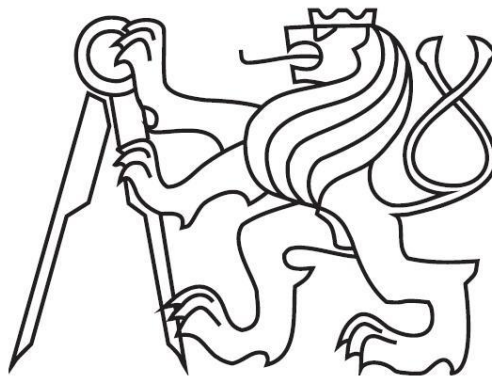


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**VYUŽITÍ VELKOPLOŠNÉHO SÁLAVÉHO
VYTÁPĚNÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VYPRACOVALA: BC. TEREZA SPURNÁ
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE: ING. MIROSLAV URBAN, PH.D.
STUDIJNÍ OBOR: BUDOVY A PROSTŘEDÍ

2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Spurná Jméno: Tereza Osobní číslo: 468569

Zadávací katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Využití velkoplošného sálavého vytápění

Název diplomové práce anglicky: Using large-scale radiant heating

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce bude zaměřena na využití kapilárních rohoží s rodělením na dvě části:

1. část rešerše: Popis systému vytápění pomocí velkošných sálavého vytápění, fyzikální význam, způsoby instalace a porovnání jednotlivých řešení, dynamika a regulace systému s kapilárními rohoží, specifika otopné soustavy s velkoplošnými systémy, vhodnost využití pro různé typy budov.

2. část projekt: Na dané téma bude zpracovaný projekt v rozsahu výkresové části (půdorysy, schéma, řezy) a textové části (výpočty, technická zpráva)

Seznam doporučené literatury:

Vladimír Zmrhal, Sálavé chladicí systémy, ČVUT 2009

Petráš a kol., Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie, Jaga 2008

Bašta Jiří, Velkoplošné sálavé vytápění, Grada 2010

Bašta Jiří: Sálavé a průmyslové vytápění, ČVUT 2021

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 21.9.2021 Termín odevzdání diplomové práce: 02.01.2022
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Tereza Spurná

Název diplomové práce: Využití velkoplošného sálavého vytápění

Základní část: Rešeršní část a projekt vytápění plošným systémem vytápění podíl: 100 %

Formulace úkolů: Zpracování rešerše pro zpracování projektu plošného vytápění

Rešeršní část:

- identifikace variant zdrojů vytápění,
- možnosti prostorového řešení systémů,
- celkové zhodnocení potenciálu způsobu vytápění,
- vhodnost využití pro různé typy budov a zdroje.

Zpracování projektu:

- výpočtová část, bilanční výpočty stanovení topných výkonů,
- výkresová část, textová část.

Podpis vedoucího DP: Datum:

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou prací na téma „Využití velkoplošného sálavého vytápění“ zpracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu zdrojů.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Ústřední knihovně Fakulty stavební a Fakulty architektury ČVUT.

V Praze dne:.....

.....

Bc. Tereza Spurná

Poděkování:

Ráda bych poděkoval panu Ing. Miroslavovi Urbanovi Ph.D. za jeho odborné vedení, skvělý přístup, užitečné rady a pomoc při zpracování této diplomové práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

ZNAČKY:

Značka	Jednotka	Veličina
A	[-]	koeficient A
B	[-]	koeficient B
D_{obl}	[m]	průměr oblouku
R	[m]	poloměr oblouku
Re_d	[-]	Reynoldsovo číslo v kapiláře
T	[min]	setrvačnost náběhu
Λ_a	[W/m ² K]	tepelná propustnost vrstev nad trubkami
Λ_b	[W/m ² K]	tepelná propustnost vrstev pod trubkami
a	[m]	tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami
b	[m]	tloušťka jednotlivých vrstev pod trubkami
c	[J/kgK]	měrná tepelná kapacita
d	[m]	vnější průměr trubek/kapiláry
l_{obl}	[m]	délka oblouku
m	[m ⁻¹]	charakteristické číslo podlahy
n	[W/m ²]	měrná fyzická činnost
q	[W/m ²]	celkově sdílený měrný tepelný tok
q_c	[W/m ²]	celkově sdílený měrný tepelný tok
q_d	[W/m ²]	měrný tepelný tok sdílený dýcháním
q_k	[W/m ²]	měrný tepelný tok sdílený konvekcí
q_m	[W/m ²]	měrný metabolický tepelný tok
q_s	[W/m ²]	měrný tepelný tok sdílený sáláním
q_v	[W/m ²]	měrný tepelný tok sdílený vedením
q_w	[W/m ²]	měrný tepelný tok sdílený vypařováním
q_z	[W/m ²]	ztrátový měrný tepelný tok
s_a	[m]	tloušťka akumulární vrstvy
t_i	[°C]	vnitřní výpočtová teplota
t_m	[°C]	střední teplota otopné vody
t_p	[°C]	střední povrchová teplota konstrukce
w	[m/s]	rychlost proudění
α_p	[W/m ² K]	celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy
α_p'	[W/m ² K]	součinitel přestupu tepla na spodní straně konstrukce
α_{kP}	[W/m ² K]	součinitel přestupu tepla konvekcí
α_{sP}	[W/m ² K]	součinitel přestupu tepla sáláním
ε	[-]	stupeň využití vytápěcího výkonu
ζ	[-]	součinitel místního odporu
λ_d	[W/m ² K]	součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou zality trubky
λ	[-]	součinitel tření
ρ	[kg/m ³]	hustota
τ_a	[s]	časová konstanta

OBSAH

ANOTACE:	9
ANNOTATION:	9
1. Úvod	10
2. Tepelná pohoda	11
3. Popis sálavého systému	14
3.1. Velkoplošné sálavé vytápění	15
3.2. Zdroje tepla	15
3.2.1. Tepelné čerpadlo	16
3.3. Podlahové vytápění	18
3.4. Stěnové vytápění	19
3.5. Stropní vytápění	20
3.5.1. Trubky zalité ve stropě	20
3.5.2. Sálavé panely	21
3.5.3. Sálavé desky a pasy	21
3.5.4. Stropní vytápění s dutým podhledem	21
3.6. Kapilární rohože	22
3.6.1. Typy kapilárních rohoží	23
3.6.2. Materiál používaný pro kapilární rohože	23
4. Tepelně technický výpočet teplovodního sálavého vytápění	25
5. Porovnání velkoplošných sálavých systémů v referenční místnosti	27
5.1. Popis místnosti	27
5.2. Porovnání sálavých výkonů v referenční místnosti	28
6. Regulace a dynamika systému s kapilárními rohožemi	33
6.1. Setrvačnost náběhu a časová konstanta	33
6.2. Porovnání akumulační schopnosti	33

6.3.	Regulace tepelného výkonu	34
6.3.1.	Regulace prostorové teploty	34
6.3.2.	Regulace rosného bodu	36
7.	Vhodnost využití pro různé typy budov a ukázky z praxe	37
8.	Závěr	39
	ZDROJE	40
	SEZNAM OBRÁZKŮ	42
	SEZNAM TABULEK	42
	SEZNAM PŘÍLOH	43

ANOTACE:

Téma této diplomové práce je využití velkoplošného vytápění. Teoretická část diplomové práce je zaměřena na zpracování rešerše velkoplošného sálavého vytápění. Tato část obsahuje různé varianty řešení sálavého vytápění a porovnání měrných tepelných toků sálavých systémů v referenční místnosti. Ve studii je také porovnání akumulačních schopností kapilárních rohoží a podlahového vytápění.

Ve druhé části diplomové práce je zpracována projektová dokumentace systému vytápění. Tato část je rozdělena na textovou část a výkresovou část. Textová část obsahuje technickou zprávu a výpočty. Ve výkresové části jsou zpracované půdorysy, schéma zapojení, detail technické místnosti a situace.

Klíčová slova: velkoplošné sálavé vytápění, podlahové vytápění, stěnové vytápění, stropní vytápění, kapilární rohože, měrný tepelný tok, akumulační schopnost, časová konstanta

ANNOTATION:

The topic of this diploma thesis is the use of large-area heating. The theoretical part of the diploma thesis is focused on the processing of a search for large-scale radiant heating. This part contains various variants of radiant heating solutions and a comparison of specific heat fluxes of radiant systems in the reference room. The study also compares the accumulation ability of capillary mats and underfloor heating.

The second part of the diploma thesis deals with the project documentation of the heating system. This part is divided into a text part and a drawing part. The text part contains a technical report and calculations. The drawing part contains the floor plans, wiring diagram, detail of the technical room and the situation.

Keywords: large – scale radiant heating, floor heating, wall heating, ceiling heating, capillary tube mats, heat flux, accumulation ability, time constant

1. Úvod

V dnešní době se při projektování vytápění často využívá velkoplošné sálavé vytápění. Proto se touto problematikou zabývám ve své diplomové práci.

Cílem mé práce je porovnání měrných tepelných toků velkoplošných sálavých vytápění a následné využití těchto systémů v projektové části diplomové práce. Dále porovnávám akumulční schopnost kapilárních rohoží a podlahového vytápění.

K velkoplošnému sálavému systému řadíme stropní, stěnové a podlahové vytápění. Převážná část sdílení tepla u tohoto systému je sáláním a menší část konvekčním sdílením tepla.

Sdílení tepla v prostoru může být vedením, prouděním nebo sáláním. Vedení (kondukce) popisuje sdílení tepla uvnitř pevných těles, jejichž různé části mají různé teploty. Proudění (konvekce) popisuje sdílení tepla u tekutin. Posledním typem sdílení tepla je sálání, u kterého dochází k přenosu tepla elektromagnetickým vlněním s příčnou vibrací vzhledem ke směru šíření. U vytápění převládá konvekční a sálavé sdílení tepla.

2. Tepelná pohoda

Při vytápění je kladen velký důraz na tepelný komfort ve vytápěné místnosti, to znamená, že člověk v místnosti nepociťuje chlad ani nadměrné teplo a ani se nepotí. K tomuto stavu dochází, když sdílené tepelné toky mezi člověkem a okolím jsou v rovnováze s metabolickým tepelným tokem. Tento vztah vyjadřuje rovnice tepelné pohody.

Rovnici tepelné pohody můžeme zapsat ve tvaru:

$$q_c = q_m - n = \pm q_k \pm q_s + q_w + q_d \pm q_v \quad [W/m^2] \quad (2.1)$$

kde:

q_ccelkově sdílený měrný tepelný tok [W/m²]

q_mměrný metabolický tepelný tok [W/m²]

nměrná fyzická činnost [W/m²]

q_kměrný tepelný tok sdílený konvekcí [W/m²]

q_směrný tepelný tok sdílený sáláním [W/m²]

q_wměrný tepelný tok sdílený vypařováním [W/m²]

q_dměrný tepelný tok sdílený dýcháním [W/m²]

q_vměrný tepelný tok sdílený vedením [W/m²]

Tepelná pohoda je ovlivněna několika faktory, mezi které patří fyziologické parametry. Proto tepelný komfort je subjektivním pocitem každé osoby. Základní parametry lze rozdělit na ^[2]:

a) faktory osoby

- intenzita fyzické činnosti
- tepelný odpor oděvu
- věk
- pohlaví

b) faktory prostředí

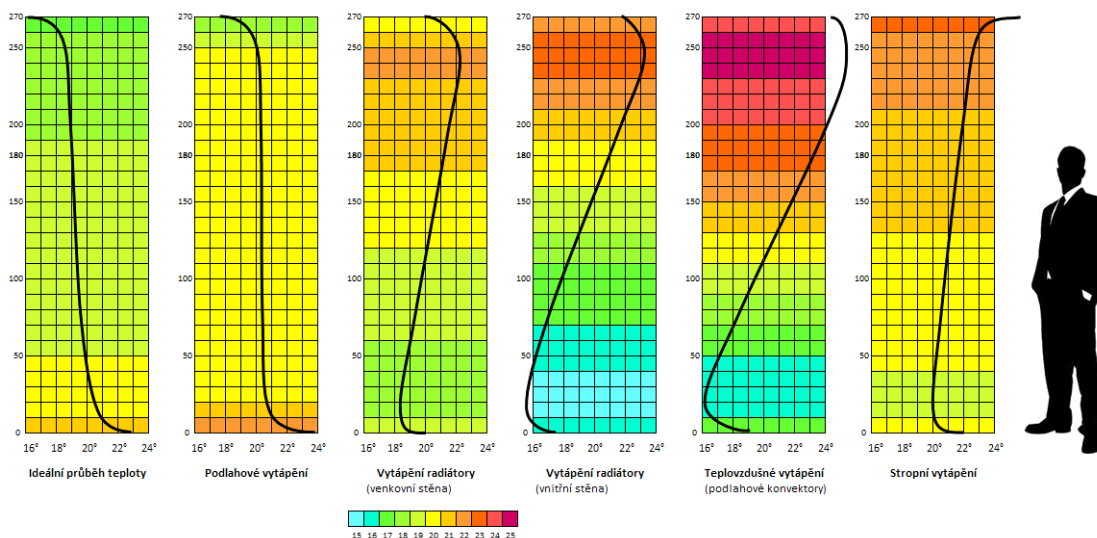
- teplota vnitřního vzduchu
- střední radiační teplota
- rychlost proudění vzduchu
- relativní vlhkost vzduchu

Pokud je procento nespokojených menších než 15 %, můžeme považovat tento stav jako akceptovatelný. Ale i na dále musíme splnit i požadavky na eliminaci lokální tepelné nepohody na části lidského těla, které mohou vznikat například [2]:

- asymetrickým tepelným sáláním
- nevhodným vertikálním teplotním gradientem vzduchu
- zvýšeným prouděním vzduchu

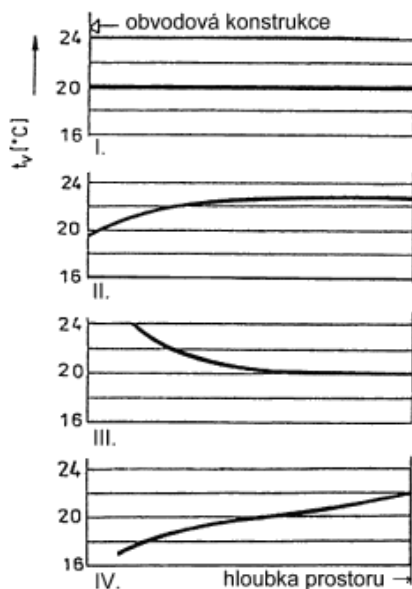
Hlavním kritériem hodnotící tepelnou pohodu je operativní teplota, která zohledňuje teplotu vzduchu a střední radiační teplotu. U sálavého vytápění je střední radiační teplota vyšší než teplota vzduchu, tím se liší sálavé vytápění od konvekčního vytápění.

Velmi důležitý faktor je i rozložení teploty v místnosti, a to ve vertikálním i horizontálním směru. Za ideální vertikální rozložení teplot ve vytápěné místnosti se považuje, když v oblasti hlavy stojícího člověka je teplota vzduchu minimálně o 2 °C nižší než v oblasti kotníků. Na obr. /1/ jsou znázorněny průběhy teplot u podlahového vytápění, stropního vytápění a vytápění radiátory. Podle následujícího obrázku lze říct, že k ideálnímu stavu se nejvíce přibližuje podlahové vytápění[2].



obr. /1/ Vertikální rozložení teplot [10]

Na tomto obrázku obr. /2/ je znázorněný horizontální průběh teplot. U ideálního stavu, který je znázorněn na prvním obrázku, je rozložení stejné v celé rovině. Nejvíce se mu podobá druhý obrázek, na kterém je znázorněno podlahové vytápění. Na třetím obrázku je ukázán průběh teplot s deskovým tělesem a na posledním obrázku stropní vytápění^[2].



obr. /2/ Horizontální rozložení teplot^[11]

3. Popis sálavého systému

U konvekčního vytápění dochází pomocí otopného tělesa nejprve k ohřevu vnitřního vzduchu, který následně předává teplo okolním stěnám a ostatním předmětům. U tohoto způsobu vytápění je teplota vnitřního vzduchu vyšší než povrchová teplota stěn.^[2]

Na rozdíl u sálavého vytápění se využije menší část otopného příkonu pro konvekci a ve větší míře se využívá sálání otopných ploch. To znamená, že tepelný tok otopné plochy předává teplo okolním konstrukcím a tím je zahřívá přímo bez prostřednictví vzduchu a jen malou část odevzdává otopná plocha konvekcí vnitřnímu vzduchu. Z toho vyplývá, že povrchová teplota stěn je vyšší, než teplota vnitřního vzduchu ve vytápěné místnosti. Podíl sálavého tepla u podlahového vytápění činí 55 %, u stěnového vytápění 65 % a u stropního vytápění až 80 %.^[2]

Sálavé vytápění můžeme rozdělit na:

- velkoplošné vytápění
- celkové vytápění zavěšenými sálavými panely
- lokální vytápění sálavými panely
- vytápění infračervenými zářiči

3.1. Velkoplošné sálavé vytápění

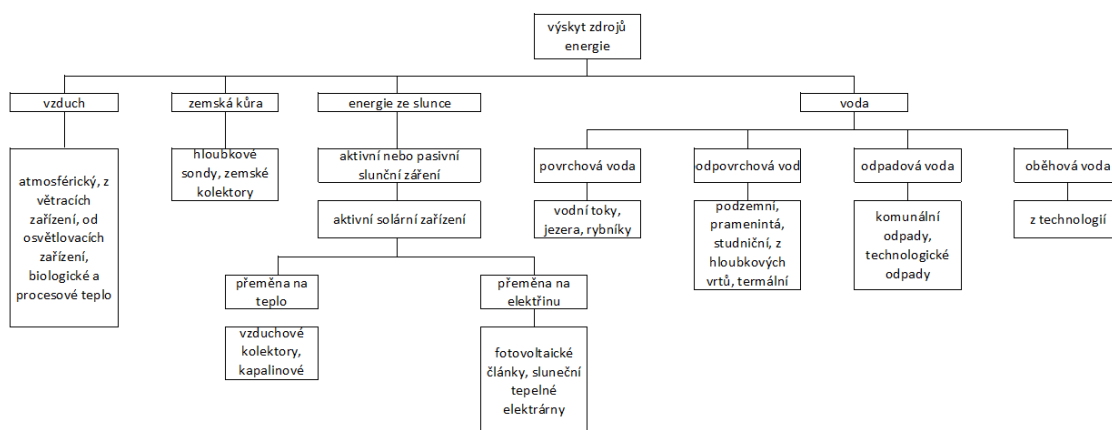
U velkoplošného vytápění tvoří otopnou plochu některá ze stěn, která ohraničuje vytápěný prostor. Může to být podlaha, stěna nebo strop, podle umístění se liší i povrchová teplota. U podlahového vytápění se pohybuje teplota od 25 až 30 °C, u stropního 35 až 45 °C a u stěnového může dosahovat povrchová teplota až 55 až 60 °C.^[2]

Z uvedených hodnot můžeme říct, že se u velkoplošného vytápění pracuje s poměrně nižšími teplotami teplotnosného média. Z toho vyplývá, že u těchto systémů je vhodné využívat energii z nízkopotenciálních zdrojů, jako je například geotermální energie, solární energie, vzduch. Otopná plocha může být zahřívána teplou vodou, teplým vzduchem nebo elektricky.

3.2. Zdroje tepla

Jak už bylo uvedeno v kapitole 3.1 u velkoplošného vytápění se pracuje s nízkými teplotami teplotnosné látky a tím se využívají nízkopotenciální zdroje energie a obnovitelné zdroje tepelné energie. Proto v této kapitole představím nejznámější zdroje, které je možné využívat pro velkoplošné vytápění.

Mezi nízkopotenciální zdroje tepla patří zemní masiv, voda, sluneční záření a vzduch.



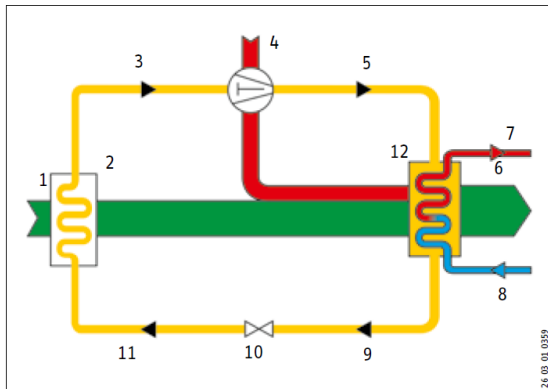
obr. /3/ Třídění výskytu energie prostředí^[5]

3.2.1. Tepelné čerpadlo

Zjednodušeně se může říct, že tepelné čerpadlo je stroj, který odnímá tepelnou energii z prostředí s nižší teplotou a převádí jí za pomoci dodání určité energie do jiné teplotonosné látky s vyšší teplotou.

Princip tepelného čerpadla

Cyklus začíná ve výparníku, ve kterém cirkuluje pracovní médium. Toto médium odebírá teplo z venkovního vzduchu nebo vody (zdroj tepla) a přechází při tomto procesu z kapalného stavu do plynného stavu. Kompresor nasává plynné pracovní médium a stlačuje ho, u tohoto procesu dále stoupá teplota pracovního média. Zde je nutné dodat elektrickou energii. Dále se médium dostává do kondenzátoru, kde se médium dostává do kapalného stavu a předává své získané teplo do cirkulačního systému teplovodního vytápění. Pracovní médium se vrací přes expanzní ventil, kde se sníží jeho existující tlak, zpět do výparníku a cyklus se opakuje. [22]



1. Teplo
2. Výparník
3. Sací rozvod, pracovní médium v plynné formě, nízký tlak
4. Kompresor
5. Výtlačný rozvod, pracovní médium v plynné formě, vysoký tlak
6. Teplo k vytápění
7. Výstupní strana
8. Vratná strana
9. Vedení chladiva, pracovní médium v kapalně formě, vysoký tlak
10. Expanzní ventil
11. Vedení chladiva, pracovní médium v kapalně formě, nízký tlak
12. Kondenzátor

obr. /4/ Schéma kompresorového cyklu^[22]

3.2.1.1. Tepelné čerpadlo – vzduch/voda

U tohoto způsobu, tepelné čerpadlo odebírá teplo ze sluncem ohřátého vzduchu. Tepelné čerpadlo je schopné odebírat teplo i ze vzduchu o teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale se snižující teplotou venkovního vzduchu se snižuje topný faktor tepelného čerpadla. Z tohoto důvodu se doporučuje přidat druhý zdroj tepla, který během mimořádného studeného období doplňuje tepelné čerpadlo. Zde je výhoda snadná instalace.

3.2.1.2. Tepelné čerpadlo – voda/voda

Výhoda využití podzemní vody jako zdroje tepla je v tom, že voda je dobrý akumulátor tepla. Teplota podzemní vody se pohybuje mezi +7 až +12°C. Topný faktor při stálé teplotní úrovni tepelného čerpadla zůstává po celý rok skoro stejný. Nevýhodou tepelného čerpadla voda/voda jsou vysoké nároky na kvalitu a dostatečné množství podzemní vody. [22]

3.2.1.3. Tepelné čerpadlo – země/voda se zemním kolektorem

Tento typ tepelného čerpadla potřebuje pro trubkový systém, který odebírá teplo z půdy velkou plochou pozemku. Počítá se, že je potřebná dvojnásobná až trojnásobná plocha pozemku vzhledem k vytápěné obytné ploše. Odbíraný výkon zemního kolektoru se pohybuje mezi 10 až 15 W/m² u suché písčité půdy, u půdy s podzemní vodou může být výkon zemního kolektoru až 40 W/m².

V potrubí je nezámrzná ekologická směs, která vede získané teplo k výparníku tepelného čerpadla. [22]

3.2.1.4. Tepelné čerpadlo – země/voda s geotermální sondou

Na rozdíl od zemního kolektoru není potřebná tak velká plocha pozemku. Pomocí vrtací sestavy je zapuštěna geotermální sonda přibližně 100 m hluboko do půdy. Geotermální sonda se skládá z paty sondy a vertikálního plastového potrubí. V plastovém potrubí geotermální sondy cirkuluje nemrznoucí směs, která odebírá teplo ze země.

Výkon odběru tepla závisí na vlastnostech půdy, ale přibližně se pohybuje od 30 do 100 W/m geotermální sondy. [22]

3.3. Podlahové vytápění

Na rozdíl od ostatních sálavých vytápění, podíl sálavé složky je u podlahového vytápění jen o málo větší, než je podíl konvekční. Je to v poměru 55 % sálavého sdílení a 45 % konvekčního sdílení. Tím, že otopná plocha tvoří téměř celou plochu, vytváří tím téměř homogenní prostředí ve všech směrech. [2]

Podlahové vytápění lze rozdělit podle několika hledisek. Podle způsobu provedení otopné plochy rozlišujeme provedení suchým způsobem, mokrým způsobem nebo provedení přes modulové klima desky. Dále rozlišujeme podlahové vytápění podle tvarování otopného hadu.

Suchý způsob

U tohoto způsobu je potrubí uložené do izolační vrstvy pod betonovou deskou, od ní jsou oddělené plastovou nebo kovovou fólií. U suchého způsobu se pracuje s vyššími teplotami otopné vody. [2]

Mokrý způsob

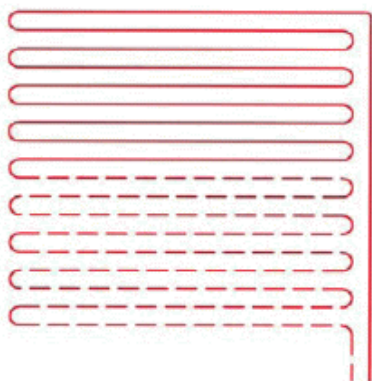
Zde se otopný had přímo zalévá do betonové mazaniny nad tepelnou izolaci. Přívodní teplota se volí nižší než u suchého způsobu. [2]

Modulové klima podlahy

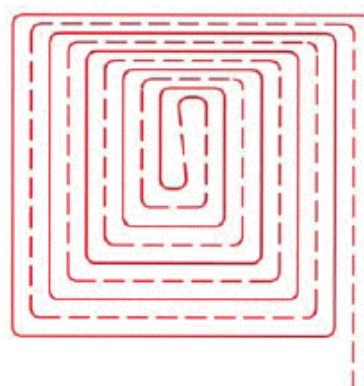
Dalším způsobem podlahového vytápění jsou modulová klima podlahy. Jedná se o duté profilované desky uložené na tepelné izolaci, které se následně hydraulicky mezi sebou propojí a vytvoří tak souvislou plochu. Zde se pracuje s nižší teplotou vstupní otopné vody. V České republice se tento systém nepoužívá. [2]

Jak už bylo uvedeno, dále se podlahové vytápění dělí podle tvaru otopného hadu. U meandrového způsobu pokládky klesá teplota otopné vody od obvodové konstrukce k vnitřní stěně a tím dochází k rovnoměrnějšímu rozložení teplot ve vytápěné místnosti. [2]

U plošné spirály je teplota podlahy po celé ploše stejná, proto dochází v horizontálním směru od vnitřní stěny k obvodové stěně k poklesu teploty. Tomu lze zabránit pomocí intenzivní okrajové zóny. [2]



obr. /5/ Kladení otopného hadu ve tvaru meandru ^[12]



obr. /6/ Kladení otopného hadu ve tvaru plošné spirály ^[12]

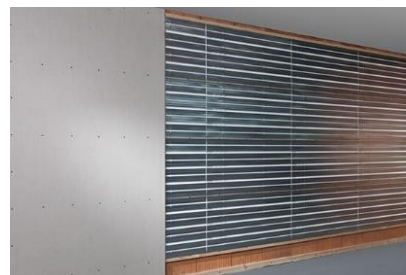
3.4. Stěnové vytápění

U stěnového vytápění se pokládá otopný had na stěnu pod omítku nejčastěji na ochlazovanou stěnu, tj. na obvodovou stěnu. Podle způsobu aplikace dělíme stěnové vytápění na:

- mokré systémy
- suché systémy



obr. /7/ Mokrý systém stěnového vytápění ^[13]



obr. /8/ Suchý systém stěnového vytápění ^[14]

U mokrého systému se otopný had upevňuje pomocí zatloukacích spon, šroubovacími příchytkami do hmoždinek nebo se využívají hřebenové lišty. Po uchycení otopného hada a omítací sítě se nanese mokrá omítka, z tohoto důvodu je nutné dodržet dilatační spáry a použít vhodné omítky pro vytápění stěnou. ^[2]

Nejčastější způsob realizace suchého systému je za pomoci hotového otopného hadu z trubek 6x1 uloženého v sádkartonových deskách. ^[2]

3.5. Stropní vytápění

Jak už bylo uvedeno i u stropního vytápění musíme dát pozor na teplotu otopné plochy. U stopního vytápění se pohybuje teplota stropu 35 až 45 °C a jako maximální hodnotu tepelného toku uvažujeme 200 W/m² v oblasti temene hlavy. Při převýšení těchto hodnot by mohlo dojít k tepelnému diskomfortu. [2]

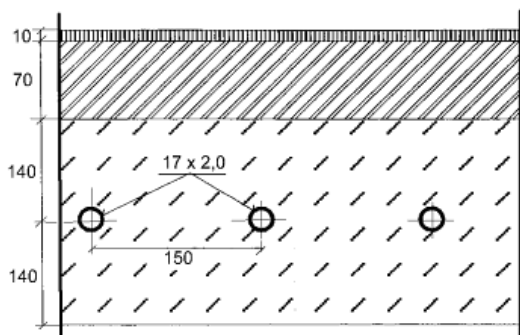
U stropního vytápění se můžeme setkat s:

- otopnou plochou s trubkami zalitými ve stropě
- otopnou plochou tvořenou lamelami
- otopnou plochou vytvořenou sálavými panely a pasy
- otopnou plochou v dutém podhledu

3.5.1. Trubky zalité ve stropě

Trubky se vkládají přímo do betonu a můžeme říct, že se jedná o novodobý systém Crittall, který se instaloval na našem území už před druhou světovou válkou. V dnešní době se přešlo z kovového potrubí na plastové potrubí, především se používá PEXa. U tohoto systému je kladen otopný had přímo při výstavbě stropu, před betonáží je nutné zajistit mezi trubkami a bedněním cca 2 cm velkou mezeru pomocí distančních vzpěr. Při montáži je kladen důraz na preciznost provedení otopného hadu, z důvodu následných provozních potíží s vypouštěním a odvzdušňováním. [2]

Zde se setkáváme s pojmem tepelně aktivní prvky stavební konstrukce – TABS (Thermo Active Building Systems). U tohoto systému se využívá akumulční schopnosti betonového jádra, který můžeme využít jak pro vytápění, tak i pro chlazení. [2]



obr. /9/ Schéma stropního vytápění trubky zalité v betonu [15] obr. /10/ Montáž stropního vytápění [16]

Druhý systém je, když jsou trubky uloženy jen v omítce. Zde se nejprve zhotoví strop a na něj se následně zespodu upevní otopný had. Pomocí rabicového pletiva se lépe uchytí vápeno-cementová malta. [2]

3.5.2. Sálavé panely

U tohoto systému se využívá lamel upevněných na potrubí pro rovnoměrnější rozprostření tepelného toku a zvětšení přestupné plochy trubek. Materiál lamel se volí s velkým součinitelem tepelné vodivosti, nejčastěji z hliníkového plechu, z důvodu rychlejšího odvodu tepla z trubek. [2]

Nejčastější provedení jsou tzv. Stramax-standard strop a Zent-Frengerův strop. U Stramax-standart stropu udávají šířku hliníkové plechy s prolisy uprostřed, ve kterých se posouvají uchycené trubky. Hladký strop vzniká pomocí sádrové omítky, která je i s jejím nosičem upevněná pod lamelami. [2]

U Zent-Fregarova stropu je vytvořen podhled pomocí perforovaných nebo neperforovaných povrchově upravených hliníkových desek s rozměry 625x625 a tloušťkou 0,75mm. Desky, které jsou shora tepelně i akusticky izolovány jsou připevněny pomocí ocelových svorek k trubkám, které jsou zavěšené pod stropem. Spáry, které vznikají mezi spárami a jsou přibližně 1,5 mm velké, slouží pro provětrání. Na rozdíl od ostatních stropních vytápění se navrhuje otopná voda jako u otopných těles a teplota přívodní vody se pohybuje okolo 70 °C a teplotní spád se uvažuje 10 až 15 °C. [2]

3.5.3. Sálavé desky a pasy

Zde sálavé desky a panely nejsou přímo součástí stropní desky jako takové, ale na strop se pouze zavěšují jako na nosný prvek. Jsou tvořeny převážně z ocelového plechu a na trubky jsou povětšinou připevněny třmeny, někdy mohou být i přivařeny. Desky jsou shora tepelně izolovány. [2]

3.5.4. Stropní vytápění s dutým podhledem

U tohoto systému je potrubí vedeno nad podhledem a pod nosnou konstrukcí stropu. Pod spodní část stropní konstrukce je daná izolace. Teplota teplonosného média se navrhuje až na 70 °C a teplo se zde sdílí sáláním a konvekcí. [2]

3.6. Kapilární rohože

Kapilární rohože tvoří síť tenkých plastových trubiček, nejčastěji z polypropylenu o vnějším průměru cca 3 mm. V potrubí je rozváděna chladicí nebo otopná voda s malým teplotním spádem. Vzdálenost mezi jednotlivými kapiláry je velmi malá, toto rozmezí se pohybuje mezi 10–30 mm. V důsledku spojení nízkého teplotního spádu a krátké vzdálenosti mezi kapilárami je rovnoměrně rozložena povrchová teplota. ^[1]

Nejrozšířenějším typem instalace kapilárních rohoží je umístění rohoží na strop pod omítku, dále je takto možné rohože připevnit na svislé konstrukce. Tento typ instalace se využívá zejména tam, kde je potřeba snížit strop. S tímto typem se můžeme setkat zejména u rekonstrukcí, v obytných a rodinných domech nebo v kancelářských prostorech. ^[17]

V místě, kde už není možné snižovat světlou výšku, lze kapilární rohože zavěsit mezi rastr a následně zaklopit sádrokartonovými deskami. Z montážního hlediska se jedná o nejjednodušší příklad instalace, nevýhodou však je snížení výkonu. Z tohoto důvodu se doporučuje kompenzovat tento pokles použitím více vodivými SDK deskami. ^[17]

Dalším způsobem instalace kapilárních rohoží je ve stropních kazetách. Jedná se o kapiláry v kovových stropních deskách s velmi komfortní formou vytápění a chlazení. Tento typ je vhodný do kancelářských budov, nemocnic a dalších veřejných budov. ^[17]

Dalším systémem je zalití kapilárních rohoží do železobetonové desky. Tento způsob instalace je velmi specifický, především je nutný důraz na přesnost a koordinaci s ostatními stavebními profesemi. ^[17]

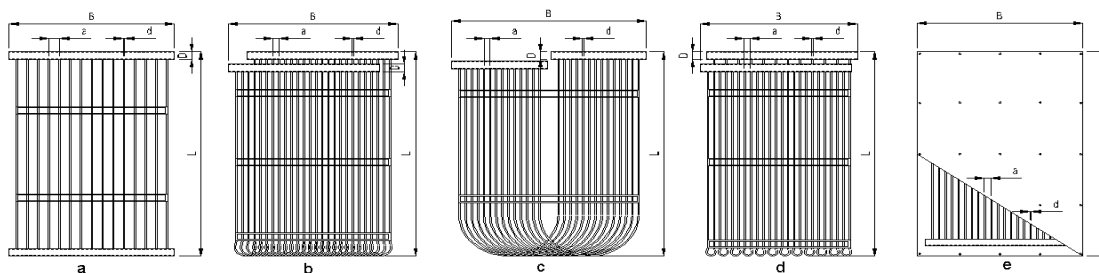
Nepříliš používaný typ instalace je uložení do samonivelační stěrky. U tohoto způsobu mohou rohože nahradit podlahové vytápění, v důsledku instalace rohoží do podlahy nám během chlazení může vzniknout jistý pocitový diskomfort. ^[17]

Poslední způsob instalace je montáž kapilárních rohoží na sádrokartonový strop a následné zakrytí sádrovou omítkou. V tomto případě je síť kapilárních rohoží připevněna speciální lepicí páskou nebo šrouby zesponu na sádrokarton. U následného překrytí kapilárních rohoží sádrovou omítkou je nutné dodržet požadovanou tloušťku, která nesmí překročit 15 mm. To je důležité hlavně kvůli správné distribuci výkonu

kapilárních rohoží a rychlé reakci celého systému na změnu okrajových podmínek. [17]

3.6.1. Typy kapilárních rohoží

Typy kapilárních rohoží dělíme na rohože, které mají rozváděcí a sběrné potrubí na protilehlých stranách (obr. /11/a) – typ G. Rohože, které mají rozváděcí a sběrné potrubí na téže straně (obr. /11/b,c,d) – typ S a U. Rozdíl mezi S a U je ve střídání přívodních a zpátečních kapilár. U typu U jsou svazky přívodních kapilár a zpátečních kapilár, u typu S se vzájemně střídá poloha přívodních a zpátečních kapilár. Na obr. /11/e je znázorněn prefabrikovaný panel, ve kterém je daná kapilární rohož typu G s 30 mm vrstvou izolace. Panel je složen ze sádkartonu o tloušťce 12 mm, na kterém je umístěna kapilární rohož, následně je panel obalen pěnovou izolací. [4]



obr. /11/ Základní typy kapilárních rohoží [4]

3.6.2. Materiál používaný pro kapilární rohože

Nejčastěji jsou kapilární rohože vyrobeny z polypropylenu PP-R (random kopolymer), který se vyznačuje především ohebností a houževnatostí. Mezi nevýhodu polypropylenu patří absence kyslíkové bariéry. [1]

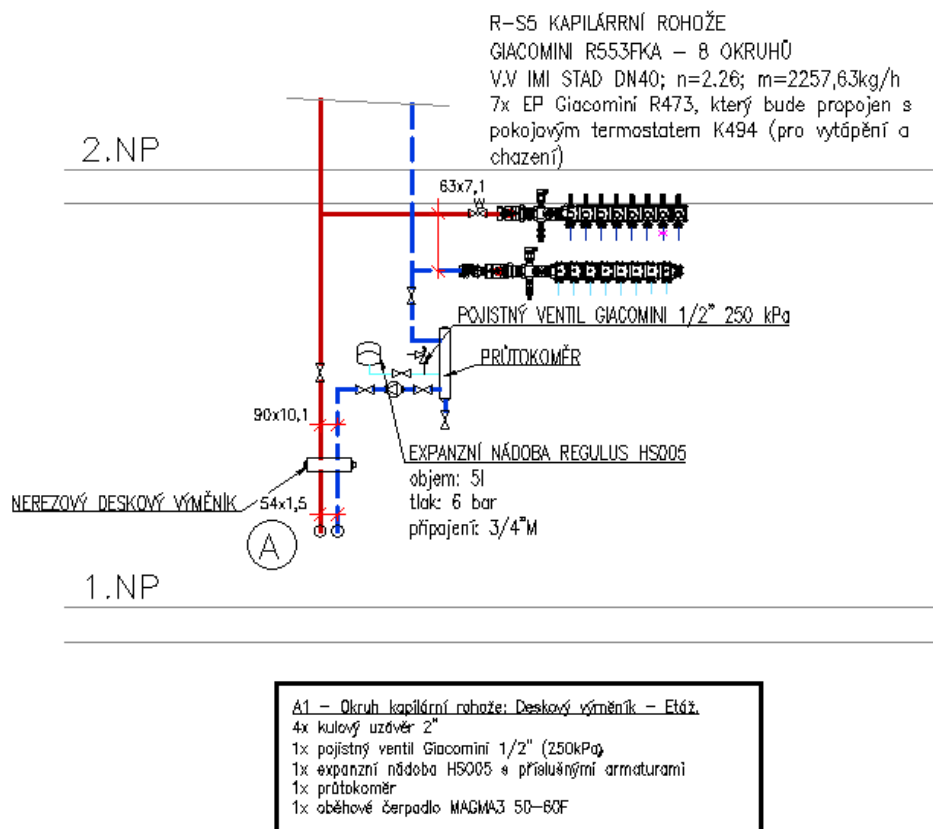
Mezi základní výhody plastů patří:

- dlouhá životnost
- hygienická nezávadnost
- odolnost proti korozi, chemikáliím a zarůstání
- nízká objemová hmotnost
- vysoká ohebnost
- snadná a rychlá montáž
- nízké tlakové tření

Nevýhody pak jsou například:

- menší pevnost oproti kovům
- nízká odolnost vůči vyšším teplotám
- malá odolnost vůči mechanickým poškozením
- velká teplotní roztažnost
- nebezpečí pronikání difúzního kyslíku do teplotnosné látky

Z důvodu pronikání difúzního kyslíku do teplotnosné látky, což podporuje korozi kovů a může tak zkrátit životnost chladicí/otopné soustavy, musí být v okruhu s kapilárními rohoži použity pouze materiály nepodléhající korozi. Z tohoto důvodu se okruh s kapilárními rohoži odděluje od primárního okruhu deskovým výměníkem.^[1]



obr. /12/ Schéma zapojení – deskový výměník

4. Tepelně technický výpočet teplovodního sálavého vytápění

Při výpočtu předpokládáme, že střední povrchová teplota nepřekročí hygienicky přípustné hodnoty a měrný tepelný výkon sálavé plochy bude krýt tepelné ztráty místnosti. Za předpokladu, že po obou stranách konstrukce se sálavou plochou je stejná teplota $t_i = t_p'$, vypočítá se střední povrchová teplota ze vztahu:

$$t_p - t_i = \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} \cdot (t_m - t_i) \cdot M \quad [K] \quad (4.1)$$

V případě, že se $t_i \neq t_p'$,

$$t_p - t_i = \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} \cdot (t_m - t_i) \cdot M - \frac{\Lambda_b}{\Lambda + \Lambda_b} \cdot (1 - M) \cdot (t_i - t_p') \quad [K] \quad (4.2)$$

Kde:

$$M = \frac{tgh(m \cdot \frac{l}{2})}{m \cdot \frac{l}{2}} \quad [-] \quad (4.3)$$

t_pstřední povrchová teplota konstrukce [°C]

t_ivnitřní výpočtová teplota [°C]

t_mstřední teplota otopné vody [°C]

α_pcelkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy [W/m²K]

$$\alpha_p = \alpha_{sP} + \alpha_{kP} = 12 \text{ W/m}^2\text{K} \dots\text{Cihelka}$$

α_{sP}součinitel přestupu tepla sáláním [W/m²K]

α_{kP}součinitel přestupu tepla konvekcí [W/m²K]

mcharakteristické číslo podlahy [m⁻¹]

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a - \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot d}} \quad [m^{-1}] \quad (4.4)$$

Λ_atepelná propustnost vrstev nad trubkami [W/m²K]

Λ_btepelná propustnost vrstev pod trubkami [W/m²K]

λ_dsoučinitel tepelné vodivosti mater., do kterého jsou zality trubky [W/mK]

dvnější průměr trubek [m]

Propustnost vrstvy nad trubkami se vypočítá dle:

$$\Lambda_a = \frac{1}{\sum \frac{a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_p}} \quad [W/m^2K] \quad (4.5)$$

atloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami [m]

Tepelná propustnost vrstvy pod trubkami se určí dle:

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{b}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha_p'}} \quad [W/m^2K] \quad (4.6)$$

btloušťka jednotlivých vrstev pod trubkami [m]

α_p'součinitel přestupu tepla na spodní straně konstrukce [W/m²K]

obvykle se volí 8 W/m²K

Měrný tepelný výkon otopné plochy se pak vypočte ze vztahu:

$$q = \alpha_p (t_p - t_i) \quad [W/m^2] \quad (4.7)$$

Potřebný měrný tepelný výkon zdroje je dán z měrného výkonu otopné plochy a ztrátového tepelného toku.

$$q_c = q + q_z \quad [W/m^2] \quad (4.8)$$

Ztrátový tepelný tok při stejných vnitřních teplotách nad i pod otopnou plochou se vypočte ze vztahu:

$$q_z = \Lambda_b \cdot \frac{\alpha_p'}{\Lambda_a} \cdot (t_p - t_i) \quad [W/m^2] \quad (4.9)$$

Pokud jsou teploty pod a nad otopnou plochou rozdílné platí vztah:

$$q_z = \Lambda_b \cdot \frac{\alpha_p'}{\Lambda_a} \cdot (t_p - t_i) + \Lambda_b \cdot (t_i - t_i') \quad [W/m^2] \quad (4.10)$$

Platí, že ztrátový tepelný tok by neměl být vyšší než 10 % jmenovitého tepelného výkonu do vytápěné místnosti.

Různé sálavé systémy lze porovnat z hlediska energetické účinnosti pomocí stupně využití přiváděného výkonu.

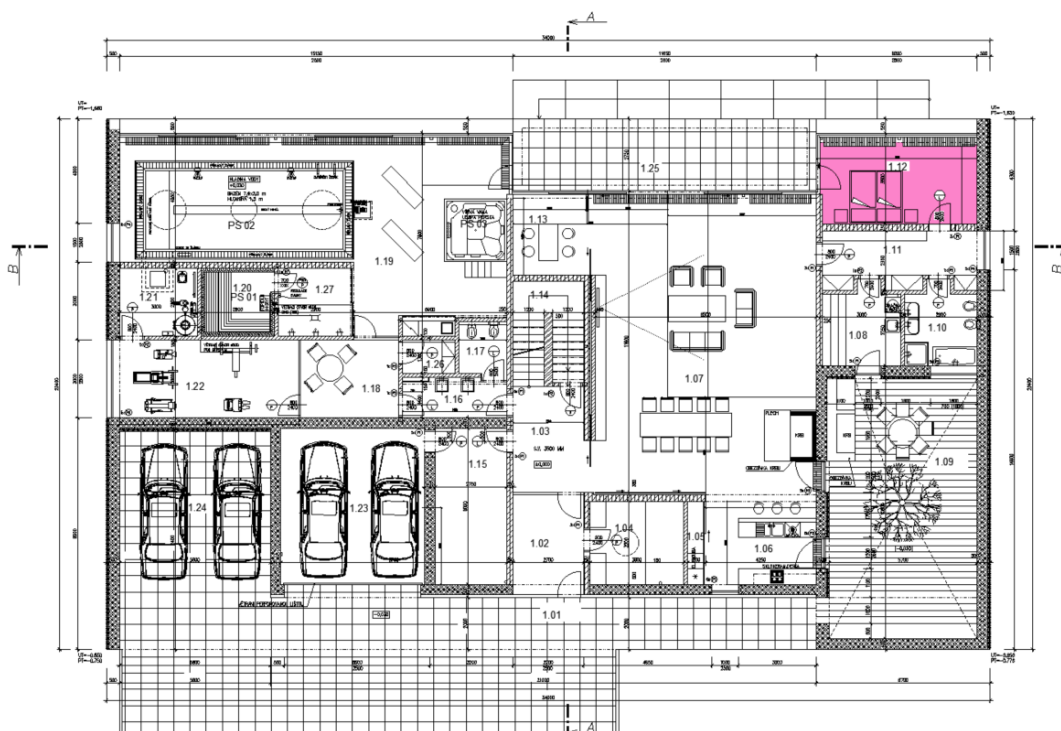
$$\varepsilon = \frac{q}{q + q_z} \quad [-] \quad (4.11)$$

Vztahy, které byly použity v této kapitole jsem převzala z literatury ^{[1][2]}

5. Porovnání velkoplošných sálavých systémů v referenční místnosti

5.1. Popis místnosti

Pro ukázkou jsem si vybrala místnost z vybraného objektu, na kterém dále bude vypracován projekt. Budovu jsem vybrala tak, aby splňovala tepelně technické vlastnosti, průměrná tepelná ztráta je menší než 20 W/m^3 a roční spotřeba tepla je nižší než 80 kWh/m^2 . Jako referenční místnost jsem si vybrala místnost 1.12 – Ložnice. Ložnice s tepelnou ztrátou 1250 W se nachází v 1.NP. Dvě stěny jsou ochlazované. Jedna obvodová stěna je prosklená, druhá se skládá z cihel Porotherm 40 P+D a kontaktního tepelného pláště o tloušťce 100 mm . Místnost sousedí s chodbou a obývacím pokojem. Pro přehlednosti je umístění místnosti znázorněno na obr. /13/



obr. /13/ Půdorys 1.NP

Místnost má obdélníkový tvar s rozměry $6150 \text{ mm} \times 3500 \text{ mm}$, světlá výška pokoje je $3,5 \text{ m}$. Jedná se o obytnou místnost, proto se vnitřní teplota uvažuje 20°C . V této práci se věnuji sálavému vytápění, proto ho uvažuji s nízkým teplotním spádem.

Skladby konstrukcí jsou vypsány v následující tabulce Tab. /1/

Tab. /1/ Skladby konstrukcí v referenční místnosti

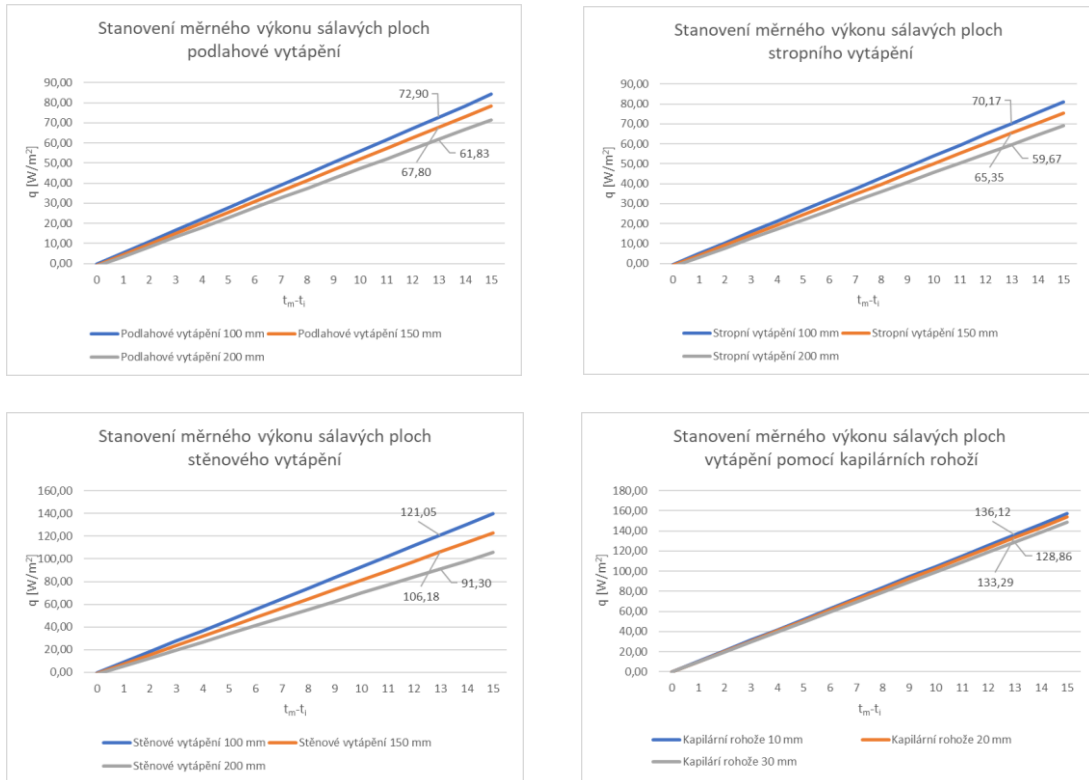
Konstrukce	Materiál	Tloušťka [m]	λ_a [W/mK]
Strop	Oblázkový štěrtek		
	Netkaná textilie		
	Hydroizolace		
	Netkaná textilie		
	Tepelná izolace EPS 100 S	0,08	0,037
	Tepelná izolace EPS 70 S	0,12	0,039
	Parozábrana		
	Spádová vrstva polystyrenbetonu	0,0875	0,057
	ŽB deska	0,1	1,1
	ŽB deska	0,1	1,1
	Omítka	0,01	0,87
Podlaha	PVC	0,004	0,16
	Betonová mazanina	0,065	1,1
	Tepelná izolace	0,15	0,038
	Betonová deska	0,15	1,2
Stěna	Vnější omítka		
	Kontaktní zateplovací systém	0,1	0,038
	Porotherm P+D	0,4	0,109
	Omítka	0,01	0,87

5.2. Porovnání sálavých výkonů v referenční místnosti

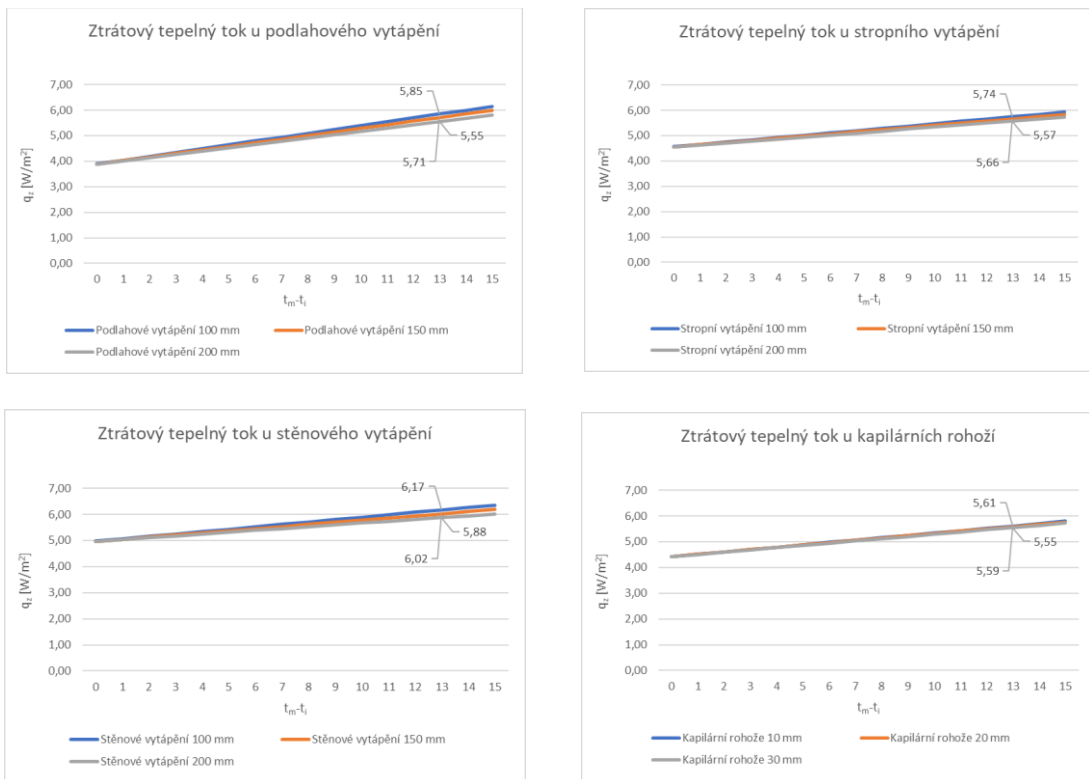
V této kapitole se věnuji porovnání sálavých systémů v mé vybrané místnosti. V následující tabulce Tab. /2/ jsou uvedeny tepelně technické vlastnosti konstrukcí. Na obr. /14/ a obr. /15/ jsou pak znázorněny průběhy měrných tepelných toků do místnosti a ztrátových tepelných toků v závislosti na rozteči potrubí a průběhu teplot t_m-t_i .

Tab. /2/ Zkoumané sálavé systémy

Popis konstrukce	Umístění	Rozteč T [mm]	Průměr ϕd [mm]	Λ_a [W/m ² K]	Λ_b [W/m ² K]	m [m ⁻¹]
Potrubní systém	Podlaha (mokrý způsob)	100	16	5,97	0,24	8,46
		150	16			
		200	16			
	Strop (trubky zalité ve stropě)	100	16	5,74	0,14	8,23
		150	16			
		200	16			
	Stěna (trubky zalité ve stropě)	100	16	10,55	0,16	12,49
		150	16			
		200	16			
Kapilární rohože	Strop	10	3	10,55	0,14	28,82
		20	3			
		30	3			



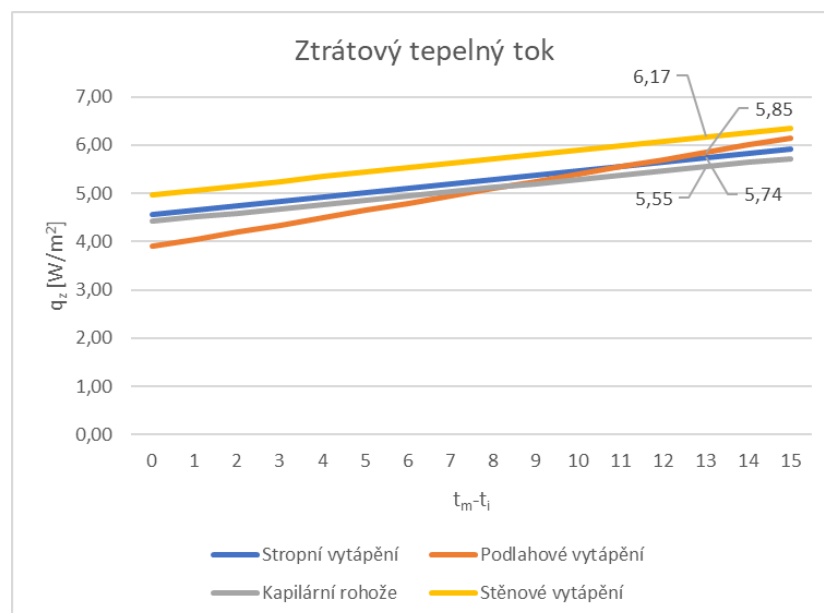
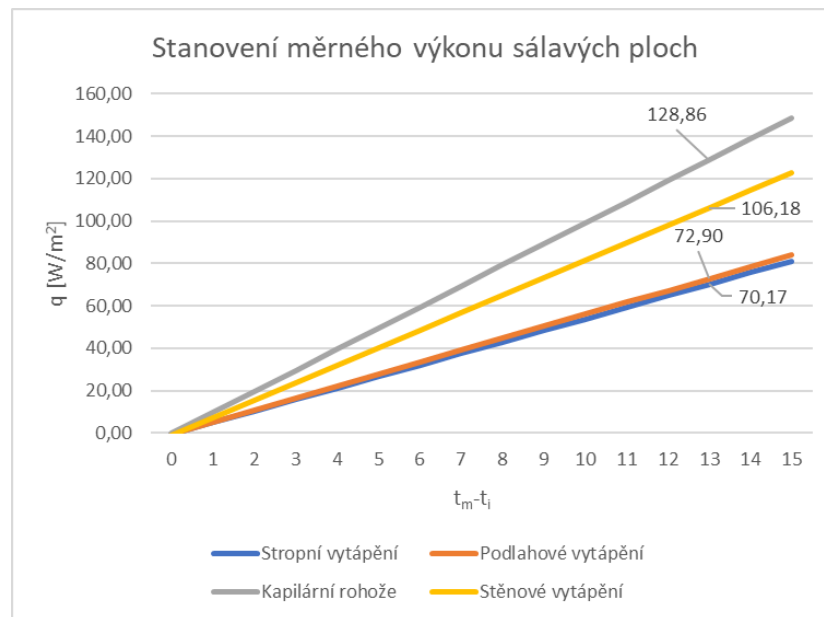
obr. /14/ Porovnání měrného výkonu sálavých ploch s ohledem na rozteč otopného hadu



obr. /15/ Porovnání ztrátového tepelného toku v závislosti na rozteči potrubí a systému vytápění

Z následujících grafů lze vidět, že měrný tepelný výkon podlahového, stěnového a stropního vytápění závisí na rozteči potrubí. Na rozdíl u kapilárních rohoží tuto hodnotu příliš neovlivní. Dále je měrný výkon ovlivněn charakteristickým číslem podlahy m .

Na následujícím grafu jsou spolu porovnané jednotlivé systémy. U potrubního systému jsem vybrala rozteč 100 mm a kapilární rohože s roztečí 30 mm.

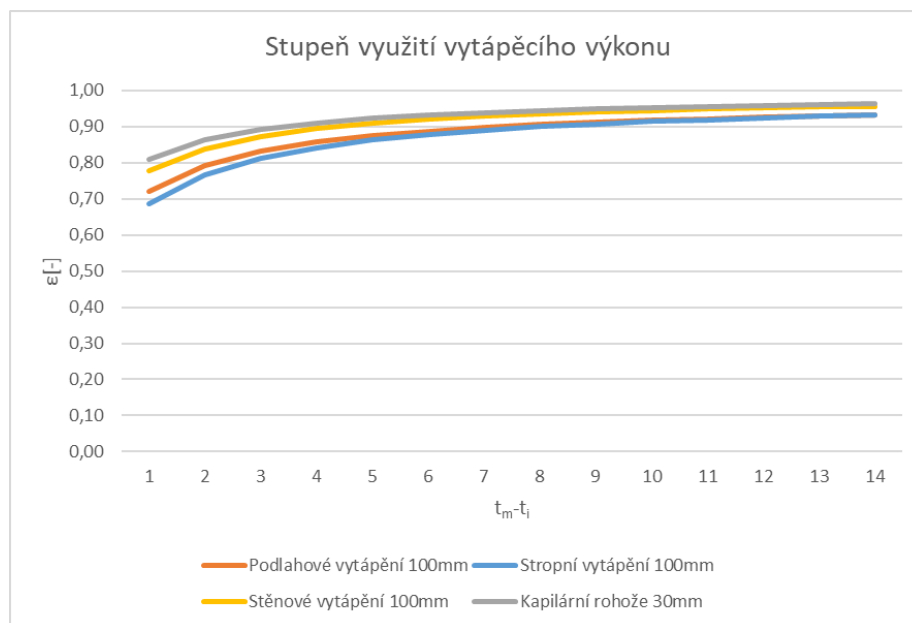


obr. /16/ Porovnání sálavých systémů

- Měrný tepelný tok q
- Ztrátový tepelný tok q_z

Zde je vidět, že kapilární rohože mají nevyšší měrný výkon a nejnižší měrný výkon má stropní vytápění. Z grafu, který popisuje průběh ztrátového tepelného toku neboli tepelného toku proudícího směrem k ochlazované straně konstrukce, lze vidět, že nejvyšší ztrátový tok je u stěnového vytápění. Podlahové vytápění má strmější nárůst ztrátového tepelného toku, který je dán jinou teplotou za konstrukcí. U stropu a stěny je uvažovaná teplota $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ a u podlahy se počítá se teplotou $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ovlivňuje to také i charakteristické číslo podlahy m .

Další parametr, kterým lze porovnat jednotlivé systémy je efektivnost systému. Závislost stupně využití vytápěcího výkonu ϵ na rozdílu teplot t_m-t_i je znázorněna na následujícím obrázku obr. /17/. Průběhy jsou velmi podobné, přesto z tohoto grafu vychází, že kapilární rohože mají nejvyšší stupeň využití. Nejméně vhodné je z tohoto hlediska stropní vytápění potrubním systémem.



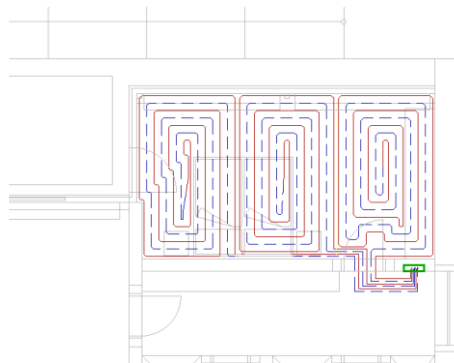
obr. /17/ Stupeň využití vytápěcího výkonu

Dále jsem v dané místnosti vymodelovala sálavé systémy vytápění a následně porovнала jaká je nutná teplota přívodní vody pro pokrytí teplotních ztrát, jaké jsou tlakové ztráty a hmotnostní průtok.

Teplonosná látka u kapilárních rohoží je s nejnižší teplotou, ale oproti ostatním systémům je zde nejvyšší hmotnostní průtok a jsou u nich poměrně vysoké tlakové ztráty. Nejvyšší teplota teplonosné látka je u stropního vytápění.

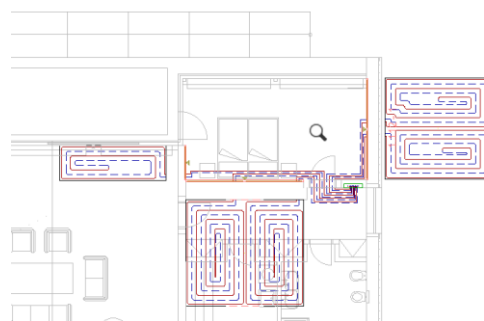
Podlahové vytápění

Teplota přívodu = 39 °C
Teplota zpátečky = 33 °C
Topný výkon = 83,87 W/m²
Hmotností průtok = 261 kg/h
P_{max} = 7,3 kPa



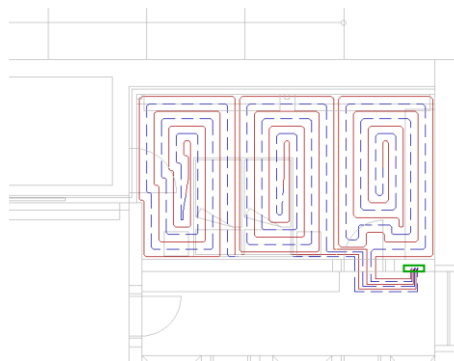
Stěnové vytápění

Teplota přívodu = 36 °C
Teplota zpátečky = 31 °C
Topný výkon = 94,73 W/m²
Hmotností průtok = 328,97 kg/h
P_{max} = 3,2 kPa



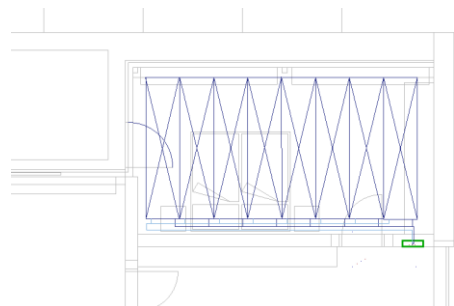
Stropní vytápění

Teplota přívodu = 42 °C
Teplota zpátečky = 37 °C
Topný výkon = 88,38 W/m²
Hmotností průtok = 331 kg/h
P_{max} = 7,6 kPa



Vytápění pomocí kapilárních rohoží

Teplota přívodu = 33 °C
Teplota zpátečky = 31 °C
Topný výkon = 77,62 W/m²
Hmotností průtok = 395,3 kg/h
P_{max} = 10,68 kPa



6. Regulace a dynamika systému s kapilárními rohožemi

U regulace tepelného výkonu sálavých systémů je důležitý pojem akumulční schopnost otopné plochy. U podlahového, stěnového a stropního vytápění je akumulční schopnost vyšší než u vytápění pomocí kapilárních rohoží. S tímto jevem souvisí setrvačnost náběhu nebo-li reakce otopné plochy na regulační zásah. [2]

6.1. Setrvačnost náběhu a časová konstanta

Setrvačnost náběhu T [min] udává dobu, která je potřebná pro dosažení jmenovitého tepelného výkonu při přivádění vody o jmenovité vstupní teplotě, jmenovitém průtoku a jmenovité teplotě okolí. [3]

Časová konstanta τ_A vyjadřuje dobu, za kterou při nabíjení zvýší akumulční vrstva svou teplotu o 1 K. Pomocí této konstanty se určuje, zde se otopná plocha chová jako akumulční, poloakumulční nebo přímo topná. [3]

Setrvačnost náběhu s časovou konstantou vyjadřují míru akumulace, která je důležitá pro zjišťování rychlosti odezvy otopné plochy na regulační zásah. [3]

6.2. Porovnání akumulční schopnosti

O akumulční schopnosti systému rozhoduje plošná hmotnost vrstvy nad topnými kabely nebo nad kapilární sítí. Z toho vyplývá, že akumulční schopnost systému s topnými kabely, které jsou pod betonovou mazaninou je vyšší než u kapilárních rohoží, které jsou pouze pod omítkou. Míru akumulace vyjadřuje časová konstanta τ_a . [3]

$$\tau_a = \frac{s_a \cdot c_a \cdot \rho_a}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \quad [s] \quad (6.1)$$

Kde :

s_a	tloušťka akumulční vrstvy	[m]
c_a	měrná tepelná kapacita akumulční vrstvy	[J/kgK]
ρ_a	hustota akumulční vrstvy	[kg/m ³]
Λ_1	tepelná vodivost od roviny uložení kabelů směrem nahoru	[W/m ² K]
Λ_2	tepelná vodivost od roviny uložení kabelů směrem dolů	[W/m ² K]

Tab. /3/ Porovnání časové konstanty

Systémy	Vrstva	s_a [m]	ρ_a [kg/m ³]	Množství vody [kg/m ²]	c_a [J/kgK]	τ_a [s]	τ_a [h]
Kapilární rohože	aku.vrstva	0,01	1300		790	1153,8	0,32
	voda			0,5	4180		
Podlahové vytápění	aku.vrstva	0,065	2500	8	1020	27427,7	7,62
	voda			1,1	4180		

Pokud časová konstanta je vyšší než 8 hodin, pak je otopná plocha plně akumuláční. U budov s celodenním provozem je požadováno až 15 hod. Pokud se časová konstanta pohybuje mezi 4-8 hodinami, je otopná plocha polo-akumuláční, soustavy s časovou konstantou kratší než 4 hodiny jsou označovány jako přímotopné. Z tabulky Tab. /3/ vyplývá, že kapilární rohože nemají skoro žádnou akumuláční schopnost. [3]

Tepelná kapacita jednotky plochy je pak pro systém s kapilárními rohožemi $C = 12,3 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ a pro systém s podlahovým vytápěním je $C = 170,4 \text{ kJ/m}^2\text{K}$.

Z toho vyplývá, že u systému s kapilárními rohožemi se při regulaci změny poruchové veličiny projeví na teplotě v místnosti téměř okamžitě. Odpovídající reakce akčního členu na poruchovou veličinu je rychlejší než u systému s vyšší akumuláční schopností, kde odpovídající reakce akčního členu je se značným zpožděním.

6.3. Regulace tepelného výkonu

Regulační systém musí měřit ve všech místnostech, kde jsou použity kapilární rohože, jak teplotu, tak i vlhkost a vypočítat rosný bod.

6.3.1. Regulace prostorové teploty

Regulovat prostorovou teplotu můžeme čtyřmi způsoby:

- regulace na konstantní povrchovou teplotu
- regulace podle teploty vnitřního vzduchu
- regulace podle teploty venkovního vzduchu – ekvitermní regulace
- ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu

Regulace na konstantní povrchovou teplotu

První způsob regulace na konstantní povrchovou teplotu se využívá převážně tam, kde je vysoký požadavek na zajištění lokální tepelné pohody. Tento způsob se navrhuje například v bazénech nebo lázních, kde je požadována lokální pohoda chodidel a rychlejší odpar rozstříknuté vody. U tohoto způsobu je tepelný komfort zpravidla zajištěn pomocí jiného systému vytápění. [3]

Regulace podle vnitřní teploty

U tohoto způsobu je pomocí prostorového termostatu, který je umístěn v referenční místnosti, regulován výkon zdroje.

Kvůli rychlé reakci teploty místnosti na změnu poruchové veličiny a opožděnou odpovídající reakci akčního členu, která má vliv na odstranění regulační odchylky, se při použití regulace podle vnitřní teploty místnosti spoléhá na tzv. samoregulační schopnost. Zpoždění akčního členu je dáno velkou akumulací otopné plochy, která je u mého objektu hlavně u podlahového vytápění, u kapilárních rohoží je odezva rychlejší. [3]

Regulace podle teploty venkovního vzduchu

Tomuto způsobu regulace odpovídá funkční zapojení, které se skládá z regulátoru, snímače teploty otopné vody a snímače venkovní teploty. V tomto případě jsou akčními členy směšovací třicestné ventily nebo dvoucestné ventily zapojené pro směšování v pevném bodě potrubní sítě. [3]

Při změně venkovní teploty dává regulátor, ve kterém je nadefinovaná příslušná otopná křivka a závislost teploty otopné vody na venkovní teplotě, povel akčnímu členu například trojcestné armatuře k přestavení tak, aby teplota přívodní otopné vody odpovídala geometrické venkovní teplotě. I u tohoto způsobu regulace je díky setrvačnosti náběhu, zpožděná změna regulované veličiny. Proto se zde také počítá a spoléhá na tzv. samoregulační schopnost. [3]

Samoregulační schopnost otopné plochy

Samoregulační schopnost otopné plochy je reakce měrného tepelného toku na vnitřní teplotu, tento děj vychází ze základního definičního stavu pro přestup tepla otopnou plochou, který byl už zmíněn v kapitole 4. [3]

$$q = \alpha_p(t_p - t_i) \quad [W/m^2] \quad (6.2)$$

Znamená to tedy, že když se změní vnitřní teplota, změní se i měrný tepelný tok. Kdybychom uvažovali teplotu povrchu t_p a součinitel přestupu tepla α_p konstantní, tak ze vztahu vyplývá, že při snížení měrného tepelného toku se zvyšuje vnitřní teplota a tím i tepelná ztráta. Můžeme tedy říct, že při uvažování samoregulační schopnosti otopné plochy po dobu, než se projeví odezva na regulační zásah, je požadovaná hodnota regulované veličiny nadále překračována. [3]

Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu

U tohoto způsobu se nejedná o čistě ekvitermní regulaci, ale vzhledem k vnějším i vnitřním tepelným ziskům vstupuje do ekvitermní regulace i zpětná odpověď z vnitřního prostoru. Regulátor zároveň vyhodnocuje aktuální vnitřní teplotu v referenční místnosti a koriguje i systém ekvitermní regulace. [3]

Pro dosažení požadovaných výsledků se zde používá regulátor, který je schopen „učit se“, tzv. (samo)adaptivní regulátor. Tento regulátor je schopen na základě dříve uložených a vyhodnocovaných dat opravovat otopnou křivku v souladu s časovým průběhem teplot. Regulátor vyhodnocuje průběh venkovních a vnitřních teplot z minulých dní a přepokládá současný trend vývoje teplot, zároveň koriguje hodnoty na základě aktuálně snímaných teplot, kterým se přizpůsobuje. [3]

Prediktivní regulace

Tato regulace pracuje s matematickým modelem řízení s optimální trajektorií vstupních dat. Zde se jedná o dražší druh regulace, která pracuje pomocí simulačních nástrojů. [3]

6.3.2. Regulace rosného bodu

Protože se kapilární rohože využívají i pro chlazení, je nutné zabránit kondenzaci na stavebních částech. Při dimenzování náběhové teploty je nutné počítat s vyšší teplotou, než je rosný bod prostoru (zpravidla stačí 16 °C). Dále je vhodné umístit čidlo vlhkosti v nejchladnějším místě prostoru. Tímto čidlem je při nebezpečí kondenzace předán signál topné jednotce, která potom zapne servopohon zpátečky odpovídajícího okruhu a zařízení je na určitou dobu vypojené. Díky tepelné setrvačnosti ploch tento výpadek uživatel nepozná. [18]

7. Vhodnost využití pro různé typy budov a ukázky z praxe

Velkoplošné sálavé vytápění lze použít prakticky v jakékoliv budově. Hodí se v novostavbách i v rekonstrukcích. Avšak aby byla splněna tepelná pohoda, je třeba při volbě sálavého systému dbát na tepelně technické vlastnosti objektu. Průměrná tepelná ztráta objektu by měla být nižší než 20 W/m^3 nebo průměrná roční spotřeba tepla by neměla být vyšší než 80 kWh/m^2 .

Výhodou sálavého systému je například oproti konvekčnímu vytápění, že při sálání není vířen prach v místnosti, proto se hodí i do průmyslových prostorů. Sálavé systémy jsou součástí stavební konstrukce, tato vlastnost může být výhodná z architektonického hlediska.

Kapilární rohože se často využívají v administrativních budovách, kde slouží jako chladící stropy, ale také jsou využity pro vytápění. V administrativních budovách se nejčastěji umísťují do kovových stropních kazet.

Dále zajímavý příklad využití kapilárních rohoží je v laboratoři VÚGTK ZDIBY, kde se využívají kapilární rohože pro vytápění i chlazení. Ve stropě pod sádrovou omítkou jsou umístěné kapilární rohože typu K.S15.^[21]

V rámci rekonstrukce byly navrženy kapilární rohože v zámku Tonkovice na Slovensku, kde jsou využívány opět pro vytápění i chlazení. Rohože jsou umístěny ve 2. a 3. NP.^[21]



obr. /18/ Instalace kapilárních rohoží v podkroví zámku Tonkovice^[20]

Jako speciální aplikaci bych ráda uvedla umístění kapilárních rohoží v Berlínské ZOO v pavilonu tučňáků.



obr. /19/ Instalace kapilárních rohoží v Berlínské ZOO^[20]

Jako další zajímavou stavbu, ve které se využili kapilární rohože bych ráda uvedla vinárnu ve Španělsku



obr. /20/ Instalace kapilárních rohoží ve vinárně ve Španělsku^[19]

Další zajímavá stavba, kde jsou použité kapilární rohože je Labská filharmonie v Hamburku. Zde jsou kapilární rohože navrženy v prostorech zkušeben a hlasatelen.



obr. /21/ Instalace kapilárních rohoží v Labské opeře v Hamburku^[19]

8. Závěr

Jedním z cílů této práce bylo seznámit se s různými systémy velkoplošného vytápění. Mezi velkoplošné sálavé vytápění patří podlahové, stěnové a stropní vytápění. U tohoto typu vytápění převládá sálavá složka nad konvekční složkou přenosu tepla. Na rozdíl od konvekčního vytápění je střední radiální teplota vyšší než teplota vzduchu.

Dalším cílem bylo porovnat měrné tepelné toky v referenční místnosti sálavých otopných ploch. Dále jsem se více zaměřila na kapilární rohože a na dynamiku a regulaci vytápění s kapilárními rohožemi.

Z mé práce vychází, že u podlahového, stěnového i stropního vytápění jsou měrné tepelné toky ovlivněné roztečí potrubí, u kapilárních rohoží není tento jev zásadní. Dále záleží na charakteristickém čísle otopné plochy m .

Dále jsem porovnávala akumulaci schopnost kapilárních rohoží s akumulací schopností podlahového vytápění. Akumulaci schopnost je závislá na objemové hmotnosti konstrukce. U kapilárních rohoží mi vyšla časová konstanta 0,32 h a u podlahového vytápění mi vyšla časová konstanta 7,62 h. Pokud je časová konstanta nižší hodnota než 4 hodiny, považujeme otopnou plochu za přímotopnou. Z toho vychází, že kapilární rohože nemají, skoro žádnou akumulaci schopnost. Z toho vyplývá, že u systému s kapilárními rohožemi se změna poruchové veličiny projeví na teplotě v místnosti téměř okamžitě a akční člen na reakční člen odpovídá bez zpoždění. Na rozdíl od systému s akumulaci plochou, kde akční člen na reakční člen odpovídá s určitým zpožděním.

Tato práce může přispět k lepšímu povědomí o méně využívaných způsobech vytápění jako jsou například kapilární rohože.

ZDROJE

Publikace:

- [1] ZMRHAL, Vladimír, 2009. *SÁLAVÉ CHLACÍCI SYSTÉMY*. Vyd.1. Praha: CVUT Praha. ISBN 978-80-01-04318-9. MICHALEC J. a kolektiv; Pružnost a pevnost I.; 1. dotisk 3. vydání; Praha: Česká technika, 2010; ISBN 978-80-01-04224-3.
- [2] BAŠTA, Jiří, 2010. *VELKOPLOŠNÉ SÁLAVÉ VYTÁPĚNÍ: podlahové, stěnové a stropní vytápění a chlazení*. Vyd.1. Praha: Grada Publishing, a.s.. ISBN 978-80-247-3524-5.
- [3] BAŠTA, Jiří a Ondřej HOJER, 2021. *SÁLAVÉ A PRŮMYSLOVÉ VYTÁPĚNÍ*. Vyd.1. Praha: CVUT Praha. ISBN 978-80-01-06814-4.
- [4] ZMRHAL, Vladimír, 2008. Kapilární rohože v praktických aplikacích. *Vytápění, větrání, instalace* [online]. 2008, 17(4), s.192-196 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/VVI-2008-04_s192.pdf
- [5] PETRÁŠ, Dušan a kolektiv, 2001. *Nízkoteplotné vykurovanie a obnoviteľné zdroje energie*. Vyd.1. Bratislava: Jaga. ISBN 80-88905-12-5.

Normy:

- [6] ČSN EN 12 831-1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3
- [7] ČSN 06 0320 Tepelní soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování
- [8] ČSN 06 0830 Tepelné soustavy v budovách - Zabezpečovací zařízení
- [9] ČSN 38 3350 Zásobování teplem, všeobecné zásady

Ostatní:

- [10] Podlahové vytápění: Vertikální rozložení teplot. In: *TZB INFO* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/podlahove-vytapeni>
- [11] BAŠTA, Jiří, 2006. Velkoplošné vytápění: Úvod do problematiky. In: *TZB INFO* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/3383-velkoplosne-vytapeni-i>
- [12] Plošné vytápění a chlazení Rehau - systémy pokládky v podlaze, 2012. In: *TZB INFO* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/podlahove-vytapeni/8784-plosne-vytapeni-a-chlazení-rehau-systemy-pokladky-v-podlaze>
- [13] Stěnové vytápění a chlazení: Tepelná pohoda. In: *Rehau: Vytápění, chlazení a větrání* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://www.rehau.com/cz-cs/vytapeni%C3%AD-chlazení-a-ventrání>
- [14] Vnitřní klima: Stěnové vytápění - suchý systém. In: *KERMI* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://www.kermi.cz/vnitřni-klima/produkty/plosne-vytapeni-chlazení/x-net-c22-stenove-vytapeni-suchy-system/>

- [15] BAŠTA, Jiří, 2006. Velkoplošné vytápění (III): Stropní otopné plochy. In: *TZB INFO* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/3396-velkoplosne-vytapeni-iii>
- [16] Aktivace betonového jádra: Popis systému aktivace betonového jádra LOWATEC. In: *LOWATEC* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://lowatec.cz/aktivace-betonoveho-jadra-bkt/>
- [17] Kapilární rohože: Typy instalací rohoží. In: *G-term.Hennlich* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://g-term.hennlich.cz/produkty/kapilarni-rohoze-typy-instalaci-rohozi-918.html>
- [18] *Kapilární rohože - systém pro vytápění-chlazení: Souhrn pro projektanty* [online]. s.63 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: https://www.hennlich.cz/fileadmin/_migrated/Kapil%C3%A1rn%C3%AD_roho%C5%BEE_G-term-souhrn_projektanti.pdf
- [19] *BEKA: KLIMA - KOMFORT* [online]. [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.beka-klima.de/en/projects/>
- [20] ZMRHAL, Vladimír, 2009. Kapilární rohože v praktických aplikacích. *TZB INFO* [online]. [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/5574-kapilarni-rohoze-v-praktickyh-aplikacih>
- [21] *G-term.Hennlich: Reference kapilárních rohoží* [online]. [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://g-term.hennlich.cz/reference/reference-kapilarnich-rohozi.html>
- [22] *Projektování a instalace: Příručka pro plánování tepelných čerpadel*, 2015. Česká republika: STIEBEL ELTRON.

Použitý software:

- [A] Autodesk AutoCAD 2021 (studenská verze)
- [B] TechCON – GaicoCAD X (firemní verze 9.1)
- [C] TechCON – RAUCAD (firemní verze 9.2)
- [D] PROTECH GDS 2.9.7 (výukový program)
- [E] Stiebel Eltron – Toolbox – dimenzování tepelného čerpadla
- [F] Microsoft Office

SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. /1/ Vertikální rozložení teplot

obr. /2/ Horizontální rozložení teplot

obr. /3/ Třídění výskytu energie prostředí

obr. /4/ Schéma kompresorového cyklu

obr. /5/ Kladení otopného hadu ve tvaru meandru

obr. /6/ Kladení otopného hadu ve tvaru plošné spirály

obr. /7/ Mokrý systém stěnového vytápění

obr. /8/ Suchý systém stěnového vytápění

obr. /9/ Schéma stropního vytápění – trubky zalité v betonu

obr. /10/ Montáž stropního vytápění

obr. /11/ Základní typy kapilárních rohoží

obr. /12/ Schéma zapojení – deskový výměník

obr. /13/ Půdorys 1.NP

obr. /14/ Porovnání měrného výkonu sálavých ploch s ohledem na rozteč otopného hadu

obr. /15/ Porovnání ztrátového tepelného toku v závislosti na rozteči potrubí a systému vytápění

obr. /16/ Porovnání sálavých systémů

obr. /17/ Stupeň využití vytápěcího výkonu

obr. /18/ Instalace kapilárních rohoží v podkroví zámku Tonkovice

obr. /19/ Instalace kapilárních rohoží v Berlínské ZOO

obr. /20/ Instalace kapilárních rohoží ve vinárně ve Španělsku

obr. /21/ Instalace kapilárních rohoží v Labské opeře v Hamburku

SEZNAM TABULEK

Tab. /1/ Skladby konstrukcí v referenční místnosti

Tab. /2/ Zkoumané sálavé systémy

Tab. /3/ Porovnání časové konstanty

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1

Technická zpráva

Situace

Půdorys 1.PP

Půdorys 1.NP

Půdorys 2.NP

Schéma zapojení rozdělovačů/sběračů

Schéma zapojení konvektorů

Schéma zapojení

Půdorys a řez technickou místností

Příloha č. 2

Výpočetní část

Příloha č. 3

Technické listy