne platnej normy sa objavili nedostatky v súčiniteľoch prestupu tepla hlavne pri obvodovej konštrukcii. Okrajovo sa zhodnotila kondenzácia vodných pár v konštrukcii s vyhovujúcim výsledkom, množstvo skondenzovanej vodnej pary neprekračovalo množstvo vypariteľnej. V kapitole je ďalej predvedený výpočet časovej konštanty miestnosti, ktorá berie v úvahu pri výpočte merné tepelné toky a súčet merných tepelných kapacít. Detailným postupom je rozriešené aj stanovenie akumulčnej doby, ktorej stanovenie sa skomplikovalo zložitou výpočtu a množstvom vstupov do druhoradých výpočtov dôležitých pre stanovenie výslednej akumulčnej doby. Hodnota sa však po pečlivom postupe stanovila na 248 hodín.

Hlavným vypovedajúci výsledok však znamenalo až stanovenie konštanty α , tá udáva váhu vplyvu teplôt predchádzajúcich dní. Pri stanovení tejto konštanty sa vychádza-

lo z predpokladu, že ako vonkajšia teplota sa bude uvažovať kľzavá stredná teplota vonkajšieho vzduchu. Za vnímania predpokladu ako východiskového, sa podarilo stanoviť konštantu α na základe získanej spotreby elektrickej energie použitej na temperovanie miestnosti a nameraných teplôt vonkajšieho vzduchu. Normou udávaná univerzálna hodnota konštanty α je 0,8, výpočtom sa dosiahla hodnota približne 0,82. Ďalším krokom bolo pokúsiť sa vyvodiť súvislosť konštanty α s tepelno akumuláčnými parametrami budovy, ako je časová konštanta či akumuláčná doba za použitia simulácii. Pre simulácie bol zvolený program COMSOL, ktorého nastavenie je popísané v kapitole 9, preukázaná vierohodnosť tohto programu bola podložená na základe podobnosti výsledku simulácie a reálneho zánamu.

V poslednej kapitole sa vyhodnocoval vplyv skladby konštrukcie miestnosti na tepelno akumuláčné parametre. Skúmali sa 3 rôzne skladby konštrukcii, stým že pôvodná skladba sa simulovala tiež, slúžila ako kontrolná simulácia. V parametroch ako časová konštanta či konštanta α , teda v tých, ktorých výsledky vychádzali ako zo simulácie tak aj z výpočtov sa preukázalo, že sa jedná o pomerne zhodné hodnoty. Pri výsledkoch časovej konštanty sa prejavili výhody konštrukčných skladieb s použitím akumuláčných panelov, ide o zvýšenie približne 9 hodín voči konštrukcii bez panelov. Minerálna vata či sadrokartón zavážili taktiež, no však pri priemernej mernej tepelnej kapacite akumuláčných panelov 8400 J/(kg.K), je ich vplyv minimálny. Nevýhodou pri riešení časovej konštanty bolo použitie zohľadnenia 10 cm hrúbky stavebnej konštrukcie. Nebola tak zohľadnená plná tepelná kapacita stavebnej konštrukcie. Zvýšenie tepelnej kapacity stavebných konštrukcii viedlo na druhej strane aj nárastu akumuláčnych dôb, hlavne vďaka akumuláčným panelom. Výrazným defektom sa pri akumuláčnej dobe stalo aplikovanie minerálnej vaty, ktorá predĺžila dobu akumulácie skoro o 15 hodín oproti konštrukcii bez vaty. Konštanta α v závere praktickej časti preukázala nárast stability miestnosti, pri obohatených stavebných konštrukciách, vyvodzujúc podľa jej definície, čo jest', vyššia konštanta α vedie k zvýšeniu vplyvu teplôt z predchádzajúcich dní. Výsledok hlása tak, že hodnota 0,86 získaná na základe simulácii predstavuje zlepšenie tepelne akumuláčných parametrov a zvýšenie tepelnej stability budovy keďže majú vplyv na budovu až hodnoty predchádzajúcich dní. Na základe simulácii, tak najlepšimi tepelno akumuláčnými vlastnosťami disponuje konštrukčná skladba obohatená o sadrokartón, akumuláčny panel, minerálnu vatu.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] ČSN EN ISO 7730. *Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí ...*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [2] ČSN 73 0540-1. *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [3] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2011.
- [4] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] 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*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2011.
- [6] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [7] ČSN 06 0220. **TEPELNÉ SOUSTAVY V BUDOVÁCH – DYNAMICKÉ STAVY**. Praha : ČESKÝ. *Tepelné soustavy v budovách – Dynamické stavy*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [8] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách : Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [9] URBAN, Miroslav. *Popis metodiky výpočtu hodnocení energetické náročnosti budov podle vyhlášky 148/2007 Sb.* Praha: 2007.
- [10] DANIELS, Klaus. 2003. *Technika budov: příručka pro architekty a projektanty*. 1. čes. vyd. Bratislava: Jaga group, 519 s. ISBN 80-889-0563-X.
- [11] 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.
- [12] CHYSKÝ, Jaroslav. 1993. *Větrání a klimatizace: einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik ; [07/08]*. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Oldenbourg-Industrieverl. ISBN 80-901-5740-8.

- [13] SCHRAMEK, Recknagel .. Hrsg. von Ernst-Rudolf. 2007. *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik: einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik ; [07/08]*. 73. Aufl. München [u.a.]: Oldenbourg-Industrieverl. ISBN 38-356-3104-7.
- [14] Valenta, Vladimír. Akol.: *TOPENÁŘSKÁ PŘÍRUČKA 1, 2, 3*. Agentura ČSTZ, Praha 2007. ISBN 978-80-86028-13-2.
- [15] TYWONIAK, Jan. 2008. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. 1. vyd. Praha: Grada, 193 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [16] GERLICH, Vladimír. 2012. *Ověření možnosti využití programu COMSOL Multiphysics jako prostředí pro simulace tepelného chování systémů s akumulací*. Zlín. Dostupné také z: http://portal.utb.cz/wps/PA_StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=29659
Disertační práce. UTB ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce Prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
- [17] ŠTEFÁNEK, Tomáš. 2007. *Modelování hydraulických převodů pomocí vybraných současných simulovaných systémů*. Brno. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5331. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství ústav konstruování. Vedoucí práce Doc. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.
- [18] RUBINOVA, Olga a Aleš RUBIN. *Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>.
- [19] ZMRHAL, Vladimír. *Stanovení střední radiální teploty (I)* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3072-stanoveni-stredni-radiacni-teploty-i>
- [20] KABRHEL, Michal. *Akumulace tepelné energie do stavebních konstrukcí* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1401-akumulace-tepelne-energie-do-stavebnich-konstrukci>
- [21] ZAVORALOVA, Pavla. *PCM ve stavebnictví Díl 1: Základní charakteristiky PCM* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/7360-pcm-ve-stavebnictvi-dil-1-zakladni-charakteristiky-pcm>

- [22] ZAVORALOVA, Pavla. *PCM ve stavebnictví Díl 2: PCM jako stavební materiál - možnosti aplikace* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/7360-pcm-ve-stavebnictvi-dil-1-zakladni-charakteristiky-pcm>
- [23] OPENFOAM. *The OpenFOAM Foundation* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.openfoam.org/>
- [24] JIRÁK, Zdeněk a Zuzana MATHAUSEROVÁ. 2013. *Kurs 3 - Měření a hodnocení pracovní tepelné zátěže na pracovištích: 2.3 Výměna tepla - rovnice tepelné bilance* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs3/23_vmna_tepla__rovnice_tepeln_bilance.html
- [25] TRNAVSKÝ, Jiří. *Akumulácia tepla v murive a strešnej konštrukcii* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://mojdom.zoznam.sk/cl/10031/117140/Akumulacia-tepla-v-murive-a-stresnej-konstrukcii>
- [26] KABELE, Karel. *BUDOVY S TAKMER NULOVOU SPOTREBOU ENERGIE* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.asb.sk/tzb/energie/budovy-s-takmer-nulovou-spotrebou-energie>
- [27] *Jak zvýšit akumulační schopnosti dřevostaveb* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.ceskestavby.cz/clanky/drevostavby-topeni-zdiva-6432.html>
- [28] SOARES, Nelson, José J COSTA, Adélio Rodrigues GASPAR a Paulo F A SANTOS. 2013. *Energy and Buildings* [online]. Elsevier B.V. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813000157>
- [29] KLUBAL, Tomáš, Milan OSTRÝ a Roman ROMAN BRZOŇ. 2014. *Použití tepelně aktivovaných panelů se sádrovou omítkou s PCMs* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.civilengineeringjournal.cz/archive/issues/2014/so_3-4/so_34_14_klupal.pdf
- [30] Schierteknik: SolidWorks - 3D CAD modelovanie. *Schiertechnik* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.schiertechnik.sk/solidworks/>
- [31] Schierteknik: SolidWorks Flow Simulation. *Schiertechnik* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.schiertechnik.sk/flow-simulation/>
- [32] COMSOL. *Heat Transfer Module* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.comsol.com/heat-transfer-module>

- [33] ESRU. *ESP-r Overview* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm
- [34] ENERGYPLAN. *TRNSYS* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.energyplan.eu/TRNSYS/>
- [35] TESS-INC. *TRNSYS Overview* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.tess-inc.com/trnsys>
- [36] ANSYS. *ANSYS Fluent* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics/Fluid+Dynamics+Products/ANSYS+Fluent>
- [37] AHLBORN. 1998. *Datenlogger, Messgeräte und Sensoren* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.ahlborn.com/>
- [38] ALMEMO. *FLA 603 VL4: Головка люкс-зонда для измерения освещенности на открытом воздухе, 1...190000 лк (2 измерительных канала)* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné také z: <http://almemo.ru/product/optical-radiation/fla603vl4/>
- [39] ALMEMO. *MEASURING INSTRUMENTS*. Dostupné také z: http://www.upc.edu/sct/documents_equipament/d_64_id-477.pdf
- [40] DIRECTINDUSTRY. *Thermo-anemometer FV A935-TH4 / -TH5* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné také z: <http://www.directindustry.com/prod/ahlborn/thermo-anemometers-17042-509709.html>
- [41] BARCELONATECH. *Scientific and Technical Services: Contact temperature probe* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné také z: <http://www.upc.edu/sct/en/equip/479/contact-temperature-probe.html>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV

Symbol	Jednotka	Význam
A	m^2	Plocha
h	$W/(m^2 \cdot K)$	Súčiniteľ prestupu tepla
θ	$^{\circ}C$	Teplota
U	$W/(m^2 \cdot K)$	Súčiniteľ prestupu tepla
δ	m	Šírka konštrukcie
λ	$W/(m \cdot K)$	Tepelná vodivosť
b	1	Teplotný redukčný činiteľ
\dot{V}	m^3/s	Objemový tok
V	m^3	Objem
Q	J	Teplo
C	J/K	Tepelná kapacita
H	W/K	Merný tepelný tok
C	W/m^2	Tepelný tok konvekciou
M	W/m^2	Energetický výdaj
W	W/m^2	Užitočný mechanický výkon
R	W/m^2	Výdaj tepla sálaním
E	W/m^2	Výdaj tepla odparovaním vody v pľúcach
C	W/m^2	Teplo odovzdané ohrievaním vdychovaného vzduchu
α	1	Konštanta
ε	1	Súčiniteľ priradenia vrstvy
κ	$J/(m^2 \cdot K)$	Plošná tepelná kapacita
λ	$W/(m \cdot K)$	Tepelná vodivosť
τ	h	Časová konštanta

Φ	W	Tepelná strata
ω	W.h/(m ² ·K)	Jednotkové teplo
R	(m ² ·k)/W	Tepelný odpor
C	J/(kg·K)	Tepelná kapacita
ρ	kg/m ³	Hustota

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1. PPD ako funkcia PMV[5]</i>	16
<i>Obr. 2. Ukážka príkladu priebehu chladnutia daného objektu so znázornenou časovou konštantou τ tohto deja</i>	25
<i>Obr. 3. Rozdelenie PCM materiálov podľa chemického zloženia[21]</i>	40
<i>Obr. 4. Príklad PCM ako homogenný materiál[28]</i>	43
<i>Obr. 5. Materiáli s PCM, vľavo- tehly s PCM, vstrebe – sklenené tehly s PCM, vpravo -kompozitná doska [28]</i>	43
<i>Obr. 6. Schéma vybíjania a nabíjania PCM, pasívne chladenie – nabíjanie PCM na ľavo, vybíjanie PCM v noci na pravo[29]</i>	44
<i>Obr. 7. Pôdorys miestnosti D308</i>	51
<i>Obr. 8. Rez miestnosti D308</i>	52
<i>Obr. 9. Umiestnenie statívu s meracími sondami v strede miestnosti</i>	53
<i>Obr. 10. Zaznamenávajúci modul ALMEMO 8690-9A[37]</i>	55
<i>Obr. 11. Snímač intenzity osvetlenia FLA 603 VL2[38]</i>	55
<i>Obr. 12. Snímač vlhkosti FH A646 M6[41]</i>	56
<i>Obr. 13. Gulový teplomer ZA 9030 FS2[39]</i>	56
<i>Obr. 14. Thermoanemometer FVA935TH4[40]</i>	56
<i>Obr. 15. Teplotná sonda ZA 9020 FS[41]</i>	57
<i>Obr. 16. Infrapyrometr Amir 7814[37]</i>	57
<i>Obr. 17. Priebeh vonkajšej teploty ovzdušia, získanej na základe meteorologickej stanice umiestnenej na streche budovy UTB-FAI Zlín, ktorá bola použitá ako inicializačná hodnota vonkajšej teploty v simulácii</i>	58
<i>Obr. 18. Súčet spotrieb elektrickej energie spotrebovanej za 24 hodín 2kW a 3kW ohrievačom dohromady, vonkajšia stredná denná teplota vzduchu pre obdobie priebehu merania spotrieb</i>	59
<i>Obr. 19. Rozloženie tlakov vodnej pary v typickom mieste konštrukcie</i>	64
<i>Obr. 20. Energetický štítok obálky budovy</i>	65
<i>Obr. 21. 3D model miestnosti 54/308 použitý pre simulácie v COMSOL Multhysics</i>	73
<i>Obr. 22. Priebeh teplôt miestnosti 54/308 s pôvodnou stavebnou konštrukciou – rez miestnosti - chladnutie v čase 27 hodín</i>	74

<i>Obr. 23. Porovnanie priebehu nameranej teploty vzduchu vo vnútri miestnosti s vnútornou teplotou vzduchu získanou zo simulácie.</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 24. Porovnanie priebehu teplôt vnútorného vzduchu [16].....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 25. Skladba upravenej konštrukcie s použitím sadrokartónu, akumuláčného panelu a minerálnej vaty</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 26. Skladba upravenej konštrukcie s použitím sadrokartónu a akumuláčného panelu</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 27. Aproximácia nasimulovaného chladnutia vnútornej teploty vzduchu pri použití pôvodnej stavebnej konštrukcie miestnosti 54/308.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 28. Nasimulované priebehy chladnutia teploty vnútorného vzduchu pre vybrané stavebné konštrukcie, kde je označuje Z – pôvodnú konštrukciu; SAMZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón, akumuláčny panel a minerálnu vatu; SAZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón a akumuláčny panel. Vrstvy sú umiestnené tak ako popisuje kapitola 10</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 29. Porovnanie získaných hodnôt časových konštánt pre príslušné stavebné skladby, kde označuje Z – pôvodnú konštrukciu; SAMZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón, akumuláčny panel a minerálnu vatu; SAZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón a akumuláčny panel.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 30. Porovnanie získaných hodnôt akumuláčnych dôb pre príslušné stavebné skladby, kde označuje Z – pôvodnú konštrukciu; SAMZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón, akumuláčny panel a minerálnu vatu; SAZ – pôvodná konštrukcia doplnená o sadrokartón a akumuláčny panel.....</i>	<i>83</i>

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 1. Merný energetický výdaj na m² telesnej plochy podľa fyzickej aktivity[18].....</i>	14
<i>Tab. 2. Sedembodová stupnica tepelných pocitov[5]</i>	15
<i>Tab. 3. Požadované a doporučené hodnoty súčiniteľa prestupu tepla pre vybrané konštrukcie s prevažujúcou vnútornou návrhovou teplotou v intervale 18°C až 22°C vrátane[3]</i>	19
<i>Tab. 4. Hodnoty poklesu výslednej teploty v miestnosti v zimnom období podľa ČSN 73 0540-2[3, s. 26]</i>	23
<i>Tab. 5. Najvyššia požadovaná hodnota dennej teploty vzduchu v miestnosti v letnom období[3]</i>	24
<i>Tab. 6. Minimálna intenzita výmeny vzduchu n_{min} [8, s. 64]</i>	37
<i>Tab. 7. Vnútorné plochy v miestnosti 54/308.....</i>	52
<i>Tab. 8. Kontrolné porovnanie správnosti záznamov teplôt z Almemo 8690-9A s hodnotami získanými ručným infrapyrometrom AMIR 7814.....</i>	54
<i>Tab. 9. Okrajové podmienky pre miestnosť D308</i>	60
<i>Tab. 10. skladba obvodovej steny</i>	61
<i>Tab. 11. skladba stĺpu kontaktného s vonkajškom</i>	61
<i>Tab. 12. skladba stropu-strechy.....</i>	61
<i>Tab. 13. skladba vnútorných stien</i>	62
<i>Tab. 14. skladba podlahy.....</i>	62
<i>Tab. 15. Súčinitele prestupu tepla konštrukcie</i>	63
<i>Tab. 16. Spočítané hodnoty merných tepelných kapacít konštrukcií miestnosti.....</i>	66
<i>Tab. 17. Spočítané hodnoty merných tepelných tokov prestupom</i>	67
<i>Tab. 18. Prehľad tepelno technických parametrov stavebných konštrukcií obvodovej steny vrátane jednotkového akumulovaného tepla ω_k.....</i>	69
<i>Tab. 19. Súčin jednotkového tepla a danej stavebnej konštrukcie a príslušnej plochy</i>	70
<i>Tab. 20. Vypočítané hodnoty stredných denných teplôt vonkajšieho vzduchu z nameraných údajov.....</i>	71
<i>Tab. 21. Vybrané tepelno-technické parametre použitých materiálov pre ovplyvnenie tepelne akumulačných vlastností miestnosti v simulácii</i>	77
<i>Tab. 22. Vypočítané hodnoty časových konštánt pre vybrané konštrukčné riešenia vyhotovené pre použitie na miestnosť 54/308</i>	79

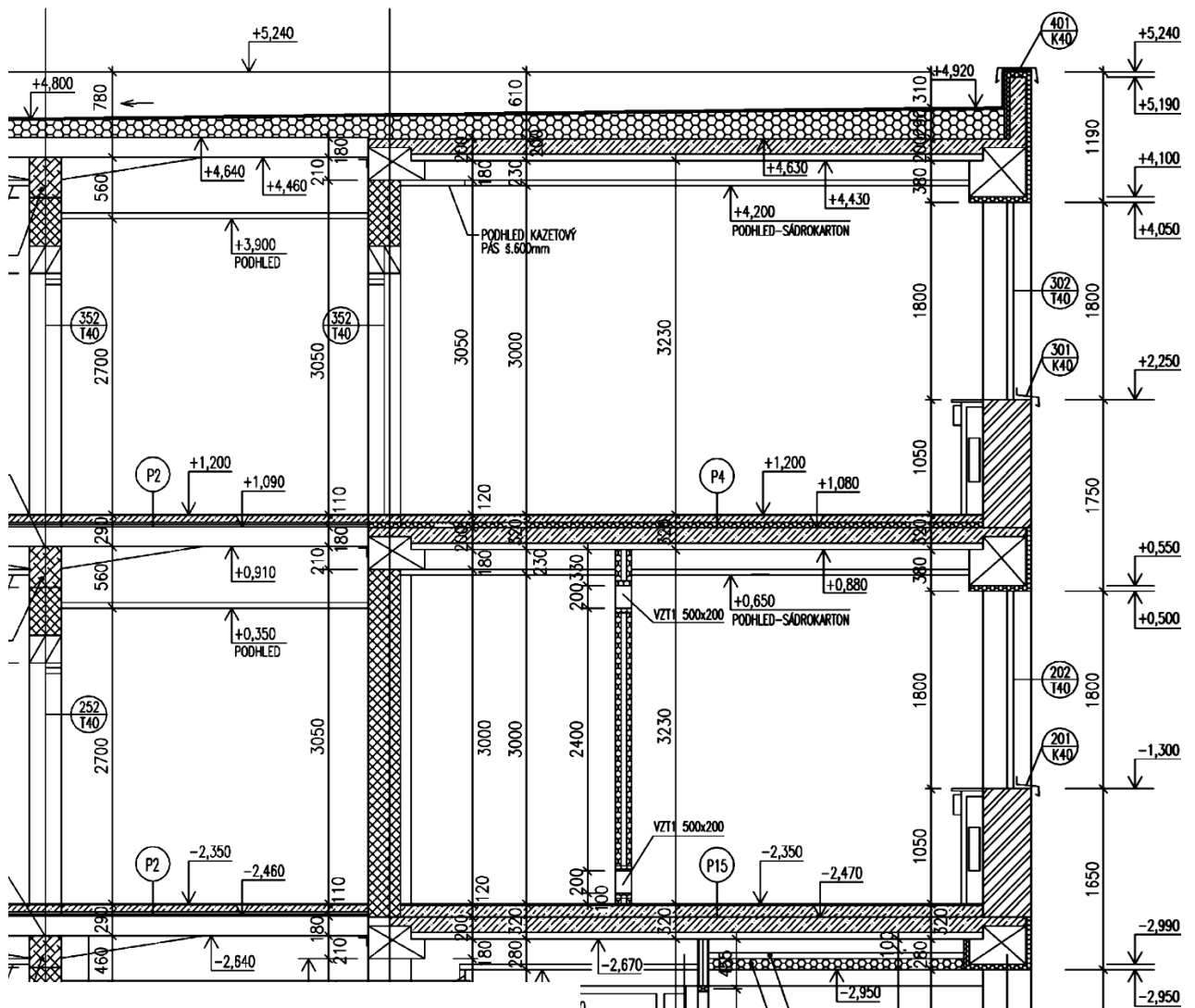
<i>Tab. 23. Vypočítané hodnoty akumulčných dôb pre vybrané konštrukčné riešenia vyhotovené pre použitie na miestnosť 54/308</i>	<i>82</i>
<i>Tab. 24. Vypočítané hodnoty konštánt α pre vybrané konštrukčné riešenia aplikované na miestnosť 54/308</i>	<i>84</i>

ZOZNAM PRÍLOH









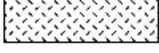

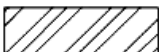
Príloha P I Časť pôdorysu obsahujúceho miestnosť D308

Príloha P II Časť rezu zahŕňajúceho miestnosť D308

PRÍLOHA P II: ČASŤ REZU ZAHŔŇAJÚCEHO MIESTNOSŤ D308



LEGENDA HMOT

-  STÁVAJICI KONSTRUKCE
-  BETONOVÉ KONSTRUKCE
PODKLADNI BETON
-  ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE
-  POROTHERM tl. 450 mm P10, MC 5
-  POROTHERM tl. 300 mm P15, MC 5
-  CP P10, MVC 2,5
-  SDK KONSTRUKCE
TEPELNÉ IZOLACE
-  HUTNÉ ZÁSYPY ZEMINOU
-  HUTNÉ ŠTERKOPISKOVÉ PODSYPY
-  HUTNÉ ŠTERKOPISKOVÉ PODSYPY
-  HYDROIZOLACE

