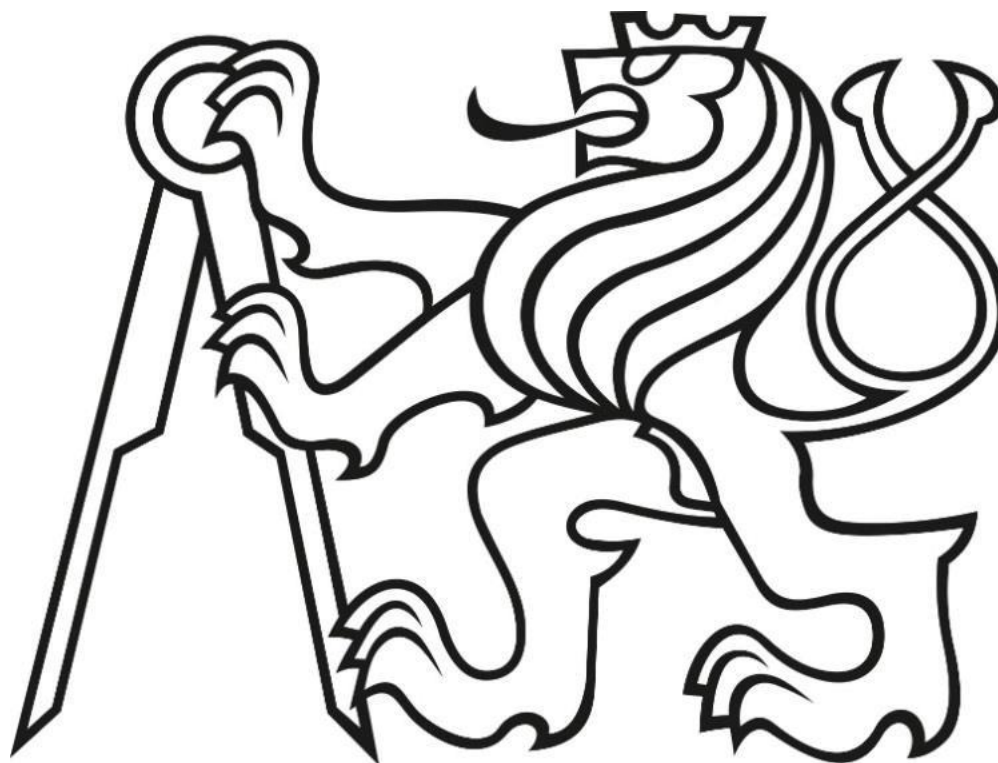


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

Katedra technických zařízení budov



Projekt vzduchotechniky knihovny a knihkupectví

Bakalárska práca

125BAPC –2020/2021

Vypracoval: Štefan Planeta

Vedúci bakalárskej práce: Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Planeta</u>	Jméno: <u>Štefan</u>	Osobní číslo: <u>477262</u>
Zadávací katedra: <u>katedra technických zařízení budov</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Projekt vzduchotechniky knihovny a knihkupectví</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Design of library and book store ventilation system</u>	
Pokyny pro vypracování: Zpracujte projekt systému vzduchotechniky budovy knihovny a knihkupectví v rozsahu rozšířeného projektu pro stavební řízení. Navrhněte koncepci systému, stanovte návrhové parametry. Nadimenzujte jednotlivé prvky vč. potrubní sítě, distribuce, vzduchotechnických zařízení, aj. Zpracujte výkresovou dokumentaci jednotlivých podlaží, nezbytné fezy a výkresy strojovny. Napište technickou zprávu a proveďte soupis základních prvků. V rozšiřující části zpracujte rešerši netradičních možností chlazení budov.	
Seznam doporučené literatury: S.C. Fu, et.al. Bio-inspired cooling technologies and the applications in buildings, Energy and Buildings, Volume 225, 2020, ISSN 0378-7788, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110313 . D. K. Bhamare, et. al. Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art, Energy and Buildings, Volume 198, 2019, Pages 467-490, ISSN 0378-7788, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.023 .	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>17.2.2021</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>16.5.2021</u>
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Vyhlasenie

Vyhlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne, s pomocou uvedenej literatúry a verejne dostupných zdrojov.

V Prahe, 16.5.2021

Štefan Planeta

Pod'akovanie

Týmto by som sa chcel poďakovať pánovi Ing. Danielovi Adamovskému, Ph.D. za odborný dohľad a odborné rady, podporu, ochotu a čas, ktorý mi venoval. Taktiež by som rád poďakoval svojim rodičom za podporu v štúdiu.

Obsah

Abstrakt	7
Abstract	7
1 Úvod	8
2 Návrh vzduchotechniky v knižnici	9
2.1 Popis objektu	9
2.2 Požiadavky	9
2.3 Koncept vetrania	9
2.4 Tepelná záťaž	9
2.5 Koncept chladenia	10
2.6 Vzduchotechnická jednotka	10
2.7 Potrubie	10
2.8 Koncové prvky pre prívod vzduchu	11
2.8.1 Chladiace trémie	12
2.8.2 Tanierové ventily	13
2.9 Koncové prvky pre odvod vzduchu	14
2.10 Regulácia sústavy	14
3 Návrh vzduchotechniky v knižkupectve	15
3.1 Popis objektu	15
3.2 Požiadavky	15
3.3 Systém vetrania	15
3.4 Tepelná záťaž	15
3.5 Vzduchotechnická jednotka	16
3.6 Potrubie	16
3.7 Koncové prvky pre prívod a odvod vzduchu	16
3.8 Regulačné prvky	16
4 Spôsoby pasívneho chladenia	17
4.1 Ochrana pred tepelnou záťažou	17
4.1.1 Vnútorne tepelné zisky	17
4.1.2 Vonkajšie tepelné zisky	18
4.1.3 Okolité zeleň	18
4.1.4 Vodné plochy	19
4.1.5 Ochrana pred solárnymi ziskmi	20
4.2 Zmiernenie výkyvov tepelnej záťaže	21

Projekt vzduchotechniky knihovny a knihkupectví

4.2.1	Akumulácia tepla.....	21
4.2.2	Akumulácia tepla stavebnými konštrukciami	23
4.2.3	PCM materiály	24
4.3	Odvádzanie tepelnej záťaže	28
4.3.1	Prirodzené vetranie.....	28
4.3.2	Chladenie sálaním voči oblohe	30
5	Možnosti aplikácie alternatívnych spôsobov na riešené objekty	32
5.1	Ochrana pred tepelnými záťažami.....	32
5.2	Zmiernenie tepelných záťaží	33
5.3	Odvádzanie tepelných záťaží.....	34
6	Záver.....	35
	Zdroje	36
	Zoznam obrázkov	38
	Zoznam príloh	39

Abstrakt

V tejto bakalárskej práci budem riešiť projekt vzduchotechniky knižnice a kníhkupectva na úrovni dokumentácie pre rozšírené stavebné konanie, a následne spracujem rešerš netradičných spôsobov chladenia. Táto práca sa bude skladať z dvoch častí, a to praktickej a teoretickej. V prvej – teoretickej časti sa zameriam na postup pri spracovaní projektu a rešerš rozširujúcej časti. V druhej časti opíšem riešenie projektu a spracujem úvahu, ktoré z netradičných spôsobov chladenia je možné aplikovať na moje objekty.

Kľúčové slová

vzduchotechnika, chladenie, vetranie, chladiace trámce, PCM materiály, tepelná zátáž

Abstract

In this bachelor's thesis I will solve the project of library and bookstore air conditioning at the level of documentation for extended construction proceedings, and then I will process a search for non-traditional methods of cooling. This work will consist of two parts, practical and theoretical. In the first - theoretical part, I will focus on the process of project processing and research of the extension part. In the second part, I will describe the solution of the project and work out a consideration of which of the non-traditional methods of cooling can be applied to my objects.

Key words

ventilation system, cooling systems, ventilation, chilled beams, PCM materials, heat load

1 Úvod

Táto práca sa bude skladať z dvoch častí, a to projektu vzduchotechniky a rozširujúcej časti zameranej na spracovanie rešerše netradičných možností chladenia budov.

V prvej časti tejto práce sa zameriam na vyriešenie problému odvodu a prívodu vzduchu do objektov knižnice a knihkupectva. Ako podklad som dostal pôdorysy a rezy oboch objektov, doplnené o technickú správu a materiálové skladby, ďalej zadanú situáciu, v ktorej sa nachádzajú obidva objekty, keďže spolu susedia. V situácii však nie sú zaznačené jednotlivé výšky okolitých objektov a zadaná situácia sa nezhoduje s realitou - projekt tohto knihkupectva a knižnice bol len školskou úlohou, a teda pri výpočte tepelnej záťaže nebudem brať do úvahy tienenie okolitými objektami. Riešená budova sa nachádza v Prahe, preto pre výpočet budem používať klimatické dáta práve z tejto lokality.

Mojím cieľom je navrhnúť vzduchotechniku pre tieto dva objekty. Keďže sa vzhľadom na presklenú fasádu očakáva vysoká tepelná záťaž objektu, súčasťou môjho riešenia bude aj návrh chladenie budovy.

V rozširujúcej časti budem spracovávať rešerš netradičných možností chladenia budov. K zisteným možnostiam netradičného chladenia budov sa pokúsim vyhotoviť posudok o možnosti resp. vhodnosti aplikovania týchto systémov aj pre riešené objekty, o efektívnosti takéhoto riešenia a o potrebných náležitostiach z hľadiska návrhu, či už konštrukčného, alebo samotnej vzduchotechniky.

2 Návrh vzduchotechniky v knižnici

2.1 Popis objektu

Ide o ideový projekt, ktorý bol predmetom študentskej úlohy a riešil administratívnu budovu s funkciou knižnice so štyrmi nadzemnými a jedným podzemným poschodím, ktoré je ale súčasťou aj iných objektov, o ktorých ale nemám dostupné informácie, a preto toto podzemné poschodie v tejto bakalárskej práci nebude predmetom riešenia.

Ako už bolo uvedené, objekt sa nachádza v Prahe 5 a ide o novostavbu. Podľa poskytnutej situácie je v okolí plánovaná zástavba administratívnymi budovami.

V prvom nadzemnom poschodí sa nachádza kaviareň, zvyšok objektu tvorí knižnica. Súčasťou knižnice sú kancelárie, prednášková sála, klubovňa, výpožičné priestory, výstavné priestory, hygienické zázemie a zázemie pre zamestnancov. Celková úžitková plocha je 1856,48 m².

V budove je použitý monolitický železobetónový systém, nosné steny sú doplnené o podporné stĺpy a stropy sú rovnako monolitické. Obálku budovy tvoria nosné steny v kombinácii s presklenou fasádou. V objekte je použitá plochá strecha, a preto je možné umiestniť vzduchotechnickú jednotku na strechu.

2.2 Požiadavky

Požiadavky, ktorými som sa riadil pri vypracovaní projektovej časti a ktoré v prvom rade vychádzajú z noriem, sú uvedené v technickej správe.

2.3 Koncept vetrania

V objekte knižnice je použitý rovnotlakový vetrací systém. Do každého poschodia je privádzané aj odvádzané rovnaké množstvo vzduchu. Odvod vzduchu je riešený z miestností s výskytom ľudí, zo skladov a hygienického zázemia. Vzduch je privádzaný do miestností s predpokladaným výskytom ľudí. Medzi miestnosťami je zabezpečený tok vzduchu pomocou vetracích mriežok umiestnených vo dverných otvoroch. Systém vetrania je doplnený o systém chladenia, ktorý je popísaný nižšie.

V objekte budem využívať dva vertikálne rozvody, a to kvôli komplikáciám s priestorovými a akustickými požiadavkami v prednáškovej sále na prvom poschodí. Do prvého poschodia teda privádzam aj odvádzam vzduch pomocou dvoch vertikálnych rozvodov, do zvyšných podlaží privádzam a odvádzam vzduch už len jednou. Druhé, tretie a štvrté poschodia sú identické, preto aj vzduchotechnika je na týchto poschodiach riešená identicky.

2.4 Tepelná zát'az

Pri výpočte tepelnej zát'aze som postupoval v súlade s normou ČSN 73 0548. Najväčšiu tepelnú zát'az tvorí solárny zisk skrz presklenú fasádu. Taktiež vysoké tepelné zisky produkujú aj ľudia nachádzajúci sa v interiéri. V niektorých miestnostiach, najmä v kancelárskych priestoroch, tvoria významný podiel na tepelnej zát'azi aj elektronické zariadenia.

Projekt vzduchotechniky knihovny a knihkupectví

Celková tepelná záťaž objektu je 27 055 W a je kompenzovaná celkovým chladiacim výkonom o hodnote 27 336 W, čiže sa tam nachádza aj istá rezerva. Záťaž bude kompenzovaná najmä chladiacimi trámami, ale aj tanierovými ventilmi, ktoré privádzajú ochladený vzduch zo vzduchotechnickej jednotky.

Podrobný výpočet tepelnej záťaže je možné vidieť v prílohe č. 3.

2.5 Koncept chladenia

Z dôvodu vysokej tepelnej záťaže v teplejších mesiacoch som sa rozhodol rozšíriť systém vetrania aj o systém chladenia. Zvolil som systém voda-vzduch s využitím chladiacich trémcov. Privádzaný vzduch sa ochladí na 20 °C už vo vzduchotechnickej jednotke, lenže to vo väčšine miestností nie je dostatočné na pokrytie tepelných ziskov, preto boli pridané aj chladiace trémce, ktoré výrazne posilnia chladenie.

2.6 Vzduchotechnická jednotka

Pri návrhu vzduchotechnickej jednotky som vychádzal z predpokladaného prietoku a použil som návrhový program Atrea Duplex 9.00.016. Vybral som jednotku Duplex 5000 Roto-N. Jednotka musí zvládnuť požadovaný prietok vzduchu 3 990 m³ a prekonať externý statický tlak 185 Pa pre prívod a 130 Pa pre odvod vzduchu.

Táto jednotka je určená ako nástrešná. Pri návrhu riešenia som vychádzal z toho, že suterén nebol predmetom riešenia tejto bakalárskej práce a v objekte nebolo možné umiestniť vzduchotechnickú jednotku. Objekt má plochú strechu, preto by nemal byť problém s umiestnením jednotky na nej.

Navrhnutá vzduchotechnická jednotka spĺňa požiadavky ErP 2016 a ErP 2018. Táto jednotka disponuje ventilátormi pre prívod aj odvod vzduchu Me.110.EC3. Filtrácia je riešená odvodným aj prírodným kazetovým filtrom ePM10 50% (M5) s použitým vodným chladičom W 5000 3R / typ 2. Ohrev nebol predmetom návrhu, avšak je možný. Na hrdlách s vonkajším aj odvádzaným vzduchom sú použité uzatváracie klapky.

Pri chladení je privádzaný vzduch s teplotou 20 °C. Ako návrhová vonkajšia teplota bola použitá teplota 32 °C s relatívnou vlhkosťou 35%.

2.7 Potrubie

V objekte som navrhoval potrubie pomocou programu DDS-CAD 15. Tento program sa veľmi dobre osvedčil práve pri riešení kolízií a pri priestorovom riešení rozvodov potrubia. Tento program bol veľmi nápomocný aj pri výpočte tlakovej straty a vyznačil úseky potrubia, kde bola prekročená maximálna stanovená rýchlosť. Podľa prietokov a požadovaných rýchlostí som volil dimenziu a podľa priestorových možností som používal hranaté, resp. kruhové potrubie.

Hranaté potrubie bolo použité vo vertikálnych rozvodoch, ale taktiež v horizontálnych, a to kvôli priestorovým požiadavkám. Bolo použité ventilačné potrubie z galvanizovaného oceľového plechu s prírubovým pripojením, pričom najväčší použitý rozmer bol 710x710mm, najmenší 180x125mm.

Kruhové potrubie som používal v dvoch variantoch, a to bezšvíkové spiro-potrubie a flexibilné kruhové potrubie. Flexibilné potrubie som používal pre napájanie niektorých koncových prvkov, kde bolo náročné, resp. nemožné inštalovať bezšvíkové spiro-potrubie. Flexibilné potrubie bolo použité v dimenziách DN 100, DN 125. Pre ostatné rozvody bolo použité spiro-potrubie, ktoré bolo v dimenziách s priemerom od 100 mm do 355 mm.

2.8 Koncové prvky pre prívod vzduchu

Pri výbere koncových prvkov pre chladenie som sa rozhodoval medzi jednotkami fan-coil a chladiacimi trámami. Vo svojom článku Ing. Jan Farka [1] porovnáva chladiace trámce a jednotky typu fan-coil. Na základe výsledkov jeho výskumu sa aktívne chladiace trámce javia ako vhodné a v mnohých prípadoch aj výhodnejšie riešenie, než pomerne dosť zaužívané jednotky fan-coil.

Ďalej uvádza, že aktívne chladiace trámce sú schopné distribuovať vetrací vzduch bez ohľadu na to, či chladia. Výhodou týchto trámec je aj to, že nemajú ventilátor, teda neprodujú akustický výkon navyše, čo sa v priestoroch ako knižnica naozaj hodí. Taktiež privádzajú vodu s teplotou vyššou než rosný bod, z čoho plynie, že nemusíme riešiť odvod kondenzátu, a zároveň je vhodnejší z hľadiska tepelnej pohody, keďže privádza vzduch s vyššou teplotou než jednotky fan-coil.

Autor tohto článku [1] taktiež robil porovnanie z ekonomického hľadiska, kde pre rovnaký objekt bol navrhnutý systém s použitím chladiacich trámec aj jednotiek fan-coil. Ako je možné vidieť v Obr. 1, v investičnej fáze sa jednotlivé systémy výrazne nelíšia, avšak pri prevádzke chladiacim trámcom odpadá významná časť nákladov. Recenzent tohto článku [1] Ing. Marcel Kadlec však spochybňuje nulové náklady na čistenie chladiacich trámec, avšak jednoznačne súhlasí s lepším ekonomickým hľadiskom chladiacich trámec, najmä vo fáze samotnej prevádzky.

Náklady	FCU [€]	CB [€]	CB/FCU [%]
Investiční*	2 818 109	2 608 650	93
Provozní			
- výměna ventilátorů	545 112		
- čištění a výměna filtrů	950 725		
- latentní energie	407 541		
- el. energie - FCU	947 258		
- el. energie - centr. jednotky	649 740	649 740	
Provozní celkem	3 500 376	649 740	19

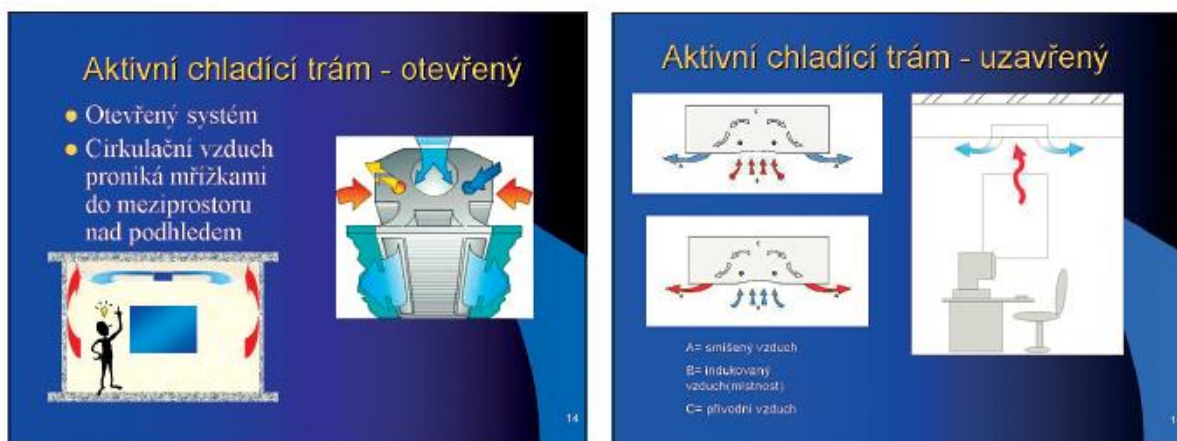
* Inv. náklady jsou uvedeny pouze pro FCU a CB

Obr. 1 Porovnanie investičných a prevádzkových nákladov pri systémoch chladenia s použitím jednotiek fan-coil a chladiacich trámec [1]

Pre využitie aktívnych chladiacich trémcov som sa rozhodol najmä pre ich výhodné prevádzkové náklady, ale tiež z ekologického dôvodu, pretože aktívne chladiace trémce nepotrebujú samostatný prívod elektrickej energie. Ďalšou výhodou je to, že nie je potrebné riešiť odvod kondenzátu, čo uľahčuje návrh a nesporným prínosom je aj nižšia akustická záťaž. Oproti pasívnym chladiacim trémcom sú aktívne výhodnejšie tým, že sú schopné privádzať vzduch, čo zároveň zvyšuje aj chladiaci výkon [1].

2.8.1 Chladiace trémce

Pre tento objekt som zvolil aktívne chladiace trémce uzatvorené, ktoré síce majú nižší chladiaci výkon, ale nasávajú vzduch z miestnosti. Toto riešenie si nevyžaduje takú častú údržbu na rozdiel od otvorených, ktoré ho nasávajú z podhľadu, kde sa nachádza prach a iné nečistoty.

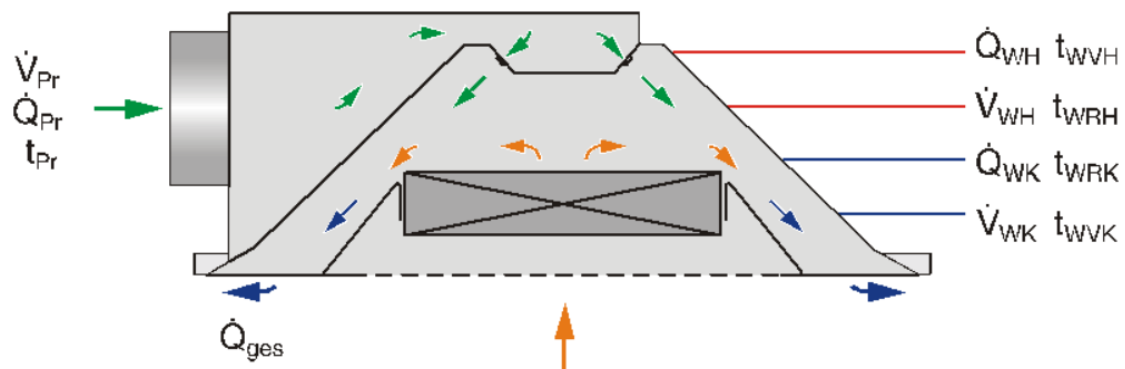


Obr. 2 Princíp činnosti otvoreného chladiaceho trému [1]

Obr. 3 Princíp činnosti uzatvoreného chladiaceho trému a jeho umiestnenie [1]

Pre návrh chladiacich trémcov som využíval software Trox – Easy product finder 2 a Trox – X-BIM. Chladiace trémce som teda požiil od tohto výrobcu, a zvolil som produkt DID632 (viď Obr. 5). Privádzaný vzduch sa zmiešava s cirkulačným vzduchom z miestnosti, ktorý bol ochladený pomocou horizontálneho výmenníku tepla. Princíp činnosti je možné vidieť aj na Obr. 4. Tieto chladiace trémce sú vhodné pre rastrové stropy s charakteristickým rozmerom 625 mm, ktoré sú použité v oboch objektoch. [2] Boli použité dva varianty, a to s rozmermi 1 200 x 1 200 x 593 mm a 1 800 x 1 800 x 593. Tieto chladiace trémce majú možnosť aj odvodu vzduchu, no nebola využitá a odvod vzduchu bol riešený samostatne.

Veľkosť a počet chladiacich trémcov bol navrhnutý s ohľadom na akustické požiadavky.



Obr. 4 Princíp činnosti chladiaceho trámca DID632 [2]



DID632 Active chilled beams

Obr. 5 Chladiaci trámeč typu DID 632 [2]

2.8.2 Tanierové ventily

V miestnostiach, kde nebola tepelná záťaž, ktorá by si vyžadovala použitie chladiacich trámecov, bol riešený prívod vzduchu tanierovými ventilmi, ktoré však privádzajú ochladený vzduch zo vzduchotechnickej jednotky, čím kompenzujú tepelné zisky. V niektorých miestnostiach bola pre efektívnejšie riešenie tepelnej záťaže a prívodu čerstvého vzduchu taktiež využitá kombinácia chladiacich trámecov a tanierových ventilov.

Tanierové ventily som rovnako zvolil od firmy Trox a to konkrétne model LVS 100.

2.9 Koncové prvky pre odvod vzduchu

Pre odvod vzduchu boli použité rovnaké prvky ako pre prívod vzduchu, a to tanierové ventily Z-LVS 100 od firmy Trox.

2.10 Regulácia sústavy

Na reguláciu vzduchotechnickej sústavy je v prvom rade využité nastavenie koncových prvkov, v niektorých prípadoch je však potrebné pridať zariadenie slúžiace na reguláciu prietoku vzduchu, taktiež od firmy Trox, a to konkrétne regulačné klapky radu VFC. Toto zariadenie je určené pre konštantný prietok vzduchu a nevyžaduje pripojenie elektriny, čo korešponduje so systémom chladiacich trámecov, ktoré boli takisto volené z dôvodu nevyužívania elektrickej energie pre chod zariadenia.

V prípade prekročenia akustických požiadaviek pri použití regulátoru prietoku vzduchu budú použité tmiče zvuku CS050 a CS025, taktiež od firmy Trox, čím bude akustická záťaž zmiernená na vyhovujúcu akustickú hladinu.

3 Návrh vzduchotechniky v knihkupectve

3.1 Popis objektu

Rovnako ako v prípade knižnice, ide o ideový projekt, ktorý bol predmetom študentskej úlohy a riešil administratívnu budovu s funkciou knižnice s dvomi nadzemnými a jedným podzemným poschodím, ktoré je ale súčasťou aj iných objektov, o ktorých nemám dostupné informácie, preto toto podzemné poschodie v tejto bakalárskej práci nebude predmetom riešenia.

Ako už bolo spomínané, objekt sa nachádza v Prahe 5 a je to novostavba. V okolí je podľa mne dodanej situácie plánovaná okolitá zástavba administratívnymi budovami.

V prvom nadzemnom poschodí sa nachádza samostatná komerčná jednotka s hygienickým zázemím a zázemím pre zamestnancov. Zvyšok objektu tvorí knihkupectvo. Súčasťou knihkupectva sú kancelárie, miestnosť určená pre workshopy, predajný priestor, skladové priestory, hygienické zázemie a zázemie pre zamestnancov. Celková úžitková plocha je 354,93 m².

V budove je použitý monolitický železobetónový systém a rovnako aj stropy sú monolitické. Nosné steny sú doplnené o podporné stĺpy, obálku budovy tvoria nosné steny v kombinácii s presklenou fasádou. V objekte je použitá plochá strecha, je teda možné umiestniť vzduchotechnickú jednotku na strechu.

3.2 Požiadavky

Požiadavky, ktorými som sa riadil pri vypracovávaní projektovej časti, vychádzajú v prvom rade z noriem a sú uvedené v technickej správe.

3.3 Systém vetrania

V objekte knihkupectva je rovnako ako v knižnici použitý rovnotlakový vetrací systém. Odvod vzduchu je riešený z miestností s výskytom ľudí, zo skladov a hygienického zázemia. Vzduch je privádzaný do miestností s predpokladaným výskytom ľudí. Medzi miestnosťami je zabezpečený tok vzduchu pomocou vetracích mriežok umiestnených vo dverných otvoroch. Systém vetrania je doplnený o systém chladenia, ktorý je popísaný nižšie.

V objekte budem využívať dva vertikálne rozvody, jeden pre samostatnú komerčnú jednotku, druhý pre objekt knihkupectva. Do prvého poschodia teda privádzam aj odvádzam vzduch pomocou dvoch vertikálnych rozvodov, do zvyšných podlaží privádzam a odvádzam vzduch už len jedným stúpacím potrubím.

3.4 Tepelná záťaž

Výpočet tepelnej záťaže v objekte knihkupectva prebiehal podobne ako pri výpočte v objekte knižnice, popísanom v kapitole 2.4.

Celková tepelná záťaž objektu je 9 394 W a je kompenzovaná celkovým chladiacim výkonom o hodnote 9 554 W, čiže sa tam nachádza aj istá rezerva. Záťaž bude kompenzovaná

Projekt vzduchotechniky knihovny a knihkupectví

najmä chladiacimi trámami, ale aj tanierovými ventilmi, ktoré privádzajú ochladený vzduch zo vzduchotechnickej jednotky.

Podrobný výpočet tepelnej záťaže je možné vidieť v prílohe č. 3.

3.5 Vzduchotechnická jednotka

Pri návrhu vzduchotechnickej jednotky som vychádzal z predpokladaného prietoku. Pre návrh som použil návrhový program Atrea Duplex 9.00.016. Vybral som jednotku Duplex 2500 Multi Eco-N. Jednotka musí zvládnuť požadovaný prietok vzduchu $1\,575\text{ m}^3$ a prekonať externý statický tlak 241 Pa pre prívod a 94 Pa pre odvod vzduchu.

Táto jednotka je určená ako nástrešná. Uvedené riešenie som zvolil na základe toho, že suterén nebol predmetom riešenia tejto bakalárskej práce a v objekte nebolo možné umiestniť vzduchotechnickú jednotku. Objekt má plochú strechu, preto by nemal byť problém s umiestnením jednotky na nej.

Vzduchotechnická jednotka spĺňa požiadavky ErP 2016 a ErP 2018. Táto jednotka disponuje ventilátormi pre prívod aj odvod vzduchu Me.109.EC3. Filtrácia je riešená odvodným aj prívodným kazetovým filtrom ePM10 50% (M5), s vodným chladičom W 2500 3R / typ 1. Ohrev nebol predmetom návrhu, avšak je možný. Na hrdlách s vonkajším aj odvádzaným vzduchom sú použité uzatváracie klapky.

Pri chladení je privádzaný vzduch o teplote $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ako návrhová vonkajšia teplota bola použitá teplota $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ s relatívnou vlhkosťou 35%.

3.6 Potrubie

Hranaté potrubie bolo použité len v okolí vzduchotechnickej jednotky z dôvodu napojenia na vzduchotechnickú jednotku. Bolo použité ventilačné potrubie z galvanizovaného oceľového plechu s prírubovým pripojením. Najväčší použitý rozmer bol $710 \times 450\text{ mm}$, najmenší $400 \times 300\text{ mm}$.

Kruhové potrubie som používal v dvoch variantoch, a to bezšvíkové spiro-potrubie a flexibilné kruhové potrubie. Flexibilné potrubie som použil pre napájanie niektorých koncových prvkov, kde bolo náročné, resp. nemožné viesť bezšvíkové spiro-potrubie. Flexibilné potrubie bolo použité v dimenziách DN 100, DN 125. Pre ostatné rozvody bolo použité spiro-potrubie, ktoré bolo v dimenziách s priemerom od 100 mm do 355 mm.

3.7 Koncové prvky pre prívod a odvod vzduchu

Riešenie prívodu a odvodu vzduchu bolo veľmi podobné ako v prípade knižnice, ktoré bolo bližšie popísané v kapitolách 2.8 a 2.9.

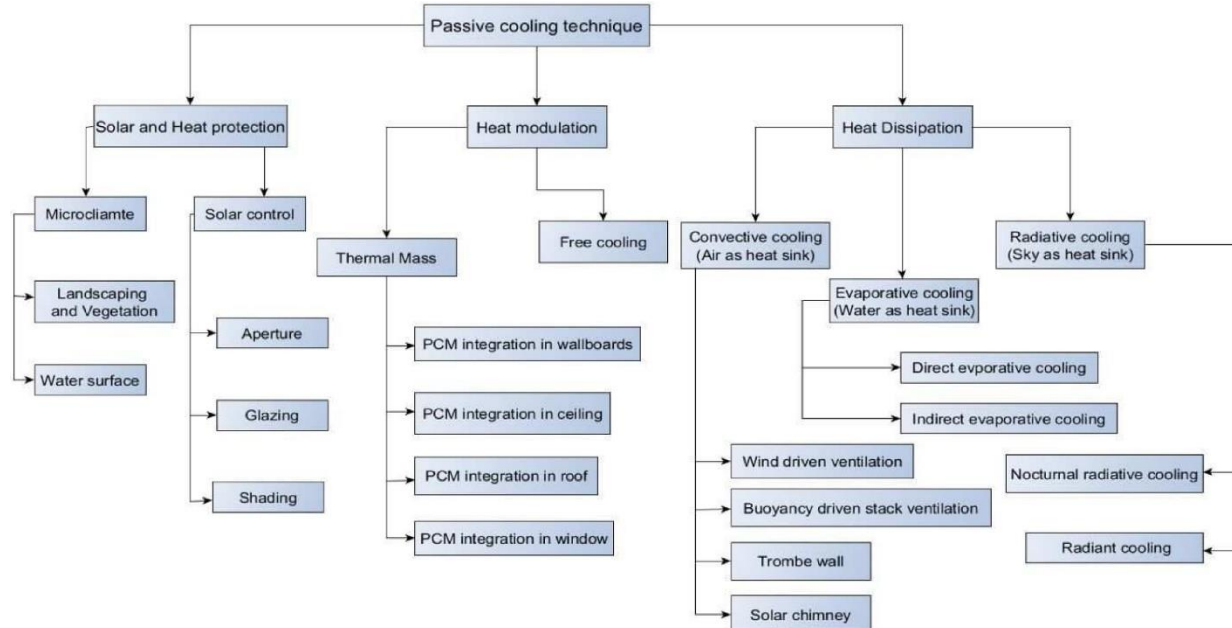
3.8 Regulačné prvky

Riešenie regulácie vzduchotechnickej sústavy bolo veľmi podobné ako v prípade knižnice, ktoré bolo bližšie popísané v kapitole 2.10.

4 Spôsobych pasívneho chladenia

Pasívne techniky chladenia sa zameriavajú na efektívne využitie okolitého prostredia pre zmiernenie tepelnej záťaže. Pre tento účel je možné využiť napríklad okolitý vzduch, vodu, nočnú oblohu, a taktiež aj samotný stavebný materiál v stavebných konštrukciách. Tieto techniky sa delia do troch skupín [3], a to:

1. Ochrana pred tepelnými ziskami
2. Zmiernenie výkyvov tepelnej záťaže
3. Odvádzanie prebytočnej tepelnej záťaže



Obr. 6 Delenie alternatívnych spôsobov chladenia [3]

4.1 Ochrana pred tepelnou záťažou

Tepelné zisky môžu pochádzať z rôznych zdrojov, no je možné ich deliť na dve základné kategórie:

1. vnútorné
2. vonkajšie

4.1.1 Vnútorné tepelné zisky

Medzi vnútorné tepelné zisky sa radia napríklad produkcia tepla osobami, produkcia od elektronických zariadení, technického vybavenia, produkcia od osvetlenia, taktiež z činností akými sú napr. varenie a pod.. Tieto vnútorné tepelné zisky sa výrazne menia v čase a podľa Ing. Radoslava Ponechala, PhD. [4] závisia vo veľkej miere na obsadenosti budovy, resp. jednotlivých miestností. Ďalej hovorí o potrebe akumulácie tepla z vnútorných ziskov pomocou stavebných konštrukcií, pričom sa má prebytočné uskladnené teplo odvádzať v noci. Preto sa odporúča započítavať tieto tepelné zisky pomocou denného rozvrhu. Príklad návrhu takéhoto denného rozvrhu je možné vidieť v článku Ing. Radoslava Ponechala, PhD. [4].

4.1.2 Vonkajšie tepelné zisky

Hlavným zdrojom vonkajších tepelných ziskov sú predovšetkým slnečné žiarenie a teplý vonkajší vzduch. Hlavnými spôsobmi ako zabezpečiť ochranu pred vonkajšími tepelnými ziskami je upravenie mikroklimy a ochrana pred slnečnou radiáciou [3].

4.1.3 Okolitá zeleň

Použitie zelene, či už stromov alebo ostatnej zelenej vegetácie, je jedna z najstarších známych techník chladenia, a zároveň môže byť z ekonomického hľadiska veľmi výhodnou metódou [3]. Pre účely chladenia, resp. vytvorenia chladnejšej mikroklimy môže byť zeleň použitá dvoma spôsobmi:

1. Vegetácia je súčasťou objektu
2. Vegetácia sa nachádza v okolí objektu

Súčasťou objektu môže byť vegetácia formou zelených striech, zelených stien, zelených balkónov, izbových rastlín a pod.. K regulácii teploty v interiéri výborne poslúži zelená strecha. Rastliny sú schopné v horúcom letnom počasí zachytiť výraznú časť ziskov spôsobených slnečným žiarením, pričom túto schopnosť posilňuje aj strešný substrát. Vďaka hydroakumulačnej vrstve pod strešným substrátom je tiež možné spomaliť nárast teploty v interiéri. To celé vlastne výrazne uľahčuje prácu tepelnej izolácii, keďže povrch strechy nie je natoľko prehriaty, pričom rozdiel teplôt na hydroizolačnej fólii môže byť až 55°C, ako za iných okolností, a teda tepelná izolácia tlmí menší teplotný rozdiel [5]. Zelené strechy nájdu uplatnenie aj v zime, preto je toto riešenie výhodné z hľadiska celoročného tepelného komfortu. Z praktického hľadiska užívateľa sa ako skvelá možnosť javí extenzívna zelená strecha, ktorá je v podstate bezúdržbová, pričom ju nie je potrebné ani pravidelne zavlažovať a hnojiť, či vykonávať iné úpravy, ako napr. kosenie [6].



Obr. 7 Príklad zelenej strechy [6]

Aj terénne úpravy a zeleň v okolí objektu, ako sú napríklad stromy a kríky, vedia výrazne napomôcť k zníženiu tepelnej záťaže. A.K. Meier [7] uvádza, že podľa niektorých prieskumov môže viesť správny návrh k zredukovaniu nákladov na klimatizovanie o 25-50%, v niektorých prípadoch dokonca až o 80%. Tieto úpravy prispievajú k zmierneniu tepelnej záťaže pomocou tienenia, redukujú zisky infiltráciou a vytvárajú chladnejšie prostredie v okolí budovy.

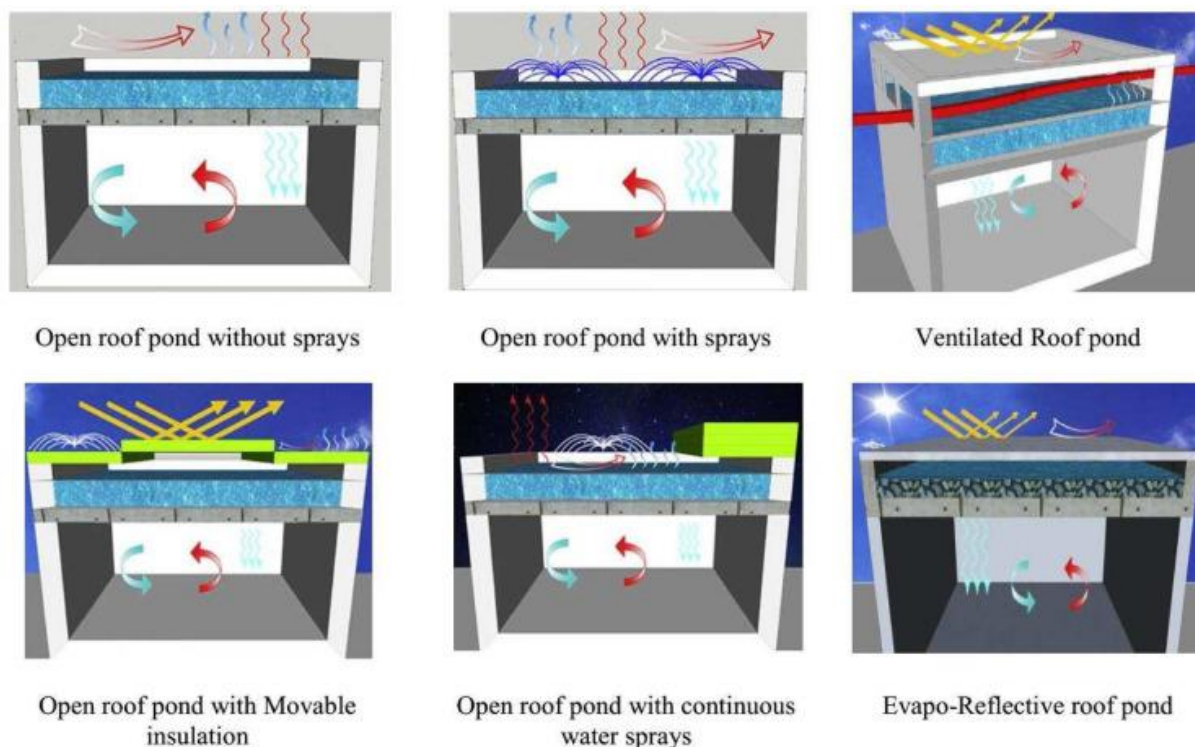
4.1.4 Vodné plochy

Strechy bývajú v niektorých prípadoch najviac zaťažované slnečným žiarením, preto je vhodné venovať vysokú pozornosť riešeniu tohto problému. N. M. Nahar [8] uvádza, že v niektorých prípadoch až 50% tepelných ziskov môže viesť skrz strechu, a to v dôsledku toho, že strecha je najviac náchylná konštrukcia vzhľadom k polohe k slnku pre zisky od slnečného žiarenia. Jednou z alternatív môže byť aj umiestnenie vodnej plochy na streche.

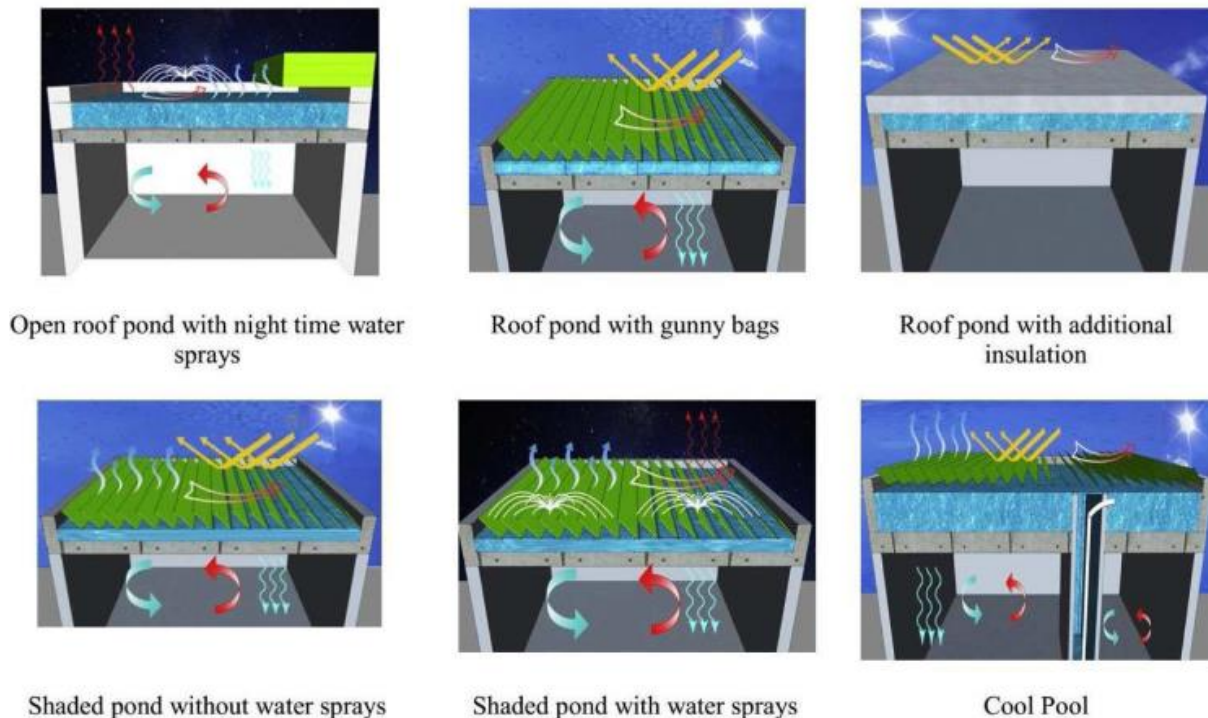
Vodná plocha umiestnená na streche je lacná, moderná a ekologická možnosť pasívneho chladenia. Toto riešenie nájde skvelé uplatnenie v prípade teplého a suchého podnebia, avšak nie je také efektívne vo vlhkom prostredí, resp. jeho efektívnosť v tomto prostredí nie je potvrdená výskumami [3].

Otázne je však, nakoľko výhodné, a či vôbec možné, by bolo použitie tejto metódy vzhľadom na statiku. Preto by si aplikácia takýchto konštrukcií vyžadovala zvlášť posúdenie statikom.

Vodnú plochu je možné aplikovať na strešnú konštrukciu rôznymi spôsobmi, niektoré príklady aplikácie vodnej plochy na streche sú znázornené na Obr. 8 a Obr. 9.



Obr. 8 Aplikácie vodnej plochy na strechu - 1. časť [3]



Obr. 9 Aplikácie/aplikovanie vodnej plochy na strechu objektu - 2. časť [3]

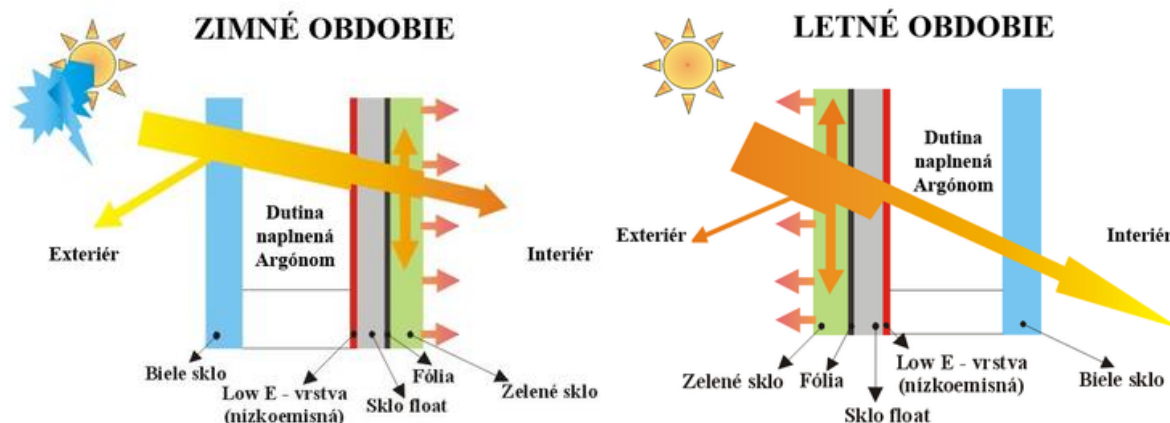
4.1.5 Ochrana pred solárnymi ziskmi

Veľmi dôležitou súčasťou ochrany pred tepelnými záťažami je ochrana pred solárnym žiarením. Pre tento účel môžeme využiť princípy ako odrazivosť materiálov, najmä striech, nakoľko tie sú zatťažované slnečným žiarením pod najlepším uhlom z hľadiska tepelnej záťaže. Teploty niektorých tmavých striech sa môžu vyšplhať až na úroveň 66 °C, pričom za rovnakých podmienok bolo pri streche s dobrou odrazivosťou svetla nameraných iba 28 °C [9].

Následne sa do tejto kategórie určite radia aj okenné otvory, cez ktoré zvyknú byť tepelné záťaže veľmi výrazné. Preto je dôležité pri návrhu myslieť na minimalizovanie týchto záťaží a navrhnuť vhodné opatrenia. Možností je viac a patrí sem napríklad použitie tieniacich prvkov, akými sú napríklad markízy, pergoly, bočné rebrá, žalúzie, rolety a iné.

Žalúzie sú jedným z najvyužívanejších prvkov tienenia a existuje množstvo druhov, pričom primárne sa delia na vonkajšie a vnútorné. Pre redukciu solárnych ziskov pôsobia lepšie vonkajšie žalúzie. Najlepšou technológiou sú žalúzie v tvare „Z“, pretože v uzavretom stave tvoria celistvú plochu, ktorá zabezpečuje dokonalé tienenie [10].

Ďalšou možnosťou je využitie tzv. solárneho diódového zasklenia, ako uvádza Ing. Ján Szabó [11]. Ide o izolačné trojsklo zložené z bieleho, zeleného a float skla. Zelené sklo má absorpčnú funkciu. Princíp fungovania tohto systému spočíva v absorpcii a následnej akumulácii slnečného žiarenia, po čom v závislosti na ročnom období, resp. na aktuálnej potrebe, nasleduje chladenie alebo vykurovanie, vysálanie tohto tepla smerom dovnútra alebo von. Pri tomto skle musí užívateľ v závislosti na klimatických podmienkach vymeniť orientáciu skla. Znázornenie tohto princípu je možné vidieť na Obr. 10 a Obr. 11.



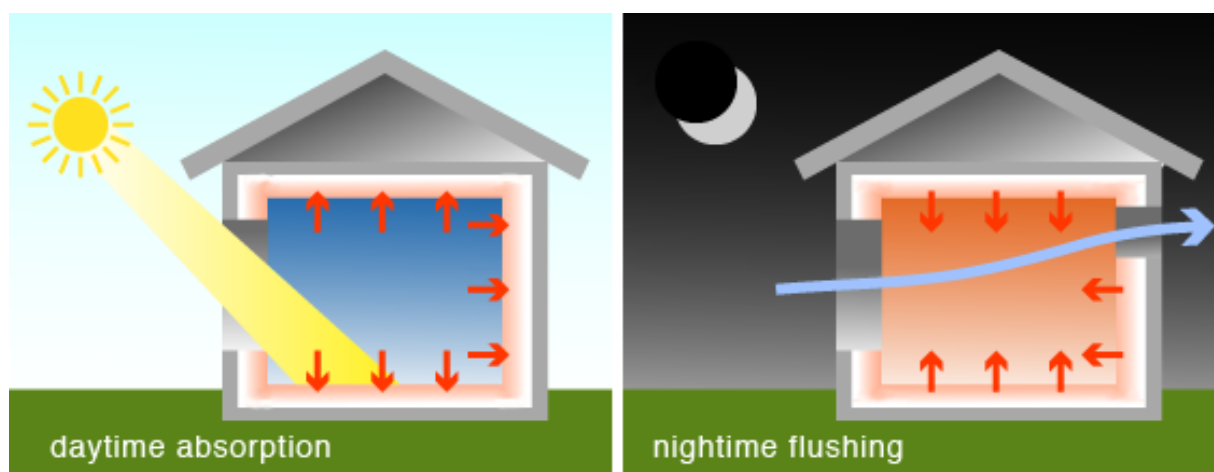
Obr. 10 Schéma fungovania SDZ zasklenia v zimnom období [11]

Obr. 11 Schéma fungovania SDZ zasklenia v letnom období [11]

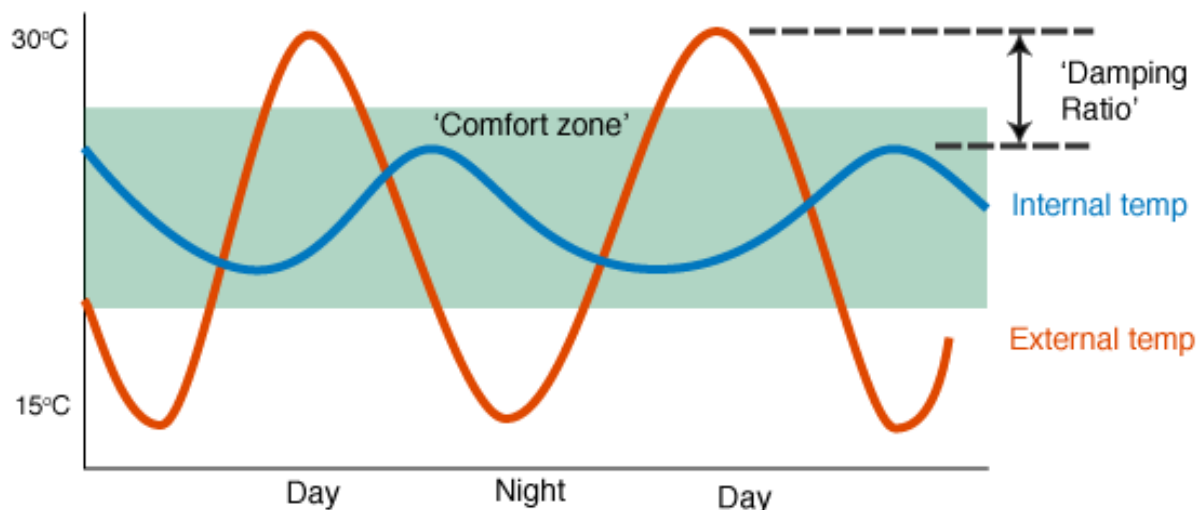
4.2 Zmiernenie výkyvov tepelnej záťaže

4.2.1 Akumulácia tepla

Veľmi výhodnou metódou je využívanie akumulácie tepla v stavebných konštrukciách, čím vieme zmierniť výkyvy teplôt, ako cez deň, tak aj v noci. Bez tejto vlastnosti stavebných konštrukcií môže vystúpiť teplota príliš vysoko, v noci však príliš poklesnúť. Z hľadiska tepelnej pohody je ideálne udržiavať teplotu čo najviac konštantnú. Vhodný priebeh vnútornej teploty v porovnaní s vonkajšou teplotou je vidieť na Obr. 13. Z tohto je teda zrejmé, že akumulácia tepla umožňuje uskladňovať teplo v čase, kedy je na prítlač (horúci deň) a uvoľniť ho v čase, kedy je naopak potrebné (noc). Tento princíp však má byť cyklický, preto je potrebná regenerácia stavebnej hmoty, teda zníženie teploty, napríklad nočným prevetrávaním, aby bol materiál znovu pripravený uskladňovať prebytočné teplo [3].



Obr. 12 Princíp fungovania akumulácie tepelnej záťaže a jej následné odvádzanie v nočných hodinách



Obr. 13 Priebeh vnútornej a vonkajšej teploty pri použití akumulácie tepla

Pre tento účel je vhodné využívať stavebné konštrukcie. Toto uplatňujú najmä stavby s masívnejšou konštrukciou a tepelnou izoláciou z vonku.

Existujú tri základné spôsoby, ktorými je možné dosiahnuť akumulácie tepelnej energie (avšak existuje aj množstvo iných chemicko-fyzikálnych procesov):

1. akumulácia citel'ného tepla
2. akumulácia latentného tepla
3. absorpcia vodnej pary

Akumulácia citel'ného tepla bola prvým využívaným princípom, využívajúcim látku s veľkou tepelnou kapacitou a ideálne nízkou cenou. Veľmi dobre sa na tento účel javí voda, ktorá má mernú tepelnú kapacitu $4,2 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Občas sa využívajú aj pevné látky, no tie majú výrazne nižšiu tepelnú kapacitu. Medzi výhody tejto metódy je možné zaradiť nízku cenu pracovnej látky, naopak ale veľký objem môže byť v mnohých prípadoch nevýhodou. V norme ČSN 73 0540-2:200 [12] je bližšie popísaná akumulácia citel'ného tepla v stavebných materiáloch.

Akumulácia latentného tepla funguje na princípe fázovej zmeny materiálu. Sú známe tri druhy, a to topenie, resp. tuhnutie, ďalej vyparovanie, resp. kondenzácia a sublimácia, resp. resublimácia. Nevýhodou práce s parou je jej veľmi obtiažne skladovanie, preto sa pre tento účel veľmi nevyužíva. Využíva sa teda najmä princíp zmeny skupenstva medzi plynnou a kvapalnou fázou. Výhodou oproti predošlému princípu je rovnomerná teplota a zväčša menšie priestorové požiadavky kvôli väčšinou nižšiemu objemu. Nevýhodou je však vyššia cena týchto materiálov. Tomuto problému sa budem podrobnejšie venovať v nasledujúcej kapitole.

Tretí spôsob využíva pre účel akumulácie bilanciu pri sorpčných zmenách vlhkosti. Rozhodujúcim parametrom je pri tomto spôsobe relatívna vlhkosť, čiže na rozdiel od vyššie spomenutých princípov nezávisí priamo na teplote, takže výhoda tejto metódy spočíva v tom, že teplota počas akumulácie môže byť ľubovoľná.

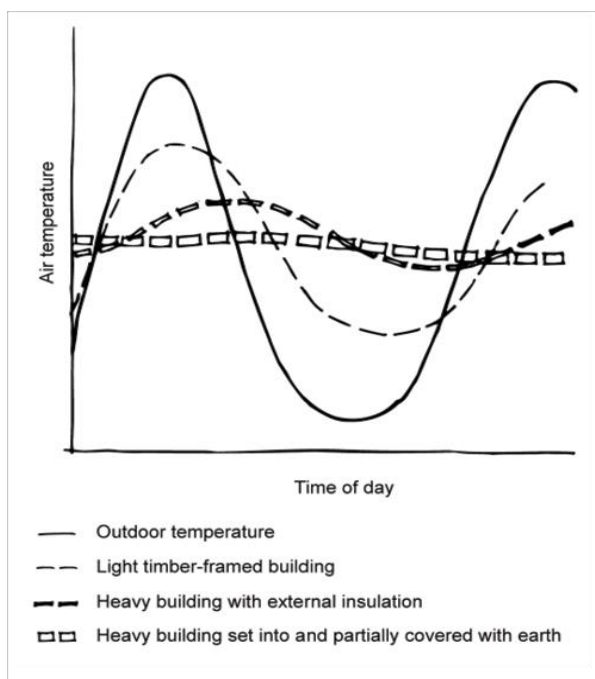
Pri porovnaní akumulačných látok [13] sa z hľadiska pomeru ceny k akumulačným schopnostiam najvýhodnejšie javí voda, vid' Obr. 14.



Obr. 14 Porovnanie ceny materiálu vzhľadom k akumulčným schopnostiam materiálu [13]

4.2.2 Akumulácia tepla stavebnými konštrukciami

V norme ČSN 73 0540-2 :2002 príloha A [12] sa uvádza, že ľahký obvodový plášť neposkytuje najlepšie podmienky pre akumuláciu tepla, avšak tento problém je možné do istej miery kompenzovať akumulčným jadrom objektu, najmä masívnymi stropmi a inými vnútornými konštrukciami. Tento účinok by však mal byť posudzovaný podrobným výpočtom. Pre zlepšenie tepelno-akumulčných vlastností je vhodné umiestniť tepelnú izoláciu k vonkajšiemu povrchu. Porovnanie vnútornej teploty v závislosti od použitej konštrukcie je možné vidieť na Obr. 15.



Obr. 15 Grafické znázornenie priebehu vnútornej teploty v objekte s ľahkou a ťažkou konštrukciou v závislosti od vonkajšej teploty

4.2.3 PCM materiály

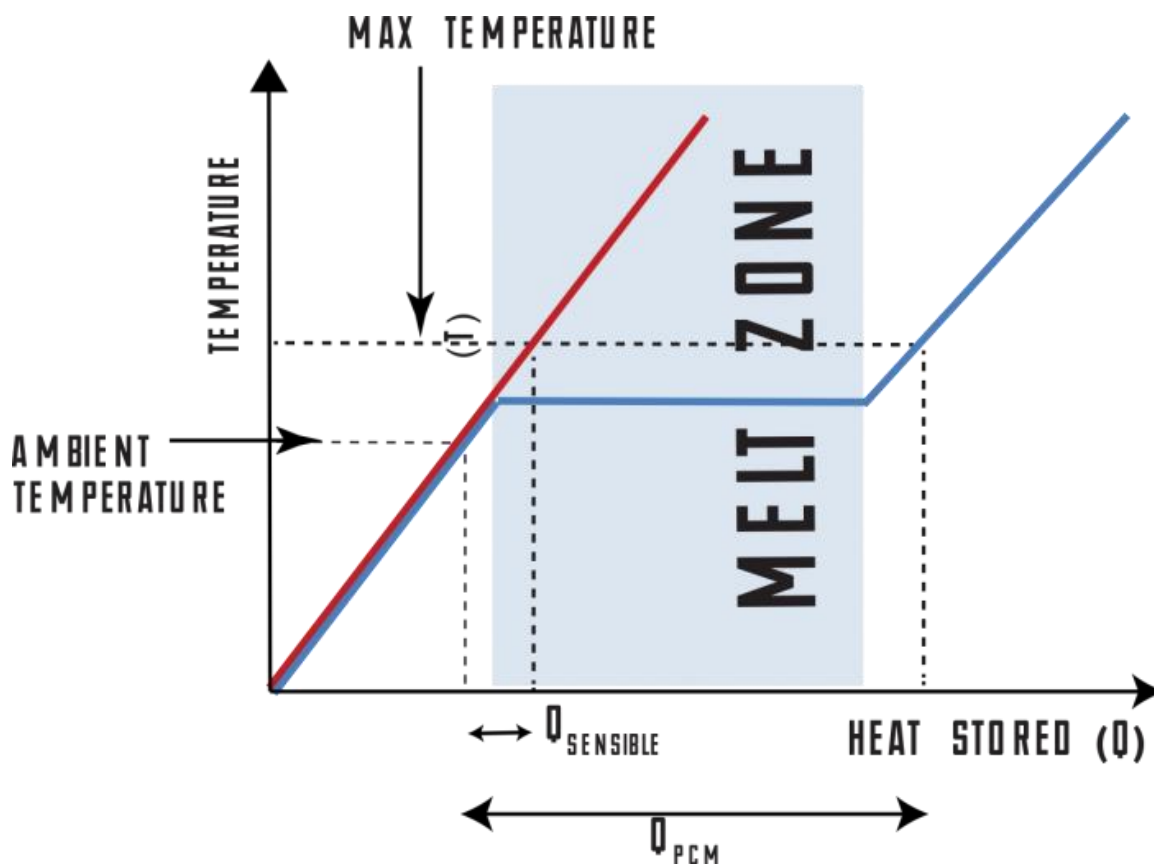
PCM sú materiály, ktoré veľmi dobre fungujú pri akumulácii tepla. Ich princíp je založený na látkovej premene, a to topení, prípadne tavení a následnom tuhnutí. Pre prechod medzi jednotlivými skupenstvami je potrebné určité množstvo tepla, ktoré sa nazýva latentné teplo. To umožňuje zlepšiť akumulačné schopnosti materiálu, pretože prechod medzi týmito skupenstvami prebieha pri takmer konštantnej teplote [14].

Počas dňa tieto materiály absorbujú teplo prichádzajúce do exteriéru a využívajú ho na prechod do kvapalného skupenstva. Pri tomto procese sa teda energia zužitkuje vo forme latentného tepla. To umožňuje stabilizovať teplotu v interiéri, resp. spomaliť jej nárast, čo prispieva k tepelnej pohode obyvateľov.

Následne v noci nastáva vratný proces, keďže v exteriéri dochádza k poklesu teploty, čo je potrebné využiť na odvedenie prebytočného tepla z interiéru. Pre tento účel je možné využiť nútené vetranie alebo pasívne prevetrávanie. Tomuto problému sa budem venovať v neskoršej kapitole. Pri odvedení tepelnej záťaže po dosiahnutí bodu, pri ktorom dochádza k látkovej premene PCM, materiál opätovne prejde do pevného skupenstva. Tento proces umožňuje na ďalší deň znovu spomaliť nárast teploty pomocou spotrebovania latentného tepla, a zároveň tak napomáha udržaniu stabilnej teploty v nočných hodinách.

Pri výbere vhodného PCM materiálu je dôležité správne zvoliť jeho druh v závislosti od požadovanej teploty, čo väčšinou predstavuje pre letný návrhový stav, kedy riešime chladenie objektu, návrhovú teplotu v interiéri, teda niekde medzi 20-26 °C.

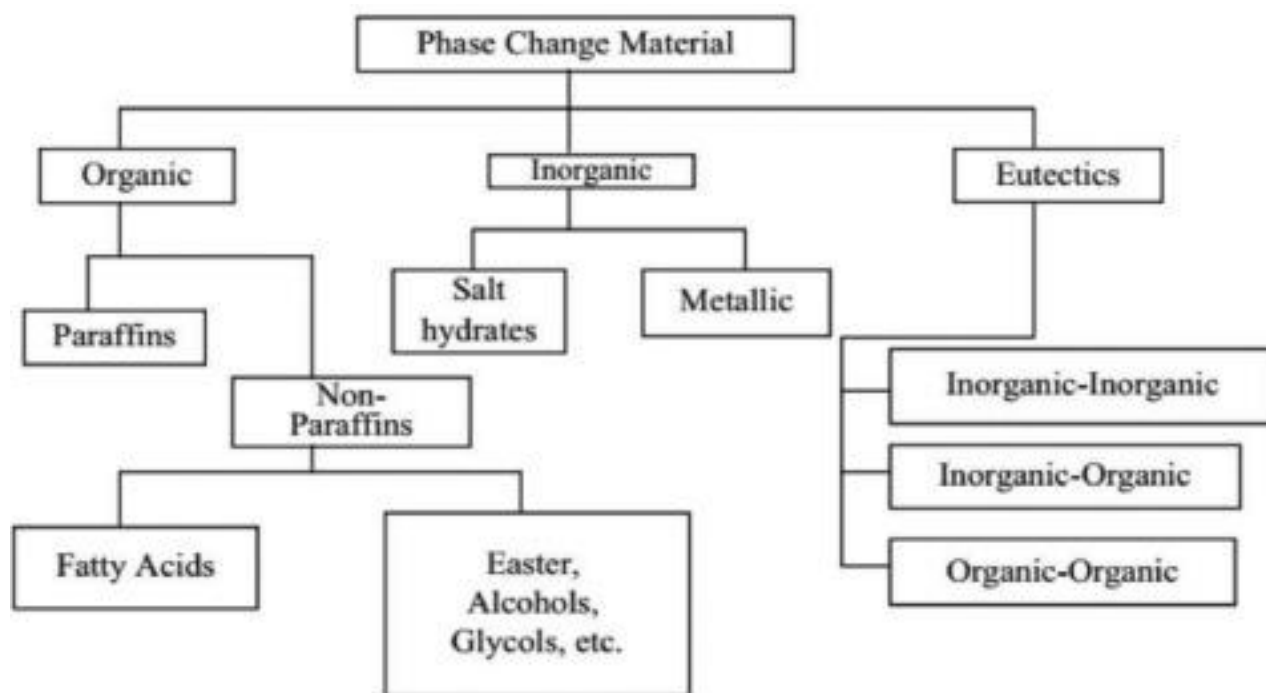
Princíp spomalenia rastu teploty pomocou látkovej premeny PCM materiálu, teda spotreby latentného tepla je zobrazený v Obr. 16.



Obr. 16 Priebeh teploty počas látkovej premeny materiálu [14]

4.2.3.1 Delenie PCM

PCM materiály sa podľa chemického zloženia delia nasledovne, ako je možné vidieť na Obr. 17.



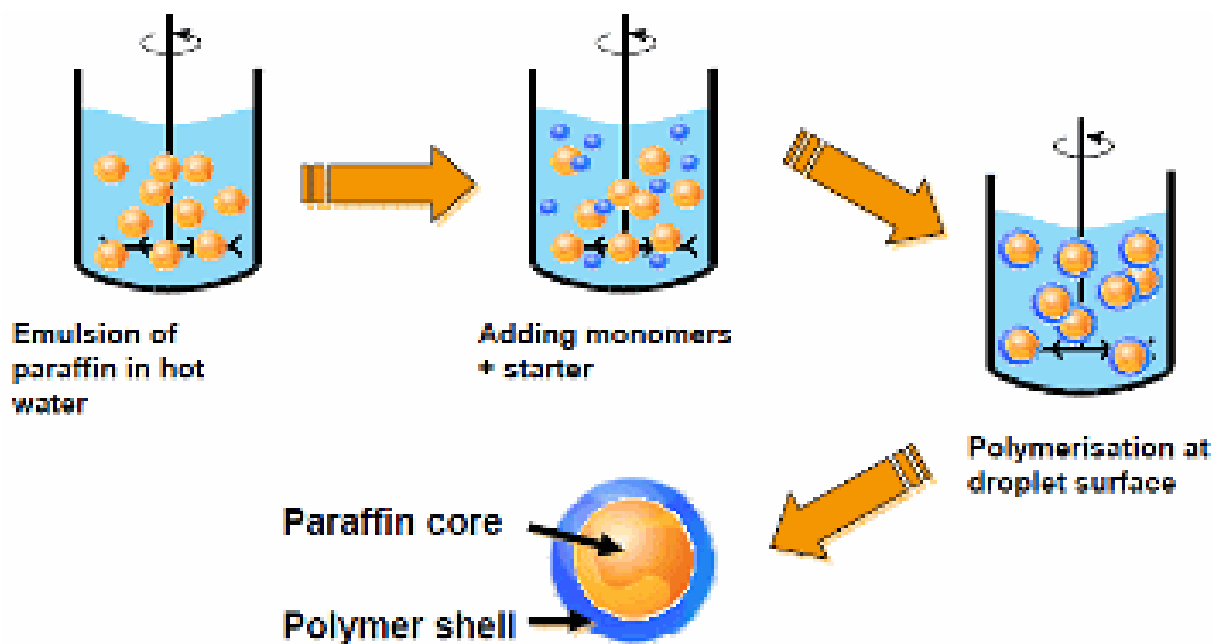
Obr. 17 Rozdelenie PCM materiálov [3]

Ing. Pavla Zavoralová popisuje [15], že organické látky tvoriace PCM materiály sa v podstate rozlišujú medzi zlúčeninami s parafínmi a zlúčeninami bez parafínov. Výhodou zlúčenín s parafínmi je vlastná nukleácia, ktorá napomáha odolávať prechladzovaniu. Parafíny spotrebujú veľmi veľké množstvo latentného tepla, čo ich predurčuje, aby boli vhodné na tento účel. Medzi ich výhody patrí aj cena. Zlúčeniny bez parafínov nie sú veľmi cenovo dostupné, preto sa príliš nevyužívajú. Radia sa sem napríklad estery, dioly, alkoholy, masťné kyseliny a iné.

Pri anorganických látkach sa ku týmto materiálom zaraďujú hydráty solí a kovy. Hydráty solí využívajú pre túto techniku v sebe obsiahnutú vodu. Problémom hydrátov solí je však redukcia množstva látok, pri ktorých dochádza k látkovej premene, a tým pádom sa znižuje aj teplo potrebné na túto premenu.

Eutektiká majú podobnú tepelnú vodivosť s vodou a sú chemicky stabilné, avšak podliehajú korózii.

Existuje viacero spôsobov, ako zaradiť PCM materiály do stavebných konštrukcií. Je možné ich vložiť priamo, ponorením, vákuovou impregnáciou, vo forme kapsuly a pod.. Na Obr. 18 je možné vidieť postup výroby parafínovej mikrokapsuly.



Obr. 18 Výroba mikrokapsulí s obsahom PCM materiálov na báze parafínu [15]

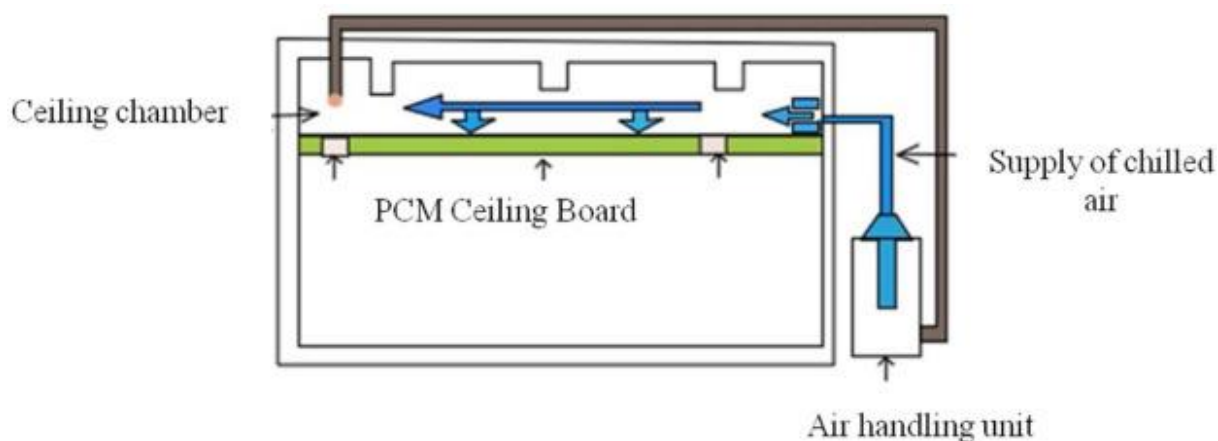
4.2.3.2 PCM v sadrokartónových doskách

Vďaka pomerne nízkej cene sadrokartónových dosiek je vhodné do nich integrovať PCM materiály. Využitie zabudovaných PCM materiálov v sadrokartónových doskách závisí od viacerých faktorov, medzi ktorými sú napríklad podnebné podmienky, teplota, pri ktorej dochádza k látkovej premene, množstvo spotrebovaného latentného tepla vzhľadom k svojmu objemu, ale tiež spôsob zabudovania PCM materiálov do týchto dosiek. Podľa výskumov bolo zistené dosiahnutie maximálnej efektivity skladovania tohto tepla, ak je teplota topenia podobná alebo rovná priemernej teplote v interiéri. Použitie PCM materiálov dokáže napomôcť oneskoreniu zmeny teploty medzi vonkajším a vnútorným prostredím. PCM materiály sa ukázali ako veľmi efektívne najmä v miestnostiach, ktoré boli vystavené slnečnému žiareniu [3].

Podľa výskumu [16] bolo zistené, že sadrokartónové dosky so zabudovaným PCM sú schopné počas režimu chladenia budovy poberať latentné teplo pre látkovú premenu po dobu 16 hodín, no počas noci sa toto teplo vytráti za cca 7 hodín. Tento proces tým pádom pomerne dobre kopíruje potrebu odoberania a naberania tepla počas dňa, a je tak schopný tento proces cyklicky opakovať.

4.2.3.3 PCM v stropných konštrukciách

Stropná konštrukcia vie byť veľmi dobre využitá pre účel akumulácie tepla, avšak zlepšovanie jej akumulačných vlastností môže v mnohých prípadoch narážať na statické a priestorové obmedzenia. Preto sa ako veľmi výhodné javí použitie PCM materiálov. Príklad použitia PCM materiálov formou mikrokapsulí zabudovaných v stropnej doske je možné vidieť na Obr. 19.



Obr. 19 Umiestnenie PCM materiálov do stropnej konštrukcie [3]

Tento spôsob zakomponovania PCM do stropnej dosky bol využitý pri výskume, pri ktorom počas nočných hodín, kedy je tarifa za elektrickú energiu nižšia, chladili pomocou vzduchotechnickej jednotky stropnú konštrukciu s obsahom PCM materiálov. Počas najväčšieho tepelného zaťaženia putuje vzduch cez dosku s PCM materiálom, a to veľmi výrazne znižuje náklady na chladenie [3].

4.2.3.4 PCM v strešnej konštrukcii

Strecha je najviac vystavená slnečnému žiareniu, preto je potrebné klásť veľký dôraz na jej správne riešenie, aby nedochádzalo k veľkej tepelnej záťaži. Tento problém je možné riešiť zvýšením tepelného odporu, a teda pridaním tepelnej izolácie, avšak aj to je vhodné len do určitej miery. Následne sa nám naskytá možnosť pridať PCM materiál, ktorý umožní uskladňovať prebytočné teplo.

Jan Kosny a kol. [17] vyvinuli a testovali strešný panel prirodzene prevetrávaný so solárnym PV panelom obsahujúcim PCM. Výsledky testovania ukázali, že náklady na chladenie boli zredukované o vyše 50% v lete, a zároveň bol zredukovaný tepelný tok pri svojom maxime o 90%. Tento panel je zobrazený na Obr. 20.



Obr. 20 Fotografie testovaných strešných panelov [17]

4.2.3.5 Iné aplikácie PCM materiálov

Ing. Pavla Zavoralová uvádza [18], že PCM materiály je možné aplikovať aj do náterov, žalúzií, obkladov, ale aj okien. Práve pri oknách je táto aplikácia z hľadiska tepelnej pohody výborným riešením, pretože oknom prenikajú veľké tepelné zisky radiáciou, ale aj prestupom.

4.3 Odvádzanie tepelnej záťaže

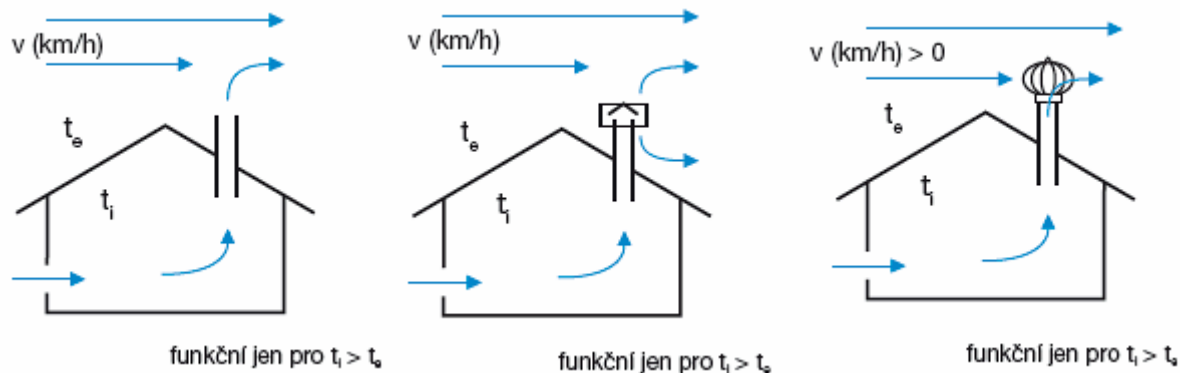
Existuje mnoho spôsobov, ktorými sa dá odvádzať teplo z interiéru. Medzi nich môžeme zaradiť rôzne spôsoby prirodzeného vetrania, ktoré sa využíva najmä v nočných hodinách. Ako už bolo vyššie spomínané, nočné prevetrávanie budovy spolu s akumuláciami schopnosťami budovy vie zabezpečiť adekvátnu tepelnú pohodu. Pri nočnom prevetrávaní je možné použiť aj nútený prívod vzduchu, čo už je síce nákladnejšie než prirodzené spôsoby výmeny vzduchu, avšak zaisťuje výmenu vzduchu aj za nevhodných poveternostných podmienok a je možné ho ovládať presne podľa potreby. Prípadne je možné využívať systém hybridného vetrania alebo aj sálania voči nočnej oblohe.

4.3.1 Prirodzené vetranie

Prirodzené vetranie využíva na svoje fungovanie základné fyzikálne princípy, akými sú vztlak, rýchlosť a tlak vetra a podobne. V nočných hodinách je obvykle vo vonkajšom prostredí vzduch s nižšou teplotou, ako je v interiéri, preto sa ponúka priestor pre fungovanie vztlakových síl. Pre tento efekt je vhodné vytvoriť adekvátne podmienky, a to najmä tým, že umožníme chladnému vzduchu vniknúť do budovy a teplému vzduchu uniknúť z budovy, zároveň je však vhodné umožniť mu aj tok vnútri objektu, aby vychladil všetky miestnosti. Tento efekt posilníme, ak zavedieme systém, ktorý umožní uniknúť teplému vzduchu cez vyššie miesta v budove. Pre tento účel vieme využiť systémy ako šachtové vetranie, prípadne aerácia.

4.3.1.1 Šachtové vetranie

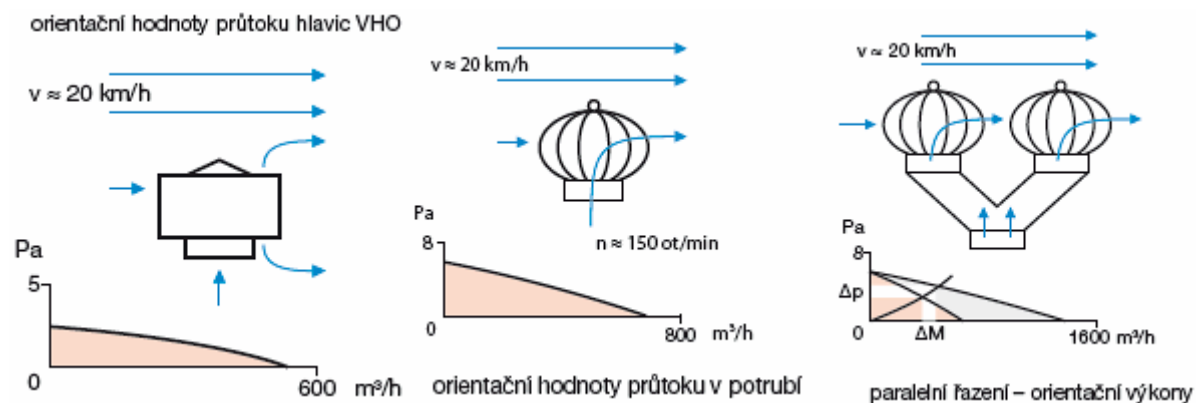
Aby sme mohli hovoriť o chladení, resp. odvoде vzduchu, je potrebné zabezpečiť, aby tento systém pracoval v čase, kedy je vo vonkajšom prostredí nižšia teplota než vnútri objektu. Pri šachtovom vetraní je potrebné umiestniť vetracie mriežky smerom k šachte určenej na prevetrávanie. Šachty môžu byť rôzneho typu, ako napríklad komínové, murované, potrubné, s vetracími hlavicami prípadne rotačnými hlavicami [19]. Ich výhodou je najmä cena a nízke nároky na údržbu, avšak majú aj veľa nevýhod, najmä z hľadiska akustiky a tiež preto, že systém funguje samovoľne, teda prioritne sa jeho funkčnosť odvíja od poveternostných podmienok, a tak môžu nastať prípady, kedy vetrať nebude, alebo prípady, kedy systém môže dokonca fungovať opačne. Navyše, tento systém v zimnom období môže spôsobovať neprimerané tepelné straty. Pri použití vetracích hlavíc síce môže dochádzať k miernemu posilneniu nasávacieho efektu, ktorého funkčnosť ale priamo závisí na poveternostných podmienkach. Na Obr. 22 je možné vidieť, ako tento systém funguje a na Obr. 24 je znázornený princíp fungovania hlavice. Ďalšou možnosťou ako využiť pôsobenie vetra pre posilnenie odvoду vzduchu z budovy sú rotačné hlavice, ktoré fungujú na princípe veterných turbín, využívajúc dozadu zahnuté lopatky. Na Obr. 25 a Obr. 26 ilustrujú funkčnosť hlavice.



Obr. 21 Šachtové vetranie – princíp [19]

Obr. 22 Šachtové vetranie s vetracími hlavicami – princíp [19]

Obr. 23 Šachtové vetranie s rotačními hlavicami [19]



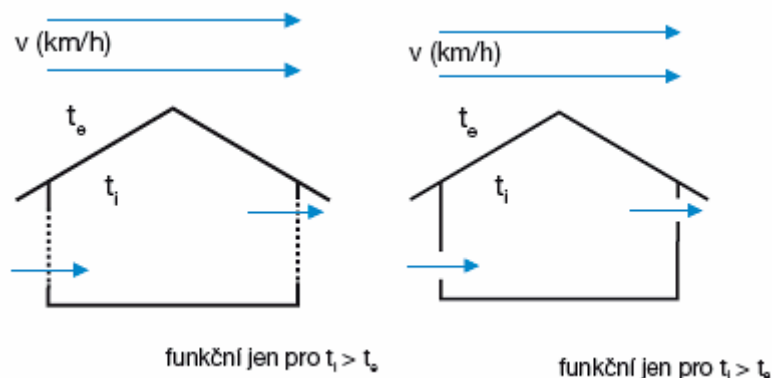
Obr. 24 Vetrací hlavice pre šachtové vetranie [19]

Obr. 25 Rotačná hlavice pre šachtové vetranie [19]

Obr. 26 Paralelne zoradenie rotačných hlavic pre šachtové vetranie [19]

4.3.1.2 Prevetrávanie

Pri prevetrávaní objektu dochádza k výmene vzduchu najmä pomocou účinku vetra, ktorý ale nie je vždy samozrejmosťou, preto tento spôsob nemusí byť vždy efektívny. Pri infiltrácii sa výmena vzduchu koná prúdením vzduchu netesnosťami v konštrukcii, najmä v okenných a dverných otvoroch. Pokiaľ práve nefúka, stále môže systém fungovať na princípe rozdielných teplôt medzi vnútorným a vonkajším vzduchom. Rovnako ako pri šachtovom vetraní, je vhodnejšie vetrať v neskorších hodinách, kedy teplota vo vonkajšom prostredí poklesne, aby týmto dochádzalo k chladeniu a odvádzalo sa prebytočné teplo. Na podobnom princípe funguje aj aerácia, pri ktorej sa využíva umiestnenie otvorov pre tok vzduchu v rozdielných výškach, čím sa teda okrem využívania pôsobenia účinkov vetra využíva aj účinný vztlak, podobne ako pri šachtovom vetraní. Výhodou týchto metód je, že sú lacné a nevyžadujú údržbu, avšak ich funkčnosť veľmi závisí od poveternostných podmienok. Rovnako vzhľadom na prúdenie vzduchu v budove môže vzniknúť diskomfort obyvateľov. Okrem toho, budova tým pádom nie je akusticky uzatvorená a môže dôjsť k prenikaniu hluku [19].



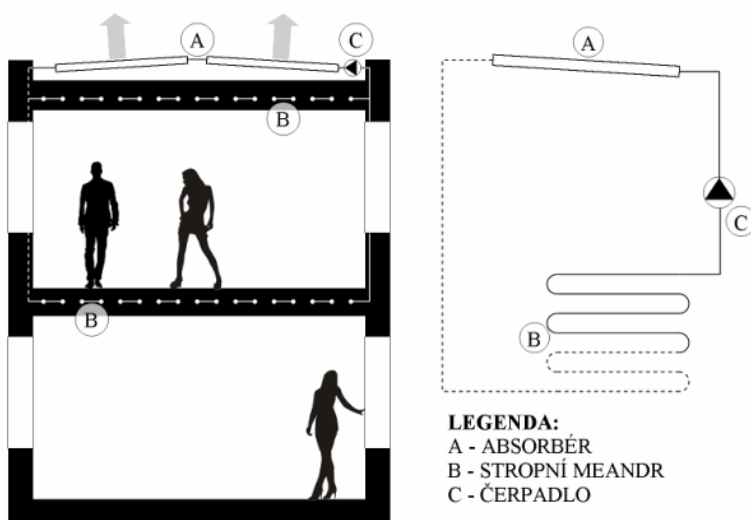
Obr. 27 Infiltrácia – princíp [19]

Obr. 28 Aerácia – princíp [19]

4.3.2 Chladienie sálaním voči oblohe

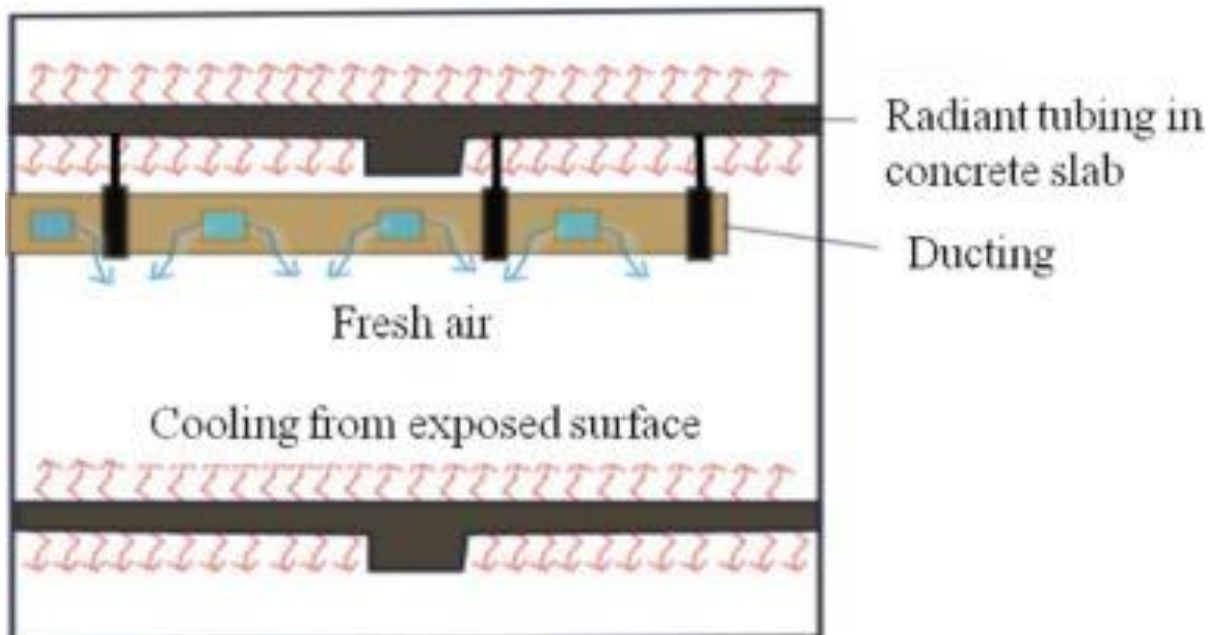
Sálavé chladienie je jeden zo spôsobov pasívneho chladienia. Tento spôsob funguje na základe vyžarovania tepla formou dlhých vln smerom k oblohe, preto sa táto technika chladienia týka povrchov, ktoré sú v priamočiaram kontakte s oblohou. Vyžarovanie samozrejme závisí aj od oblačnosti, preto ideálnym prípadom pre fungovanie tohoto systému je jasná obloha, zatiaľ čo v nepriaznivom počasí je jeho fungovanie značne obmedzené. Vyžarovanie tepla do vesmíru (s teplotou len 3K), je efektívnym spôsobom zbavovania sa prebytočného tepla. Výsledkom je, že povrchy sú schopné dosiahnuť v noci, keď nepôsobí účinok solárneho žiarenia, omnoho nižšiu teplotu než má okolitý vzduch. Vedci skúmali, ako uplatniť tento spôsob aj počas dňa. Počas dňa síce vyžarujú povrchy teplo smerom k oblohe, avšak kvôli tepelným ziskom pochádzajúcim zo solárneho žiarenia je povrch celkovo v tepelnom zisku. Došli k záverom, že je potrebné použitie materiálov schopných výrazne odrážať slnečné žiarenie [9].

Tento efekt je možné využiť aj v kombinácii s obehovou vodou. Vodný okruh slúži na prenášanie tepla z interiéru uloženého v stavebnej konštrukcii do absorbéru, ktorý je pomocou sálenia na nočnú oblohu ochladzovaný [20].



Obr. 29 Princíp fungovanie strešného absorbéru v kombinácii s temperovaním betónového jadra [20]

Použitie sálavého chladenia je z hľadiska tepelného komfortu lepšou metódou než prevetrávanie, pretože nedochádza k výraznému prúdeniu vzduchu. [21]



Obr. 30 Sálavý chladiaci systém [3]

5 Možnosti aplikácie alternatívnych spôsobov na riešenie objekty

Pred aplikáciou jednotlivých možností je potrebné zhodnotiť, v čom sú slabiny objektov, kde vzniká najväčšia tepelná záťaž, čo nám dovoľujú vonkajšie podmienky, či už klimatické alebo priestorové, ako to môže vplývať na statiku a estetiku a či to bude mať vplyv na funkčnosť iných systémov.

Vzhľadom na to, že riešené objekty knižnice a kníhkupectva disponujú presklenou fasádou, a preto sú najviac zaťažované solárnymi ziskmi. Tie sa v závislosti od orientácie jednotlivých presklených fasád v priebehu dňa líšia a vznikajú vysoké špičky v tepelných záťažiach.

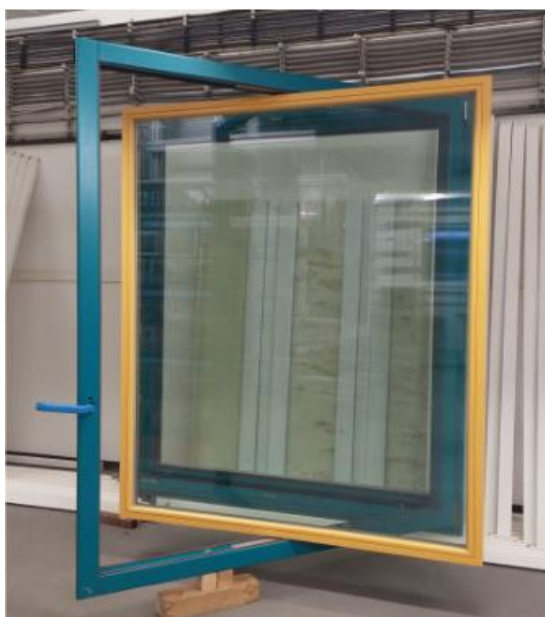
Budova sa nachádza v intraviláne mesta Praha 5 a v zástavbe, čo trochu limituje niektoré možnosti alternatívneho chladenia, a taktiež to limituje dispozičné možnosti.

5.1 Ochrana pred tepelnými záťažami

Ochrana pred tepelnými stratami je v tomto prípade veľmi dôležitá, ba priam kľúčová. Presklená fasáda spôsobuje obrovskú tepelnú záťaž a tú je potrebné v najväčšej prípustnej miere redukovať. Pozornosť teda musí byť venovaná ako kvalite zasklenia tak, aj tieniacim prostriedkom.

Vzhľadom na okolitú zástavbu nie je možné využiť na clonenie prostriedky, akými sú zeleň, pergoly alebo markízy. Do výpočtov už bol formou tieniaceho súčiniteľa zahrnutý vplyv tieniacich prostriedkov a aj druhu zasklenia. Nebolo však zahrnuté tienenie okolitými budovami, pretože nebola známa ich výška.

Ako bolo spomínané v kapitole 4.1.5, veľmi dobré vlastnosti vykazuje solárne diódové okno. Preto by ako alternatíva mohlo byť navrhnuté solárne diódové okno. Vo výskume [22] sa uvádza, že podľa nameraných hodnôt, dosiahlo toto solárne diódové okno len 58% tepelného zisku v porovnaní s referenčným oknom.



Obr. 31 Rotačné okno s Kunertovým solárnym diódovým zasklením [22]

Je vhodné brániť prestupu tepla cez strechu. Vzhľadom na statickú náročnosť by použitie vodnej plochy na streche nebolo veľmi vhodným prostriedkom. O niečo lepšie by ale mohla fungovať zelená strecha. Extenzívna zelená strecha je výhodná vďaka nízkym požiadavkám na údržbu. Pri plnom nasiaknutí vodou je celkové zaťaženie strechy do $1,2\text{kN/m}^2$ [6]. To platí pri hrúbke vrstvy substrátu do 100 mm, ktorý pre extenzívnu zeleň postačuje. Každopádne je to záťaž navyše a toto riešenie by si vyžadovalo posúdenie statikom. Na streche knihkupectva bola použitá práve táto technológia a bol zavedený extenzívny trávnatý porast v substráte OPTIGREEN typu M s hrúbkou vrstvy 150 mm.

Na streche je možné použitie materiálov schopných výrazne odrážať slnečné žiarenie. Avšak v objektoch riešených v tejto bakalárskej práci sú strechy veľmi silno zaizolované, pričom tepelné zisky prestupom cez strešnú konštrukciu sú v porovnaní so solárnymi ziskmi cez presklenú fasádu a ostatné presklené otvory v podstate zanedbateľné.

5.2 Zmiernenie tepelných záťaží

Akumulácia tepla je v týchto budovách veľmi žiadaná. Tepelné záťaže v špičke príliš prehrievajú objekt, a preto je potrebné tieto špičky zmierniť. Keďže budova disponuje rozsiahlou presklenou fasádou, možnosť akumulovať teplo do obvodových stien nie je veľká. Tým pádom je vhodné využiť ostatné prostriedky ako masívne železobetónové stropy a vnútorné steny a priečky pre čo najlepšiu akumuláciu tepla. Preto treba zvážiť, do akej miery budú tieto plochy zakryté kobercami a nábytkom, aj keď je zrejmé, že v knižnici a knihkupectve sa nábytok predpokladá. Veľmi vhodným riešením môže byť aj použitie PCM materiálov.

V objekte je použitá sendvičová skladacia priečka s hrúbkou 150 mm so sadrokartónovou doskou RIGIPS s hrúbkou 12,5 mm a akustickou izoláciou. Práve tieto priečky vidím ako jedno z vhodných miest pre zakomponovanie materiálov na báze PCM.

Taktiež je v objekte navrhnutý sadrokartónový podhl'ad, ktorý zakrýva vzduchotechniku a iné rozvody TZB. Tento podhl'ad je aj vhodným miestom pre vloženie materiálov na báze PCM.



Obr. 32 Aplikácia PCM materiálov do stavebných konštrukcií [18]

Inou možnosťou je použitie náterov a obkladu s PCM materiálmi.

5.3 Odvádzanie tepelných zát'azí

Budova disponuje systémom chladenia s chladiacimi trámami, ktorý zároveň zabezpečuje prívod a odvod vzduchu. Ten môže zabezpečovať odvádzanie tepla aj v nočných hodinách. Avšak tento proces je možné podporiť aj inými systémami, ktoré boli rozoberané v predošlých kapitolách.

Keďže v objekte využívam rovnotlakové vetranie, koordinácia systémov s prirodzeným vetraním a systémov s núteným vetraním by bola problematická. Budova knižnice má výšku 17,5 m a budova knihkupectva výšku 9,29 m. Pri budove knižnice by sme lepšie mohli uplatniť princíp nočného prevetrávania pomocou vztlakových síl, ktoré budú vzhľadom k výške budovy lepšie fungovať. Tu by teda prichádzalo do úvahy využiť princípy aerácie alebo šachtového vetrania. Pri šachtovom vetraní by sme mohli použiť aj systémy vetracích hlavíc, avšak vzhľadom na okolitú zástavbu by nemuseli mať výrazný účinok vplyvom vetra. Vzhľadom k okolitej zástavbe ani prevetrávanie objektu vplyvom vetra nie je v týchto objektoch veľmi výhodné.

Použitie sálavých panelov za účelom chladenia stropu by v tomto prípade bolo možné. Na streche je dost' priestoru na ich umiestnenie a v prípade použitia materiálov na akumuláciu tepla počas dňa bude potrebné ich dostatočne zregenerovať do ďalšieho dňa, aby boli pripravené znovu plniť svoju funkciu. V tomto môže tento systém chladenia výrazne pomôcť, nakoľko okruh s vodou je zabudovaný v konštrukciách akumulujúcich teplo, a teda by dochádzalo k priamemu chladeniu.

6 Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo spracovanie návrhu vzduchotechniky v objektoch knižnice a kníhkupectva. Pri návrhu bola okrem výmeny vzduchu riešená aj problematika tepelnej záťaže, ktorá bola kompenzovaná chladiacimi trámami a privádzaním ochladeného vzduchu zo vzduchotechnickej jednotky.

V rozširujúcej časti bola spracovaná rešerš netradičných spôsobov chladenia, v ktorej boli rozobrané tieto techniky v troch úrovniach.

Ochrana pred tepelnými ziskmi sa ukazuje ako kľúčová. Istý potenciál ukazujú solárne diódové zasklenia, avšak bude potrebný ďalší výskum a vývoj, aby mohli byť uvedené riadne do prevádzky.

Pre akumuláciu tepla sa výborne ukázali PCM materiály, hlavne zlúčeniny s obsahom parafínov. PCM materiály majú široké možnosti využitia, avšak nie sú ešte natoľko zaužívané. Bolo preukázané, že pri správnej kombinácii s odvodom tepla v nočných hodinách vedú zabezpečiť relatívne rovnomernú teplotu počas celého dňa, čím výrazne prispievajú k tepelnému komfortu.

Podľa uvedených spôsobov je najlepšie riešiť odvod tepelnej záťaže v nočných hodinách, keď teplota v exteriéri poklesne a výmenou vzduchu vieme zabezpečiť ako odvod teplého vzduchu z interiéru, tak aj ochladenie konštrukcií slúžiacich k akumulácii tepla.

V objektoch riešených v tejto bakalárskej práci bolo potrebné venovať najväčšiu pozornosť ochrane pred tepelnými ziskmi, najmä solárnymi. Netradičné spôsoby odvodu tepelnej záťaže by v tomto objekte nemali veľké uplatnenie, pretože tepelné zisky sú príliš veľké a nepostačovalo by ich odvádzať len v nočných hodinách, avšak akumulácia tepla môže výrazne pomôcť k tepelnému komfortu a vzhľadom na to, že v objekte sú stropné podhl'ady a sadrokartónové priečky, je vhodné použitie PCM materiálov.

Zdroje

1. FARKA, Jan. Chladicí trám nebo fan-coil? *In: TZB-INFO*. [Online] 2011. [Citace: 22. 02 2021.] <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazeni/7147-chladici-tram-nebo-fan-coil>.
2. DID632. [Online] [Dátum: 12. 03 2021.] <https://www.trox.cz/induk%C4%8Dn%C3%AD-jednotky-do-rastrov%C3%A9ho-pohledu/type-did-632-a5a98047aa352d55>.
3. Dnyandip K. Bhamare, Manish K. Rathod a Jyotirmay Banerjee. Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art. *In: Science direct*. [Online] 2019. [Cited: 04 16, 25.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819300210?via%3Dihub>.
4. PONECHAL, Radoslav. Tepelné zisky vo výpočte letného prehrievania budov. *In: TZB-INFO*. [Online] 2020. [Dátum: 20. 04 2021.] <https://stavba.tzb-info.cz/stavebni-fyzika/20215-tepelne-zisky-vo-vypocte-letneho-prehrievania-budov>.
5. Tepelný komfort. [Online] [Dátum: 23. 04 2021.] <https://www.zelene-strechy.sk/preco-zelena-strecha/tepelny-komfort/>.
6. Extenzívna zelená strecha. [Online] [Dátum: 23. 04 2021.] <https://www.zelene-strechy.sk/riesenia/extenzivna-zelena-strecha/>.
7. MEIER, Alan K. Strategic landscaping and air-conditioning savings: A literature review. *In: Science direct*. [Online] 2003. [Dátum: 25. 04 2021.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877889090024D>.
8. NAHAR, N. M. Studies on solar passive cooling techniques for arid areas. *In: Science direct*. [Online] 1999. [Dátum: 25. 04 2021.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890498000399>.
9. FU, S.C. et. al. Bio-inspired cooling technologies and the applications in buildings. [Online] 2020. [Dátum: 26. 04 2021.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819337946>.
10. VENKOVNÍ ŽALUZIE. [Online] [Dátum: 26. 04 2021.] <https://www.isotra.cz/venkovni-zaluzie>.
11. SZABÓ, Ján. Speciální zasklení a tepelná ochrana budov - Solární diodové zasklení. *In: TZB-INFO*. [Online] 2012. [Dátum: 26. 04 2021.] <https://stavba.tzb-info.cz/zaskleni/8495-specialni-zaskleni-a-tepelna-ochrana-budov-solarni-diodove-zaskleni>.
12. 0540-2, ČSN 73. Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. 2011.
13. BECHNÍK, Jaroslav. Porovnání vybraných způsobů akumulace tepelné energie. *In: TZB-INFO*. [Online] 2003. [Dátum: 27. 04 2021.] <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/1490-porovnani-vybranych-zpusobu-akumulace-tepelne-energie>.
14. PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) HEAT SINKS. [Online] [Dátum: 26. 04 2021.] <https://www.1-act.com/products/pcm-heat-sinks/>.
15. ZAVORALOVÁ, Pavla. PCM ve stavebnictví Díl 1: Základní charakteristiky PCM. *In: TZB-INFO*. [Online] 201. [Dátum: 26. 04 2021.] <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/7360-pcm-ve-stavebnictvi-dil-1-zakladni-charakteristiky-pcm>.
16. SCALAT, S. et. al. Full scale thermal testing of latent heat storage in wallboard. *In: Science Direct*. [Online] 1996. [Dátum: 27. 04 2021.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024896000177>.
17. KOŠNY, Jan et. al. Field thermal performance of naturally ventilated solar roof with PCM heat sink. *In: Science Direct*. [Online] 2012. [Dátum: 28. 04 2021.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X12001983>.

Projekt vzduchotechniky knihovny a knihkupectví

18. ZAVORALOVÁ, Pavla. PCM ve stavebnictví Díl 2: PCM jako stavební materiál - možnosti aplikace. *In: TZB-INFO*. [Online] 2011. [Dátum: 28. 04 2021.] <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/7381-pcm-ve-stavebnictvi-dil-2-pcm-jako-stavebni-material-moznosti-aplikace>.
19. CIFRINEC, Ivan. Větrání bytových domů - Základy teorie větrání. [Online] 2010. [Dátum: 29. 04 2021.] <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani>.
20. ŠIKULA, Ondřej. Chlazení sáláním proti noční obloze - teoretické zhodnocení v podmínkách ČR. *In: TZB-INFO*. [Online] 2010. [Dátum: 04. 29 2021.] <https://www.tzb-info.cz/7033-chlazení-saláním-proti-nocní-obloze-teoretické-zhodnocení-v-podmínkách-cr>.
21. CATALINA, Tiberiu et. al. Evaluation of thermal comfort using combined CFD and experimentation study in a test room equipped with a cooling ceiling. *In: Science direct*. [Online] 2009. [Dátum: 29. 04 2021.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308002783>.
22. SZABÓ, Daniel a CHMURNÝ, Ivan. EVALUATION OF THE KUNERT'S GLAZING IN SUMMER AND WINTER CLIMATIC CONDITION IN SLOVAKIA. *In: Researchgate.net*. [Online] 2020. [Dátum: 30. 04 2021.]

Zoznam obrázkov

Obr. 1	Porovnanie investičných a prevádzkových nákladov pri systémoch chladenia s použitím jednotiek fan-coil a chladiacich trémcov [1].....	11
Obr. 2	Princíp činnosti otvoreného chladiaceho trému [1].....	12
Obr. 3	Princíp činnosti uzatvoreného chladiaceho trému a jeho umiestnenie [1]	12
Obr. 4	Princíp činnosti chladiaceho trému DID632 [2]	13
Obr. 5	Chladiaci trémec typu DID 632 [2]	13
Obr. 6	Delenie alternatívnych spôsobov chladenia [3].....	17
Obr. 7	Príklad zelenej strechy [6]	18
Obr. 8	Aplikácie vodnej plochy na strechu - 1. časť [3].....	19
Obr. 9	Aplikácie/aplikovanie vodnej plochy na strechu objektu - 2. časť [3].....	20
Obr. 10	Schéma fungovania SDZ zasklenia v zimnom období [11].....	21
Obr. 11	Schéma fungovania SDZ zasklenia v letnom období [11].....	21
Obr. 12	Princíp fungovania akumulácie tepelnej záťaže a jej následné odvádzanie v nočných hodinách (Zdroj: https://www.greenspec.co.uk/building-design/thermal-mass/) ..	21
Obr. 13	Priebeh vnútornej a vonkajšej teploty pri použití akumulácie tepla (Zdroj: https://www.greenspec.co.uk/building-design/thermal-mass/).....	22
Obr. 14	Porovnanie ceny materiálu vzhľadom k akumuláčnym schopnostiam materiálu [13]	23
Obr. 15	Grafické znázornenie priebehu vnútornej teploty v objekte s ľahkou a ťažkou konštrukciou v závislosti od vonkajšej teploty (Zdroj: https://www.yourhome.gov.au/passive-design/thermal-mass)	23
Obr. 16	Priebeh teploty počas látkovej premeny materiálu [14].....	24
Obr. 17	Rozdelenie PCM materiálov [3]	25
Obr. 18	Výroba mikrokapsulí s obsahom PCM materiálov na báze parafínu [15].....	26
Obr. 19	Umiestnenie PCM materiálov do stropnej konštrukcie [3]	27
Obr. 20	Fotografie testovaných strešných panelov [17].....	27
Obr. 21	Šachtové vetranie – princíp [19]	29
Obr. 22	Šachtové vetranie s vetracími hlavicami – princíp [19].....	29
Obr. 23	Šachtové vetranie s rotačnými hlavicami [19]	29
Obr. 24	Vetracia hlavica pre šachtové vetranie [19]	29
Obr. 25	Rotačná hlavica pre šachtové vetranie [19].....	29
Obr. 26	Paralelne zoradenie rotačných hlavíc pre šachtové vetranie [19]	29
Obr. 27	Infiltrácia – princíp [19]	30
Obr. 28	Aerácia – princíp [19]	30
Obr. 29	Princíp fungovanie strešného absorbéru v kombinácii s temperovaním betónového jadra [20]	30
Obr. 30	Sálavý chladiaci systém [3].....	31
Obr. 31	Rotačné okno s Kunertovým solárnym diódovým zasklením [22]	32
Obr. 32	Aplikácia PCM materiálov do stavebných konštrukcií [18]	33

Zoznam príloh

- Príloha č.1: Výkresová dokumentácia
- Príloha č.2: Technická správa
- Príloha č.3: Výpočty
- Príloha č.4: Výpis prvkov
- Príloha č.5: Technické podklady ku použitým prvkom